



HAL
open science

Mise en évidence de la qualité des tanins de châtaignier pour améliorer les performances en élevage porcin

Charline Richard-Dazeur, Philippe Jacolot, Marie Hélène Degrave, Nelly Badalato, Joris Michiels, Nicolas Barbezier, Céline Niquet-Léridon, Pauline M Anton

► To cite this version:

Charline Richard-Dazeur, Philippe Jacolot, Marie Hélène Degrave, Nelly Badalato, Joris Michiels, et al.. Mise en évidence de la qualité des tanins de châtaignier pour améliorer les performances en élevage porcin. 56èmes Journées de la Recherche Porcine, 2024. hal-04580116

HAL Id: hal-04580116

<https://hal.science/hal-04580116v1>

Submitted on 24 May 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



56^{èmes} Journées
de la Recherche
Porcine

6 et 7 février 2024

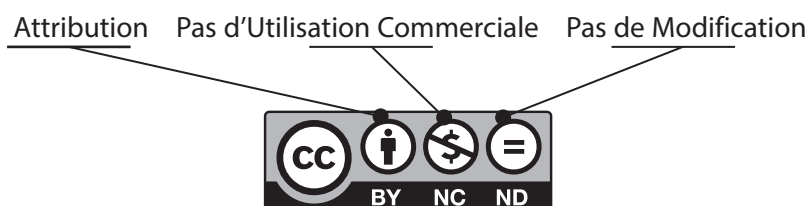


ifip —
Institut du porc

INRAE

Diffusion des textes et résumés des JRP

Les PDF finaux des textes portent une licence de diffusion CC BY NC ND
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>)
afin d'assurer une meilleure protection de leur contenu et de leur utilisation.



La licence CC-by-nd 4.0 autorise toute diffusion de la publication originale (partager, copier, reproduire, distribuer, communiquer), sauf à des fins commerciales, par tous moyens et sous tous formats, tant que l'article est diffusé sans modification et dans son intégralité.

Cette licence Creative Commons n'autorise les utilisateurs qu'à télécharger et diffuser gratuitement les articles sans modification et dans leur intégralité :

- **Attribution** : toute utilisation d'une publication devra inclure le crédit :
« Auteur » / « Titre de l'article publié » / 56^{es} Journées de la Recherche Porcine 2024
- **Pas d'utilisation commerciale** : pas le droit d'utiliser le contenu de cette publication à des fins commerciales.
- **Pas d'œuvres dérivées** : cette publication ne pourra pas être modifiée, transformée ou adaptée.

Obligations liées à la licence :

- créditer les auteurs des publications originales, en indiquer les sources (JRP) et si des modifications ont été effectuées à l'article (obligation d'attribution) ;
- n'effectuer aucune diffusion partielle, modification, adaptation ou traduction de l'article ;
- ne pas tirer profit (gain direct ou plus-value commerciale) de l'article ou des publications dérivées.

56^{èmes} Journées de la Recherche Porcine

COMITÉ D'ORGANISATION

Jean-Pierre BIDANEL,
Directeur de Recherche – INRAE

Ludovic BROSSARD,
Ingénieur de Recherche, Directeur de l'UMR PEGASE – INRAE

Jean-Yves DOURMAD,
Ingénieur de Recherche à l'UMR PEGASE – INRAE

Charlotte GAILLARD,
Chargée de recherche à l'UMR PEGASE – INRAE

Anne HEMONIC,
Docteur vétérinaire, Directrice du Pôle Techniques d'Élevage - IFIP

Gwendoline HERVE,
Docteur vétérinaire au Pôle Techniques d'Élevage - IFIP

Isabelle LOUVEAU,
Chargée de recherche à l'UMR PEGASE – INRAE

Isabelle OSWALD,
Directrice de recherche, Directrice de l'UMR TOXALIM – INRAE

Francine de QUELEN
Ingénieure de Recherche à l'UMR PEGASE – INRAE

Nathalie QUINIOU,
Docteur Ingénieure au Pôle Techniques d'Élevage – IFIP

David RENAUDEAU,
Directeur de Recherche à l'UMR PEGASE – INRAE

Christine ROGUET,
Cheffe de projet au Pôle Economie – IFIP

*Ont participé à la réalisation de cet ouvrage :
Thierry Faure et Claude Montariol*

Sommaire général

| | |
|---|------------|
| Comité de soutien | III |
| Organismes de recherche et entreprises auteurs | XIV |
| Sommaire des communications | XX |



Les auteurs désirant présenter les résultats de leurs travaux aux prochaines Journées de la Recherche Porcine sont invités à consulter le site internet des JRP :

www.journees-recherche-porcine.com

Comité de soutien des 56^{èmes} Journées de la Recherche Porcine

Les organisateurs des Journées de la Recherche Porcine remercient les entreprises qui ont accordé leur aide à la réalisation de ces 56^{èmes} Journées.



AB VISTA

Calle Perù 6, Edificio Twin Golf A, 2^o floor, Of. 4, 28290 LAS ROZAS - MADRID (Espagne)

E-mail : emea@abvista.com - Site Internet : www.abvista.com

AB VISTA, spécialiste de la production d'ingrédients alimentaires, dont le siège est au Royaume-Uni, est une compagnie comptant plus de 140 employés basés dans le monde entier.

Créé en 2004, AB VISTA est la division des ingrédients alimentaires de AB Agri, la branche agriculture de Associated British Foods (ABF) Ltd. Les développements récents et continus de nos produits ont contribué à la position d'AB VISTA comme leader technique de l'industrie des ingrédients alimentaires.

Econase XT augmente les standards de qualité de l'industrie de l'alimentation grâce à l'amélioration des performances, une souplesse et une stabilité thermique intrinsèque incomparable.

Quantum Blue, la nouvelle phytase révolutionnaire présente sur le marché européen. L'effet anti-nutritionnel des phytates coûte plus de 5 millions d'euros chaque année. Optimisé pour la destruction des phytates, Quantum Blue est la solution.

Pour plus d'informations sur les produits et services qu'offre AB VISTA : visitez notre site www.abvista.com



ADM Animal Nutrition

Talhouët – 56250 SAINT-NOLFF

Tél. : + 33 (0)2.97.48.54.54

Site Internet : www.adm.com/fr-ca/

ADM est une marque mondiale de premier plan dans le domaine de la nutrition humaine et animale, qui propose aujourd'hui des solutions tournées vers l'avenir.

- Des innovations basées sur la science en lien avec une profonde connaissance de l'attente du consommateur final
- Une implantation mondiale et un héritage de 120 ans d'expertise en nutrition

La division de l'alimentation animale d'ADM en France, représente:

- Une expertise nutrition validée par plus de 100 essais par an menés dans nos centres R&D interne.
- Une matrice de formulation unique avec plus de 5000 descriptifs matriciels développés par an.
- Des solutions durables en faveur des filières animales, développées pour notre bien-être et celui des générations futures.



ALTILIS Nutrition Animale

3 rue Gustave Eiffel - 33910 SAINT-DENIS-DE-PILE

Tél. : + 33 (0)5.57.55.40.13

E-mail : altisna@altalis.fr - Site Internet : www.altalis.fr

Spécialiste des ingrédients pour l'alimentation animale, ALTILIS Nutrition Animale offre des solutions innovantes et efficaces pour la production porcine :

- AXTRA PHY GOLD, phytase bactérienne à l'activité élevée à bas pH et à la thermostabilité renforcée, lui conférant des performances de dégradation des phytates très supérieures. Améliore la biodisponibilité du calcium, des acides aminés et oligo-éléments d'origine végétale.
- AXTRA XB, complexe xylanase/bêta-glucanase pour porcelets, porcs charcutiers et truies. Optimise la digestibilité de la ration et limite la perte de poids des truies en lactation, tout en impactant positivement le poids des porcelets.
- ID PHYT CAPCIN, extrait naturel de capsicum, atténuant les phénomènes inflammatoires lors de stress en élevage. Utilisé de la fin de gestation des truies jusqu'au sevrage, il optimise les performances des porcelets et le bien-être des truies.
- PEPTIVA, protéines hydrolysées de plasma porcin, pour la nutrition des porcelets, quand le plasma ne peut être utilisé.
- ALTICCID, acidifiant réduisant le pouvoir tampon des aliments porcelets.



ANIMINE

10, rue Léon Rey Grange - 74960 ANNECY

Tél : + 33 (0)4.50.22.18.55

E-mail : marketing@animine.eu - Site Internet : www.animine.eu

ANIMINE est un fournisseur d'oligo-éléments à haute valeur ajoutée pour l'alimentation des animaux. C'est une entreprise française créée en 2010 et dont le siège est basé à Annecy en Haute-Savoie.

ANIMINE réalise 90% de son activité à l'export en Europe, Asia et Amériques. L'entreprise, certifiée FAMI QS, propose une gamme de minéraux de précision innovants sans aucune comparaison possible sur le marché des additifs.



ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail)

Laboratoire de Ploufragan-Plouzane-Niort - 41 rue de Beaucemaine - 22440 PLOUFRAGAN

Tél. : +33 (0)2.96.01.62.22

Site internet : <https://www.anses.fr/fr/content/laboratoire-de-ploufragan-plouzane-niort>

Recherche finalisée et appui technique auprès des ministères de l'agriculture, de la santé, de l'environnement, du travail et de la consommation.

- Conduite de travaux de recherche appliqués à l'étude des maladies porcines, des agents zoonotiques transmis par l'alimentation ou non, de l'antibiorésistance et du bien-être animal.
- Développement et utilisation de techniques de pointe: virologie, bactériologie, épidémiologie, biologie moléculaire, étude du comportement, modélisation ...
- Productions de porcs de haut niveau sanitaire (EOPS). - Laboratoire international (OMSA - FAO) et/ou national de référence pour différentes maladies : maladie d'Aujeszky, Pestes Porcines, influenza porcin, SDRP..



AXIOM

La Garenne - 37310 AZAY SUR INDRE

Tél : + 33 (0)2.47.59.95.21

E-mail : contact@axiom-genetics.com - Site Internet : www.axiom-genetics.com

AXIOM est aujourd'hui le leader français de la génétique porcine : 1^{er} en diffusion de cochettes, 1^{er} en ventes de doses d'IA, 1^{er} exportateur en Europe et Asie, 1^{er} en taille de cheptel de sélection. L'actionnariat du Groupe est porté par les plus grandes coopératives françaises : Agrial, Cirhyo, Eureden, Evel'Up, Terrena et Ucagenof. La population en sélection s'élève à 6000 truies en France avec 6 lignées.

Leader de l'innovation, la sélection AXIOM évolue et s'adapte continuellement et durablement aux attentes des éleveurs, de la filière et aux attentes sociétales grandissantes.

AXIOM propose la gamme la plus complète du marché, avec 2 cochettes et 6 verrats, qui permettent une multitude de combinaisons pour répondre à toutes les attentes des éleveurs.

Choisir les produits AXIOM, c'est s'assurer des performances de haut niveau, et un confort dans l'élevage en limitant les interventions et en s'adaptant au bien-être des animaux et de l'éleveur.



BEWITAL agri GmbH & Co. KG

Industriestraße 10 - 46354 SÜDLÖHN-OEDING (Allemagne)

Tél : +49 (0)2.86.25.81.53

E-mail : s.nordhausen@bewital.de

BEWITAL agri est spécialisée dans la production d'aliments innovants qui contribuent à la santé, à la performance et à la durabilité des élevages modernes. L'entreprise est également impliquée dans la recherche et le développement de produits - les siens et ceux de ses clients.

Grâce à un processus spécialement développé pour l'encapsulation de divers ingrédients actifs dans une matrice grasse, l'entreprise est un leader technologique dans son secteur.

Le savoir-faire permettant de convertir rapidement les connaissances scientifiques en solutions a fait de BEWITAL agri un partenaire solide pour l'industrie de l'alimentation animale et le commerce spécialisé dans le monde entier depuis 60 ans. Outre BEWITAL petfood, le fabricant d'aliments pour animaux domestiques, et westrans, la société de logistique, BEWITAL agri fait partie du groupe BEWITAL. L'entreprise familiale a son siège à Südlöhn-Oeding, en Allemagne. Environ 550 personnes y sont employées.



BIOCHEM GmbH

8, rue Jean Rouxel - ZAC de la Pentecôte - 44700 ORVAULT

Tél. : + 33 (0)2.28.01.77.38 - Site Internet : www.biochem.net

Depuis plus de 35 ans, BIOCHEM distribue et développe des additifs innovants pour améliorer la rentabilité de l'élevage porcin. La gamme complète, permet de répondre à toutes les problématiques rencontrées en élevage :

- SOLPREME, le nouveau probiotique développé par Chr Hansen, combine deux nouvelles souches de *Bacillus subtilis* et de *Bacillus amyloliquefaciens*, conçues pour répondre aux défis digestifs rencontrés en maternité et autour du sevrage. Il complète la gamme existante auprès du Bioplus YC, probiotique à 2 souches de *Bacillus subtilis* & *licheniformis*, contribue à sécuriser la microflore intestinale en optimisant l'utilisation nutritionnelle de l'aliment, ainsi que le Lactiferm, souche d'*Enterococcus faecium*, actif dès le jeune âge pour stabiliser la flore bénéfique.
- TechnoYeast, levure hydrolysée *Kluyveromyces fragilis* à haute valeur biologique, riche en agent d'appétence, en mannanes et β -glucanes, à destination des jeunes animaux ;
- TechnoMos, paroi de *Saccharomyces cerevisiae*, à teneur garantie en mannanes et en β -glucanes ;
- E.C.O.Trace, chélates de glycine mieux assimilés et permettant de réduire les rejets en oligo-éléments ;
- Hepatron, bêtaïnes anhydres et HCL, poudres ou liquides. Notre savoir-faire s'étend au développement de nutritionnels ciblés, sous forme liquide, poudre ou pâte.



CARNOT FRANCE FUTUR ELEVAGE

28 rue du Docteur Finlay - 75015 PARIS

E-mail : contact@francefuturelevage.com – Site internet : www.francefuturelevage.com

FRANCE FUTUR ELEVAGE est un réseau de laboratoires de recherche académique et d'instituts techniques agricoles labellisé CARNOT, dédié à promouvoir les collaborations de R&D et le transfert d'innovations au sein des filières d'élevage.

Il propose aux entreprises, organisations professionnelles et acteurs du secteur de l'élevage, une offre de recherche et d'innovation multidisciplinaire et intégrée, du laboratoire à la ferme.

Le Label CARNOT reconnaît l'excellence scientifique et le professionnalisme dont les membres de FRANCE FUTUR ELEVAGE font preuve dans la gestion de leurs relations partenariales.

Le CARNOT FRANCE FUTUR ELEVAGE réunit 9 structures de référence de l'appui scientifique à l'élevage : INRAE, l'Institut Agro, Oniris, Cirad, ENVT, Idele, IFIP, ITAVI et Université de Tours.



CCPA

Zone Artisanale Le Bois de Teillay, Quartier Du Haut Bois – 35150 JANZÉ

Tél. : + 33 (0)2.99.47.53.00

E-mail : vgallerne@groupe-ccpa.com - Site Internet : www.groupe-ccpa.com/fr/

Le GROUPE CCPA, union de coopératives, est spécialisé en nutrition et santé animales depuis plus de 50 ans. Il propose à ses clients, en France et à l'international via ses filiales, un large éventail de solutions produits innovantes (feed solutions, spécialités d'élevage, ingrédients fonctionnels) et des services et expertises (spécialistes par espèce animale, nutritionnistes, formulateurs, technologues, solutions numériques...). Ses défis majeurs : innover pour améliorer la compétitivité des filières animales et faire progresser la qualité nutritionnelle et sanitaire des produits animaux, en intégrant les attentes sociétales de santé humaine et de préservation de l'environnement.

Le GROUPE CCPA est l'un des premiers acteurs français de la recherche privée en nutrition animale, bénéficiant d'un laboratoire de chimie et biologie animale de 1500 m² (Artémis), d'un département R&D, d'une station de recherche monogastrique (Euronutrition SAS) et d'un réseau de fermes de référence.



CEVA Santé Animale

10 avenue de la Ballastière - 33500 LIBOURNE

Tél. : + 33 (0)5.57.55.40.40 / + 33 (0)2.43.49.51.51

Site internet : www.ceva-santeanimale.fr

Initialement filiale de Sanofi, CEVA Santé Animale est un laboratoire vétérinaire français créé en 1999.

Présidé par le docteur vétérinaire Marc Prikazsky, CEVA est spécialisé dans la recherche, le développement, la production et la commercialisation de produits pharmaceutiques et de vaccins pour les animaux de compagnie et d'élevage (ruminants, porcs, volailles).

Présent dans 110 pays, CEVA emploie près de 5 000 personnes dans le monde dont près d'un tiers sur ses sites français basés dans le Sud-Ouest et le Grand-Ouest : Libourne (33) ; Laval (53) CEVA Sogeval Campus ; Landivisiau/ Plouedern (29) Ecet-IO ; Loudéac (22) et Angers (49) CEVA Desvac Campus et CEVA Biovac.



CHAMBRES D'AGRICULTURE DE BRETAGNE – Equipe porc

Technopole Atalante Champeaux - CS 74223 - 35042 RENNES cedex

Tél. : +33 (0)2.23.48.26.70

Site Internet : www.synagri.fr - E-mail : porc@bretagne.chambagri.fr

Les CHAMBRES D'AGRICULTURE de BRETAGNE réunissent au sein d'une même équipe régionale, déployée sur l'ensemble du territoire breton, l'expertise recherche et développement de vingt collaborateurs et le dispositif expérimental de la station de Crécom (22).

L'ensemble de ces moyens humains et matériels sont au service de la filière :

- Expérimentations, études, enquêtes, productions de références technico-économiques, outils d'aides à la décision
- Expertises et formations à destination des éleveurs et partenaires de la filière
- Publication des résultats dans la revue Réussir Tech Porc et sur www.synagri.fr



CHÈNE VERT

ZI Bellevue 2 - 35220 CHATEAUBOURG

Tél. : +33 (0)2.99.00.31.74

E-mail : s.chuberre@chenevert.vet

CHÈNE VERT est un cabinet vétérinaire en filières animales organisées. Plus de 50 vétérinaires, tous spécialisés en productions organisées, sont unis pour proposer aux éleveurs et aux acteurs de la filière un service indépendant et performant. Nous nous appuyons sur un haut niveau d'expertise et de compétences spécifiques à l'élevage raisonné et nous sommes animés par des valeurs communes de confiance, d'engagement, de performance, de respect et de plaisir.

Plus précisément, CHÈNE VERT a pour objectifs de proposer aux éleveurs des services qui répondent à leurs besoins : suivi sanitaire, suivi des performances, conseil individualisé...

CHÈNE VERT a également à cœur de créer des lieux d'échanges et d'informations lors de réunions techniques de haut niveau ou lors des sessions de formations. Nous proposons une approche globale en santé, bien-être et prévention, du conseil technique dans le respect de la réglementation et dans une démarche constante de progrès et d'amélioration des performances.



COOPERL Innovation

7 Rue de la Jeannaie - 22403 LAMBALLE-ARMOR
Tél : +33 (0)2.96.30.70.00 - E-mail : accueil@cooperl.com

COOPERL est une coopérative agricole et agroalimentaire du grand Ouest organisée en filière. Son organisation en filière, de la fourche à la fourchette, est sa grande particularité. Fruit de son histoire, elle lui permet de proposer des produits innovants et différenciés. Elle s'organise en 9 branches d'activité, spécialisées, complémentaires et inter-connectées, d'amont en aval. Aujourd'hui, la coopérative est composée de 3 000 éleveurs adhérents, de 7700 salariés et plus de 30 sites industriels situés dans le Grand Ouest de la France majoritairement. Elle est le leader de la production porcine en France. COOPERL oeuvre pour une agriculture durable et est pour cela protagoniste sur de nombreux sujets de fond - arrêt de la castration, porcs élevés sans antibiotique et sans OGM, bâtiments sans lisier, nutrition de précision, cultures sans pesticide etc.



DANBRED FRANCE

18 rue du Sabot - Bâtiment Keraia C - 22440 PLOUFRAGAN
Tél : +33 (0)2.96.93.21.63

E-mail : danbredfrance@danbred.com

DANBRED France est la filiale du groupe danois DANBRED, un des leaders mondiaux de génétique porcine. DANBRED, schéma historique danois, s'appuie sur les moyens R&D du SEGES, le centre danois pour la recherche porcine.

DANBRED France propose aux éleveurs français :

- des cochettes hybrides DANBRED - des cochettes et semences de races pures DANBRED pour l'autorenouveaulement
- de la semence de verrat terminal Duroc DANBRED.

Choisir le couple DANBRED, c'est obtenir le maximum de kilos vifs vendus par truie et les charcutiers les plus performants du marché.



DENKAVIT

ZI de Méron - CS 82003 - 49260 MONTREUIL BELLAY
Tél : +33 (0)2.41.83.10.83

E-mail : denkavit@denkavit.fr - Site internet : <https://denkavit.com>

DENKAVIT, spécialiste des jeunes animaux est partenaire de premier plan pour les éleveurs et l'industrie de l'alimentation animale.

L'entreprise a développé une grande expertise dans la production d'aliments pour jeunes porcelets (lait, préstarter, noyaux, noyaux laitiers).

L'entreprise a également une activité de mise en marché d'ingrédients (matières premières et additifs) et est distributeur exclusif de Progres (Hankkija), d'Opticell (Agromed), Dosto (DostoFarm) ...



DSM-FIRMENICH - DSM Nutritional Products France

41 rue de Villiers - 92200 NEUILLY SUR SEINES
Tél : + 33 (0)6.15.99.63.72 - E-mail : sylvie.le-guenic@dsm-firmenich.com
Site Internet : dsm-firmenich.com

DSM-FIRMENICH est une société helvético-néerlandaise active à l'échelle mondiale dans les domaines de la nutrition humaine et animale, la santé et la beauté. En nutrition animale, l'entreprise propose les solutions techniques les plus complètes en se basant sur un savoir-faire unique et un large portefeuille produits composé de vitamines, enzymes, eubiotiques, caroténoïdes, lipides fonctionnels.

DSM-FIRMENICH est un des derniers producteurs européens de vitamines et autres ingrédients participant à une nutrition plus sûre, plus efficace et plus durable pour la planète. Plus que jamais, sa mission est d'accompagner la transformation vers une production animale plus durable, et de développer les innovations qui favoriseront un avenir meilleur. Pour ce faire, DSM-FIRMENICH travaille depuis plusieurs années sur les analyses de cycle de vie de ses vitamines, additifs ou solutions. Déjà 56 sont caractérisés au travers de 19 critères environnementaux et permettent, en termes d'empreintes, des gains significatifs versus des solutions lointaines et parfois peu regardantes sur l'impact environnemental.

DSM-FIRMENICH a également développé un outil de mesure de l'empreinte environnementale pour les filières de production animales. Cet outil, nommé Sustell, prend en compte les aliments et autres intrants, les croise avec les pratiques d'élevage et propose ainsi des scénarii, permettant aux acteurs de la filière de trouver les schémas de production les plus durables.



ELANCO France

Crisco Uno, Bâtiment C, 3-5 Avenue de la Cristallerie, CS 80022 – 92317 SEVRES cedex
Site internet : www.elanco.fr

ELANCO Animal Health Incorporated (NYSE : ELAN) est un leader mondial de la santé animale qui se consacre à l'innovation et à la fourniture de produits et de services pour prévenir et traiter les maladies des animaux d'élevage et des animaux de compagnie, en créant de la valeur pour les éleveurs, les propriétaires d'animaux de compagnie, les vétérinaires, les parties prenantes et la société dans son ensemble.

Forts de près de 70 ans d'expérience dans le domaine de la santé animale, nous nous engageons à aider nos clients à améliorer la santé des animaux dont ils ont la charge, tout en ayant un impact significatif sur nos communautés locales et mondiales.

Chez ELANCO, nous sommes animés par notre vision « l'alimentation et les animaux de compagnie au service d'une vie meilleure » et par nos engagements en matière de développement durable - ELANCO Healthy Purpose - ceci afin d'améliorer la santé des animaux, des hommes et de la planète.



ESA (Ecole Supérieure d'Agricultures d'Angers)

55, rue Rabelais – BP 30748 – 49007 ANGERS cedex 01

Téléphone : + 33 (0)2.41.23.55.55 - Site internet : www.groupe-esa.com

Implantée dans l'Ouest, 1^{ère} région agricole et agroalimentaire de France, l'ESA est un pôle d'enseignement supérieur et de recherche. Autour de l'école d'ingénieur, l'ESA a développé une palette d'une cinquantaine de formations, du niveau Bac à Bac+ 5, réparties dans 7 domaines : productions végétales, productions animales, agroalimentaire, viticulture & œnologie, horticulture et paysage, environnement, commerce et marketing. Ces formations sont accessibles selon différentes formules : statut étudiant, alternance, formation continue et enseignement à distance.

L'ESA s'appuie sur une recherche finalisée dédiée à la conception de systèmes agricoles et alimentaires durables. Elle développe une approche pluridisciplinaire : agronomie, zootechnie, agroalimentaire, écologie, sociologie et économie, afin de concevoir et d'accompagner les innovations agricoles et alimentaires. Toutes les dimensions de l'agriculture : production, transformation, consommation, économie et environnement, sont appréhendées pour décrypter la complexité du monde. La politique d'alliance scientifique avec l'INRAE a abouti à la création d'unités de recherche sous contrats.



EVONIK Operations GmbH

2 rue au Duc - 35000 RENNES

Tél. : + 33(0)2.99.86.27.41 - E-mail : animal-nutrition@evonik.com

Site Internet : www.evonik.com/animal-nutrition

EVONIK Opérations GmbH est une filiale d'EVONIK Industries AG, un des leaders mondiaux de la chimie de spécialités. Sa division Nutrition Animale produit et commercialise les trois acides aminés essentiels : DL-Méthionine (MetAMINO), L-Lysine Sulfate (Biolys) et L-Thréonine (ThreAMINO) dont l'incorporation dans les formules permet de répondre aux besoins nutritionnels des animaux et de réduire l'impact de l'alimentation sur l'environnement.

L'entreprise s'investit également dans le domaine de la santé et propose une gamme de probiotiques à destination des monogastriques : Ecobiol pour la volaille et Fecinor pour le porcelet. L'offre produits est complétée par des services analytiques avec des calibrations NIR pour l'analyse des aliments et des produits finis. Plus récemment, EVONIK a développé un nouveau service sous le nom de ScreenFloX, pour quantifier et surveiller les niveaux des pathogènes en élevage. Avec des produits et des services techniques toujours plus innovants, EVONIK souhaite rester au plus près des attentes de ses clients et contribuer à la performances des productions animales tout en préservant la santé et le bien-être des animaux.

EVONIK – Leading Beyond Chemistry.



GÈNES DIFFUSION

3595, route de Tournai – CS 70023 - 59501 DOUAI Cedex

Tél. : + 33 (0)3.27.99.29.29 - E-mail : gd@genesdiffusion.com

Site Internet : www.genesdiffusion.com

Hautes technologies, professionnalisme, qualité, rigueur, sanitaire, sont les maîtres mots d'un savoir-faire en insémination animale et en production de semence porcine, acquis et développé depuis près de 50 ans par les centres de production GENES DIFFUSION, CIA du Perche et Imevia.

Avec l'appui de sa filiale américaine GenePro, spécialisée dans l'expertise de la production de semence et la fourniture de consommables, le groupe GENES DIFFUSION se positionne comme un acteur majeur de la reproduction porcine au niveau mondial, avec 4 innovations majeures pour la filière :

- Safemate : système de collecte automatique des verrats
- Elixir : milieu biologique de conservation de la semence
- Selfix : l'auto-insémination rapide, simple et sécurisée
- Armada : la semence porcine haute performance «



HERBONIS Animal Health GmbH

30 Rheinstrasse, 4302 AUGST BL (Suisse)

Tel : +41 61 8 11 52 70 – E-mail : contact@herbonis.com – Site internet : <https://herbonis.com>

Spécialisée dans les solutions naturelles pour la nutrition animale, HERBONIS propose des ingrédients alimentaires pour améliorer la santé et le bien-être des truies et des porcelets : augmentation de la productivité des truies (porcelets nés vivants, sevrés/truie/ an, taille et homogénéité des portées) et de la solidité des os des porcs (quantités et ratios de Ca et P dans l'alimentation).

Panbonis est une source unique, sûre et naturelle de la forme bioactive de la vitamine D3 pour la nutrition animale : action rapide, amélioration du métabolisme du calcium, réduction du temps de mise bas, augmentation du nombre de porcelets nés vivants, de leur vitalité et de leur poids au sevrage, amélioration de l'homogénéité de la portée et du retour à l'oestrus, stimulation du métabolisme minéral et augmentation de la solidité des os.

Engagée dans la santé et la nutrition animales durables, HERBONIS est une entreprise suisse indépendante fondée à Bâle il y a plus de 20 ans.

HERBONIS est un fournisseur de premier plan d'ingrédients alimentaires spécialisés basés sur des matières actives d'origine végétale. Nature, innovation et confiance : nous donnons vie à ces valeurs tous les jours, et nous les considérons comme une base solide pour des partenariats mondiaux à long terme.



Huvepharma

34 rue Jean Monnet - ZI d'Etriché - 49500 SEGRE en ANJOU BLEU
Tél : +33 (0)2.41.92.11.11 - Site Internet : www.huvepharma.com

- Médicaments vétérinaires
- Feed Additif
- Produits d'hygiène
- Produits diététiques



HYPOR FRANCE

1, rue Jean Rostand - Zoopôle - 22440 PLOUFRAGAN
Tél : +33 (0)2.96.77.46.34 - Site Internet : www.hypor.com

HYPOR est une société du Groupe Hendrix Genetics, leader mondial de la sélection animale multi-espèces. Premier schéma génétique porcin à avoir implanté la sélection génomique, HYPOR fournit une génétique performante, bénéficiant de technologies innovantes et qui prend en compte aussi bien les attentes des éleveurs que sociétales. Plus que jamais, HYPOR apporte des solutions génétiques novatrices et durables, et participe ainsi à la création de valeurs tout au long de la chaîne de la production.



IDENA

21, rue du Moulin - 44880 SAUTRON
Tél. : + 33 (0)2.40.63.60.00
E-mail : contact@idena.fr - Site Internet : www.idena.fr

IDENA, c'est une idée différente de la Nutrition Animale. Née dans un contexte de crises sanitaires à répétition, IDENA a su implanter ses fondamentaux sur le marché de la nutrition animale, les développer et continuer à les faire progresser après 25 années de présence. Notre métier d'experts en NUTRITION est à la source de normes nutritionnelles spécifiques et de programmes alimentaires personnalisés en fonction de chaque contexte, qui, associé à l'emploi d'ADDITIFS innovants, permettent une meilleure EFFICACITE ALIMENTAIRE, à la fois en ruminants et en monogastriques. Nos produits, composés de bioactifs, d'extraits de plantes et d'algues marines ainsi que d'actifs issus de fermentations lactiques (prémix et spécialités), s'intègrent dans une stratégie ou de substitution, ou d'association aux produits conventionnels, pour, ou les remplacer ou optimiser leur efficacité.

IDENA, depuis sa création, a mis les attentes sociétales, l'environnement et le bien-être animal, au cœur de ses préoccupations. L'entreprise est aujourd'hui reconnue comme experte dans ce domaine et a développé un savoir-faire solide au travers de ses concepts et ses produits, présents dans des milliers de tonnes d'aliments en France et à travers le monde. Nous concevons notre métier autour de trois fondamentaux: la connaissance de la Nutrition, de l'Animal et celle des Techniques d'élevages. Ils sont à l'origine de nos innovations produits. Ces dernières ont été développées pour répondre à des problèmes spécifiques en élevages. Notre expertise Nutrition et Additifs est à la disposition de nos partenaires fabricants d'aliments, intégrateurs et distributeurs. La force de ce couple Zootechnie-Additifs, tient sur notre volonté d'optimiser la réponse animale et l'efficacité de nos produits..



INNOZH Santé & Productions animales

2 rue Jean Rostand - 22440 PLOUFRAGAN
Tél : +33 (0)2.96.76.61.61
E-mail : spa@innozh.fr - Site Internet : <https://www.innozh.fr>

Fort de 30 années d'expérience, INNOZH accompagne les entreprises et les organisations professionnelles dans la mise en œuvre de leurs projets de R&D dans tous les domaines du secteur de la production animale : Bâtiments et équipements, Gestion du bétail, Nutrition animale, Santé et bien-être des animaux, Solutions numériques. INNOZH Santé & Productions Animales vous propose une approche structurée et sur-mesure pour l'étude de vos produits et solutions :

- Exploration de vos besoins et proposition de solutions : sélection du modèle, conception du protocole. - Expérimentation, évaluation et validation : mise en place et exécution d'essais, soumission de rapports d'étude. - Suivi, assurance qualité et audit des essais.
- Traitement des données et valorisation : analyses statistiques, interprétation des résultats.
- Diffusion scientifique : préparation de posters et articles.
- Formations expertes en Santé et Production Animale : statistiques, autopsie, essais cliniques. INNOZH est labellisée Centre de Ressources Technologiques (CRT), certifiée Qualiopi, et agréée pour la formation continue vétérinaire par le CNOV.



JEFO EUROPE

2 rue Claude Chappe, Espace Performance La Fleuriaye, BP 50 776, - 44481 CARQUEFOU cedex
Tél. : + 33 (0)2.40.52.64.64
E-mail : contact.europe@jefe.ca - Site Internet : www.jefe.com

JEFO conçoit et met en marché une gamme complète de produits exclusifs et innovants pour le porc :

- Produits microencapsulés par la technologie JEFO Matrix, pour une libération précise des ingrédients actifs, adaptée au temps de transit du porc
- Extrait de fermentation
- Xylanase : Belfeed,
- Prébiotique : Profeed,
- Gamme sécurité des aliments : Fongismart, JEFO SP,
- Antioxydant naturel : Multinat Effect,
- Produits de commodité.



LALLEMAND ANIMAL NUTRITION

LALLEMAND SAS

19, rue des Briquetiers - 31702 BLAGNAC

Tél. : + 33 (0)5.62.74.55.55 - Fax : + 33 (0)5.62.74.55.00

Site Internet : www.lallemandanimalnutrition.com

LALLEMAND Inc., société familiale canadienne, est spécialisée dans les levures, les bactéries et les dérivés de levures, destinés aux marchés de la nutrition animale, de la boulangerie, de l'oenologie et de l'industrie pharmaceutique. LALLEMAND Animal Nutrition est spécialisé dans le développement, la production et la commercialisation de solutions naturelles, profitables et différenciées en santé et nutrition animales. Ses principaux produits pour le secteur porcin comprennent :

- Bactocell : bactérie lactique vivante particulièrement adaptée à l'utilisation en alimentation liquide des porcs à l'engrais et des truies.
- Levucell SB : levure probiotique spécifique (S.c. boulardii I-1079) autorisée en truies gestantes et allaitantes ainsi que sur porcelets.
- Alkosel : levure riche en Sélénium organique.
- Optiwall : pari de levure sélectionnée et optimisée par LALLEMAND.
- Melofeed : source naturelle de superoxide dismutase.



LUCTA SA

C/Serrano - 110 - 1a (despacho 2) - 28006 MADRID (Espagne)

Tél. : + 34 93.845.89.13

E-mail : feedadd.sp@lucta.com - Site Internet : www.lucta.com

LUCTA, leader mondial de l'arôme pour alimentation animale, conçoit et fabrique toute une gamme d'additifs sensoriels avec des marques renommées :

- Luctarom, Luctarom Advance, Luctarom Convert, Luctarom Sweet SFS, EarlyStart, ProEfficient, BitterOff
- Luctamold
- Luctanox
- Luctacid
- Luctamax
- Luctalife
- Luctactive

En collaboration avec de nombreux partenaires internationaux et grâce à sa propre station de recherche, LUCTA développe des additifs et apporte son expertise en matière de palatabilité des aliments.



METEX Animal Nutrition

32 rue Guersant-75017 Paris

Tél. : + 33 (0)1.44.40.12.12

E-mail : contact@metexanimalnutrition.com - Site internet : <https://fr.metexanimalnutrition.com>

METEX Animal Nutrition fait partie du groupe METabolic EXplorer (METEX), une entreprise française de biochimie industrielle. Depuis 50 ans, METEX Animal Nutrition produit des acides aminés par fermentation. Aujourd'hui, leader européen de la production en France, de la vente et de la distribution d'acides aminés et autres ingrédients actifs biosourcés, destinés à l'alimentation animale, METEX Animal Nutrition propose une gamme complète : Noovalife et Noov-CS : acides aminés bas carbone Inneus et B-noov : solutions visant à l'amélioration de la santé digestives des monogastriques.

Au plus proche de ses clients, METEX Animal Nutrition vous propose son expertise et son savoir-faire pour accompagner les changements nutritionnels nécessaires aux nouveaux enjeux du développement durable des filières animales : réduction de la dépendance protéique, meilleure utilisation des ressources, réduction des impacts climatiques et environnementaux des filières animales, réduction de l'usage des antibiotiques et amélioration du bien-être animal.



M.G.2 MIX

Zone de la Basse Haye - 35220 CHATEAUBOURG

Tél. : + 33 (0)2.99.00.70.34

E-mail : mg2mix@mg2mix.fr - Site Internet : www.mg2mix.fr

Firme service indépendante en nutrition animale, MG2MIX vous écoute et répond à vos attentes :

- un process contrôlé et certifié pour la fabrication de prémélanges d'additifs, aliments minéraux et suppléments nutritionnels
- la connaissance des métiers et des filières des productions animales
- une équipe de nutritionnistes expérimentés, en relation directe avec le terrain
- une veille technologique et scientifique adaptée pour des applications directes en élevage
- des produits innovants : prémix nutritionnels et fonctionnels



MIXSCIENCE

2 Avenue de Ker Lann - 35170 BRUZ

Tel : +33 (0)2.23.46.90.00

E-mail : contact@mixscience.eu - Site internet : www.mixscience.eu

MIXSCIENCE, société innovante d'expertise en nutrition et productions animales, regroupe 500 collaborateurs et commercialise 99 000 T de prémix et spécialités pour un équivalent de 10 millions TEA.

Par la production et la vente de prémix, de solutions nutritionnelles dédiées à la démédecation, de prémélanges d'additifs et d'actifs nutritionnels (distribution d'enzymes, d'acides organiques, de vitamines, et de lysine poudre et liquide), MIXSCIENCE accompagne les filières de productions animales françaises et internationales.

En s'appuyant sur ses capacités industrielles européennes (certifiées GMP et FAMI QS), son laboratoire interne et sur le MixScience Research Center connecté à un réseau d'élevages sur le terrain, MIXSCIENCE offre des prestations de conseils et services : formulation, expertise nutritionnelle, appui en élevage, conception de programmes alimentaires, démédecation, analyse laboratoire, diagnostics industriels...



NOVUS International

Leuvensesteenweg 643 - Box 15 - B-1930 ZAVENTEM (Belgique)

Site internet : <https://www.novusint.com>

NOVUS International, Inc. est votre partenaire en nutrition intelligente. À partir des résultats de la recherche scientifique et d'observations de terrain, nous mettons au point des solutions technologiques avancées innovantes pour accompagner les éleveurs du monde entier vers de meilleures performances.

NOVUS est une société détenue à titre privé par Mitsui & Co., Ltd. et Nippon Soda Co., Ltd. Son siège se situe à Chesterfield, dans le Missouri (États-Unis).



NUCLÉUS

7, rue des Orchidées - Le Bourg Nouveau - 35650 LE RHEU

Tél. : + 33 (0)2.99.14.64.81

E-mail : contact@nucleus-sa.com - Site Internet : www.nucleus-sa.com

NUCLÉUS, leader dans la sélection porcine en France, gère la plus importante population de truies GGP :

- lignées maternelles : Large-White, Landrace

- lignées paternelles : Piétrain, Duroc et Kador.

Innovation, Rigueur et Haut niveau sanitaire :

"NUCLEUS, c'est l'alliance de la performance et de la qualité"



ORFFA France SA

29, rue de Bassano - 75008 PARIS

Tél. : + 33(0)1.47.20.30.96

E-mail : info@orffa.com - Site Internet : www.orffa.com

Le spécialiste des additifs pour la nutrition animale

ORFFA développe, personnalise, source et propose des additifs alimentaires et des solutions nutritionnelles destinés au marché de la nutrition animale. Notre métier : concevoir, sélectionner et fournir des additifs. En tant qu'expert en additifs pour la nutrition animale, nous disposons d'équipes spécialisées dans la formulation de solutions nutritionnelles construites autour de produits et de concepts à haute valeur ajoutée. Notre gamme s'étend du simple ingrédient à des solutions plus complexes qui ont pour but d'aider à surmonter et résoudre les difficultés auxquelles sont confrontés les industriels des productions animales.

Nos solutions nutritionnelles :

- Excential Smart : nouvelle génération d'oligo-éléments hydroxy cuivre, zinc, manganèse,

- Excential Se4000 : nouvelle génération de Sélénium organique forme Sélénométhionine,

- Excential Energy Plus : nouvel émulsifiant nutritionnel,

- Excential Butycoat : Butyrate de sodium microencapsulé,

- Excential Alliin Plus : extraits végétaux,

- Excential Toxin Plus/A : capteur de mycotoxines,

- Excential Beta-Key : Bétaine HCL 95% non hygroscopique,

- Calsporin : Probiotique thermostable (Bacillus subtilis C-3102) pour truies, porcelets, charcutiers,

- AmmoMin : Clinoptilolite d'origine sédimentaire,

- Protéine de plasma – Vitamines – Oligoéléments – Antioxydants – Acides ...



PHILEO by LESAFFRE

137, rue Gabriel Péri – 59700 MARCQ EN BAROEUL Cedex

Tél. : + 33 (0)3.20.81.61.00

E-mail : f.goasguen@phileo.lesaffre.com - Site internet : <https://phileo-lesaffre.com>

PHILEO by LESAFFRE, division Nutrition et Santé animale LESAFFRE, développe, produit et commercialise une gamme de solutions innovantes :

- Actisaf Sc 47 : la levure vivante de référence (autorisations permanentes en truies gestantes et allaitantes, porcelets, engraissement) ;

- Safmannan : la fraction pariétale « premium »

- Selsaf : source de sélénométhionine et Sélénocystéine naturelle

- Nutrisaf 503 : source durable de protéines

- Safglucan : source de bêta-glucanes purifiés

- Nucleosaf : l'extrait de levure riche en nucléotides.



PHOSPHEA

57, boulevard Jules Verger - 35800 DINARD

Tél. : + 33 (0)2.99.16.51.50

Site Internet : www.phosphea.com

PHOSPHEA, filiale du Groupe ROULLIER et expert mondial des macro-minéraux, développe des solutions nutritionnelles performantes pour les différents acteurs de la nutrition animale. Nous proposons trois gammes de produits à base de macro-minéraux : la gamme Essentielle (matières premières fondamentales) ; la gamme Performance (matières premières innovantes et à valeur ajoutée) et la gamme Evolution (Ingrédients naturels innovants qui répondent aux grands enjeux du secteur)..



PROVIMI France

Parc d'Activités de Ferchaud – 35320 CREVIN

Tél. : + 33 (0)2.99.42.62.62 - Site internet : www.provimi.fr

PROVIMI France est le partenaire expert, créateur de produits et de services innovants, pour les acteurs de la nutrition animale.

Nous plaçons l'innovation au cœur de notre ADN en choisissant de focaliser notre énergie sur le développement d'un savoir-faire en nutrition, respectueux de l'environnement et du bien-être des animaux. A ce titre, nous bénéficions de toute la puissance en Recherche et Développement du groupe Cargill avec 22 centres de recherche et d'application technologique internationaux.

Aujourd'hui, plus de 8 millions de tonnes d'aliments sont fabriqués avec des prémix ou spécialités Provimi produits en France. Ceci est le fruit de notre proximité et de notre réactivité permanente au service de nos clients partenaires



Créateur de solutions pour l'élevage
Bâtiment Santé Conduite

REZOLUTION

Parc d'activités de Gohélève – 56920 NOYAL-PONTIVY

Tél. : + 33 (0)2.97.25.72.57

E-mail : contact@rezolution.fr - Site internet : <https://www.rezolution.fr>

REZOLUTION cumule une longue expérience en R&D et s'appuie sur un réseau de fermes partenaires pour vous accompagner dans tous vos projets expérimentaux : synthèse bibliographique, accompagnement dans la conception du projet, défense auprès des comités d'éthique du projet, collecte des données en élevage conformément au protocole, data management, analyse descriptive et statistique des données et communication des résultats dans des congrès et revues scientifiques.

REZOLUTION fédère aujourd'hui 8 consultants expérimentés dans la gestion de la santé des porcins, dans les diagnostics techniques des bâtiments et dans l'optimisation de la conduite d'élevage. D'autres services complètent notre offre, ils s'adressent à toutes les entreprises de la filière. Que vous soyez éleveur, organisme de sélection ou groupement de producteurs, cabinet vétérinaire ou firme d'aliment, nous pouvons vous accompagner dans l'animation et la formation de vos équipes mais aussi pour tout appui technique et vétérinaire chez vos clients.



Smart Feed & Good Health

TECHNA

41 Route de St Etienne de Montluc - 44220 COUËRON

Tél. : 33 (0)2.40.85.41.41

E-mail : societe@techna.fr - site Internet : www.groupe-techna.com/fr

FEEDIA incarne l'offre de conseil et solutions en techniques d'élevage et nutrition de précision de TECHNA au service de la performance des organisations de productions, des fabricants d'aliments et de leurs clients éleveurs. Avec ses 5,062 millions de tonnes d'aliment reconstituées en 2022, FEEDIA déploie un savoir-faire toutes espèces tant en France qu'à l'international. Sa dynamique scientifique s'appuie sur 4 leviers majeurs : le Centre de Recherches Euronutrition SAS (l'un des plus grands centres privés européens), des partenariats de recherche (instituts, universités, industries...), un pôle interne et une veille scientifique orientée.

Thématiques actuelles de FEEDIA en porc : réponses aux attentes sociétales en termes de bien-être (robustesse des porcelets, liberté des truies pour la maternité, arrêt de la castration et de la coupe des queues), alternatives aux antibiotiques et à l'oxyde de zinc, baisse des rejets, nutrition de précision adaptée à chaque profil génétique. Outils d'aide à la décision pour évaluer le contexte et proposer des solutions d'amélioration, piloter la stratégie alimentaire en truie et en engraissement, garantir une qualité de carcasse optimale et optimiser la marge sur coût alimentaire.



magnesium

TIMAB magnesium

57 boulevard Jules Verger - 35800 DINARD

Tél. : + 33 (0)2.23.15.24.91

E-mail : timab.magnesium@roullier.com – Site internet : www.timabmagnesium.com/fr/

Forte de ses 50 années d'expertise, TIMAB Magnesium est une entreprise innovante offrant des solutions à base de magnésium pour la nutrition animale. Grâce à ses installations minières intégrées en Espagne et au Brésil, ses laboratoires de recherche internes et ses équipes R&D, l'entreprise développe aujourd'hui des solutions spécifiques et performantes.

L'objectif principal de TIMAB Magnesium est de révéler le potentiel du magnésium pour répondre aux attentes fortes des filières de productions animales à l'image des produits déjà présents sur le marché :

CAPMAGZn : Biodisponibilité optimisée du zinc grâce à la protection du magnésium

- CAPMAGZn est une source de zinc innovante visant à couvrir les besoins nutritionnels des porcelets, truies et porcs charcutiers. Sa formulation brevetée utilise un support magnésien permettant la protection physique du zinc. Ce concept inédit permet d'ajuster la cinétique de solubilisation de l'oligo-élément afin de maximiser son absorption au niveau de l'intestin.



TOPIGS NORSVIN France

10 place du Bois Noir – 29800 LANDERNEAU

Tél. : + 33 (0)2.29.02.15.20

E-mail : topigs@topignorsvin.fr – Site internet : www.topignorsvin.fr

Filiale de TOPIGS NORSVIN International, leader européen de la génétique porcine, TOPIGS NORSVIN France s'appuie sur d'importants moyens de recherche (TOPIGS NORSVIN Research Center), sur les nouvelles techniques de pointe de la génétique moléculaire et quantitative.

Pour les éleveurs, TOPIGS NORSVIN France propose :

- Les lignées femelles TN60 et TN70

- Les lignées mâles TN Sélect, TN Talent, TN Tempo, TN Traxx et les verrats labélisés Nador (Low Boar Taint).

Choisir TOPIGS NORSVIN, c'est plus de porcs vendus, un Indice de Consommation contrôlé, un sanitaire maîtrisé, un confort de travail et une sérénité au quotidien.



VETAGRI

59 rue Arthur Énaud - 22600 LOUDEAC

Tél. : + 33 (0)2.96.66.84.74

E-mail : info@vetagri.com – Site Internet : www.vetagri.com

Spécialiste de l'alimentation animale depuis plus de 50 ans, VETAGRI développe son savoir-faire du minéral sous toutes ses formes et pour toutes les productions animales. L'objectif de VETAGRI est de rendre efficace l'alimentation grâce à des solutions personnalisées. Avec 4 sites de production et des responsables secteurs implantés en régions, l'entreprise est présente à l'échelle nationale.

VETAGRI propose un accompagnement complet pour les éleveurs FAFeurs : analyse des matières premières, formulation des plans d'alimentation, suivi des performances en élevage et une offre produit "à la carte" (aliments minéraux, aliments diététiques, compléments nutritionnels, produits d'hygiène, conservateurs, négoce de Matières Premières végétales, etc.). L'entreprise est certifiée OQUALIM RCNA STNO et Agriculture Biologique.



VILOFOSS

ZI de la gare - 22960 PLEUDIHEN-SUR-RANCE

Tél. : + 33 (0)2.96.83.21.42 – Site Internet : www.vilofoss.com/fr

VILOFOSS propose un service de conseil individuel, visant à optimiser la production animale des élevages à travers l'apport de composés vitaminiques et minéraux.

Tous les élevages de porcs sont différents, c'est pourquoi nous vous proposons de formuler vos aliments selon les dernières normes et recommandations officielles.

Nous possédons aussi nos propres unités de recherche et développement et pouvons vous faire bénéficier de solutions issues des tout derniers tests et résultats de la recherche internationale de VILOFOSS.



VIRBAC France

13e rue LID, BP 27, 06511 CARROS Cedex

Tél. : +33 (0)4.92.08.71.00

Site internet : <https://fr.virbac.com/fr.html>

La prévention avant tout.

L'un des défis actuels des professionnels de la filière porcine est de préserver la productivité des élevages tout en accompagnant la réduction d'usage des antibiotiques. Dans ce cadre, VIRBAC accompagne vétérinaires et éleveurs avec des solutions techniques qui privilégient la prévention médicale grâce à la vaccination. Et parce que la prise en charge des animaux malades reste une nécessité quand la prévention ne suffit pas, VIRBAC apporte également des réponses au travers d'une gamme d'anti-infectieux injectables en faveur d'une antibiothérapie curative, individuelle et responsable.

Pour ce faire, VIRBAC s'appuie sur une équipe de professionnels dédiés qui accompagnent la filière en délivrant informations, conseils et soutien technique.



YXIA

15 Saint Hubert - 35590 SAINT GILLES

Tél. : + 33 (0)2.99.78.72.80 – E-mail : yxia@yxia.fr - Site Internet : www.yxia.fr

YXIA - leader de l'insémination artificielle porcine - apporte une solution globale sur le poste ' clé ' de la reproduction :

- des semences haute performance par l'intermédiaire de son process qualité drastique appelé « Titanium » qui utilise les dernières technologies d'analyse, de traçabilité et aussi, par un renouvellement rigoureux des animaux.

- une gamme large de technologies d'insémination et équipements.

La dernière innovation d'YXIA, présentée en avant-première au SPACE 2022, sa solution easy&clean permettant de réaliser les inséminations sans avoir à nettoyer les vulves des truies. Easy&clean a été récompensé aux INNOV"SPACE.



ZINPRO Animal Nutrition (Europe), Inc.

Akkerdistel 2E – 5831 PJ BOXMEER (Pays-Bas)

Tél. : +31 (0)485.521.926 – E-mail : fdefontaine@zinpro.com – Site internet : www.zinpro.com

Chez ZINPRO, tout commence par la nutrition minérale avec les oligo-éléments les plus efficaces. Ensuite, nous abordons la situation dans son ensemble - avec des solutions, des outils et des ressources pour aider à améliorer l'élevage pour plus de performances et de rentabilité.

Depuis plus de 50 ans, ZINPRO améliore la santé et le bien-être des animaux en tant que pionnier dans la recherche et le développement d'oligo-éléments performants et de solutions innovantes. En tant qu'entreprise familiale, notre croissance régulière est le résultat de produits de qualité, d'une équipe d'experts internationaux et d'un engagement à aider nos clients à obtenir plus grâce à nos solutions nutritionnelles. Avec plus de 300 publications scientifiques à comité de lecture, les bénéfices de nos produits sont prouvés par des travaux de recherche. Notre gamme ZINPRO Performance Minerals comprend ZINPRO Availa (Sow, Zn, Mn, Cu, Se) et ZINPRO ProPath (Zn, Mn, Cu, Fe).



ZOETIS

10, rue Raymond David - 92240 MALAKOFF

Tél. : + 33 (0)800.73.00.65 – E-mail : contacteznous@zoetis.com

Site Internet : www.zoetis.fr

En tant que leader mondial de la santé animale, ZOETIS est animée par un objectif unique : nourrir notre monde et l'humanité en faisant progresser les soins aux animaux.

Depuis plus de 70 ans, ZOETIS innove pour prédire, prévenir, détecter et traiter les maladies animales tout en continuant de soutenir les personnes qui élèvent et soignent des animaux dans le monde entier, qu'il s'agisse de vétérinaires, de propriétaires d'animaux de compagnie ou d'éleveurs.

Le portefeuille et le pipeline de médicaments, de vaccins, de diagnostics et de technologies de l'entreprise font la différence dans plus de 100 pays. ZOETIS, qui figure au classement Fortune 500, a généré un chiffre d'affaires de 8,1 milliards de dollars en 2022 et emploie environ 13 800 personnes.

Organismes de recherche et entreprises auteurs

Allemagne

- **BASF SE**, 38, Carl-Bosch-Strasse, 67056 Ludwigshafen/Rhine
- **EVONIK OPERATIONS GMBH**, Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau-Wolfgang
- **UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES BINGEN**, 109, Berlinstrasse, 55411 Bingen/Rhine
- **UNIVERSITY OF BONN**, Institute of Animal Science, 53115, Bonn
- **UNIVERSITY OF GÖTTINGEN**, Department of Animal Sciences, Kellnerweg 6, 37077 Göttingen

Autriche

- **DSM-FIRMENICH**, Animal Nutrition and Health R&D Center, Tulln
- **UNIVERSITY OF VIENNA**, Doctoral School in Chemistry Faculty of Chemistry, Department of Food Chemistry and Toxicology, Vienna

Belgique

- **ARTECHNO SA**, 5032 Les Isnes
- **CELABOR PLATEFORME DE VALORISATION DES BIOMASSES**, 4650 Chaineux
- **CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES (CRAW)**, 5030 Gembloux
- **FERMENTED PRODUCT PARTNER SA**, 5032 Les Isnes
- **ILVO**, Animal Sciences Unit, Scheldeweg 68, 9090 Melle
- **LUTOSA SA**, 7900 Leuze-en-Hainaut
- **NOVUS EUROPE NV**, Leuvensesteenweg 643, Boîte 15, 1930 Zaventem
- **SANLUC INTERNATIONAL NV**, Langerbruggekaai 1, 9000 Gent
- **UNIVERSITY OF GHENT**, Department of Animal Sciences and Aquatic Ecology, Coupure Links 653, 9000 Gent
- **UNIVERSITÉ DE LIÈGE**,
- **GXABT (GEMBOUX AGRO-BIO TECH)**, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux
- **UNITÉ DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE TERRA**, Gembloux Agro Bio-Tech, 5030 Gembloux
- **UNITÉ DE RECHERCHE FARAH**, Faculté de Médecine Vétérinaire, 4000 Liège

Brésil

- **UNESP**, Universidade Estadual Paulista, Department of Animal Science, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo

Canada

- **CENTRE DE DÉVELOPPEMENT DU PORC DU QUÉBEC INC.**, (CDPQ), 815 Rte Marie-Victorin, G7A 3S6, Saint-Nicolas, Lévis, Québec, G7A 3S7
- **UNIVERSITÉ LAVAL**, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Département des sciences animales, rue de l'agriculture, 2425 rue de l'Agriculture, Québec, G1V 1A6

Chine

- **CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY**, College of Animal Science and Technology, State Key Laboratory of Animal Nutrition, Beijing 100193
- **INSTITUTE OF QUALITY STANDARDS AND TESTING TECHNOLOGY FOR AGRICULTURAL PRODUCTS**, Key Laboratory of Agrifood Safety and Quality, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081
- **NUTRITION LABORATORY OF WELLHOPE FOODS CO.**, Ltd., Shengyang 110164

Danemark

- **AARHUS UNIVERSITY**, 8830 Tjele

Espagne

- **AWEC ADVISORS S.L.**, Research Park UAB, Campus UAB, 08193, Cerdanyola del Vallès
- **EVONIK OPERATIONS GMBH**, Gabriel García Marquez 4, 1, 28232 Madrid
- **GENERA PMO**, 30370 Cabo de Palos, Murcia
- **LUCTA S.A.**, Innovation Division, UAB Research Park, Campus UAB, 08193, Cerdanyola del Vallès
- **UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA**, Department of Animal and Food Science, Barcelona, Bellaterra (UAB)
- **UNIVERSITY OF MURCIA**, 30100 Espinardo, Murcia

Etats-Unis

- **CARTHAGE INNOVATION SWINE SOLUTIONS**, Carthage, IL
- **EVONIK CORPORATION**, 1701 Barrett Lakes Blvd, Kennesaw, GA 30144
- **TOPIGS NORSVIN USA**, Burnsville, MN

France

- **ADAR - CIVAM**, 10 rue d'Olmor, 36400 La Châtre
- **ADISSEO FRANCE SAS**, 03600 Malicorne
- **ADM**,
 - rue de l'Eglise, 02402 Château-Thierry Cedex
 - 6 Rue d'Ouessant, 35760 Saint-Grégoire
 - Route de Talhouët, 56250 Saint-Nolff
- **AGB SOLUTIONS 33 ALLÉE GALILÉE**, 74700 Sallanches
- **AGROPARISTECH**, INRAE, GABI, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas
- **ALGOFIT**, 17 chemin du Christ, 59910 Bondues
- **ALLIANCE R&D**, 35651 Le Rheu
- **ALLTECH**, ZA La Papillonnière, Rue Charles Amand, 14500 Vire
- **ANIMINE**, 10 rue Léon Rey Grange, 74960 Annecy
- **ANSES**,
 - Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, 41 rue de Beaucemaine - BP 53, 22440 Ploufragan
 - Unité Épidémiologie, Santé et Bien-Être,
 - Unité VIPAC, Virologie immunologie parasitologie aviaires et cunicoles,
 - Unité Virologie Immunologie Porcines,
 - UMBA, Unité de Mycoplasmodologie-bactériologie-antibiorésistance,
 - Laboratoire de Fougères, Fougères
 - Agence Nationale du Médicament Vétérinaire, Fougères
 - École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Laboratoires de Santé Animale USC EPIMAI (Épidémiologie des maladies animales infectieuses) et UMR BIPAR (Biologie et immunologie parasitaires), 94700 Maisons-Alfort
- **ARC NUTRITION**, Crenan, 27, 22800 Le Foeil
- **ARVALIS**,
 - 2 Poulaine, 41100 Villerable
 - Rue de L'Étang, Gran Castel, 56800 Ploërmel
- **ARYBALLE**, 38000 Grenoble
- **ASSERVA**, 7 Rue des Gastadours Maroué, 22400 Lamballe-Armor
- **ASSOCIATION LIT OUESTEREL**, 101 route de Gachet, 44300 Nantes

- **AXIOM**, 37310 Azay-sur-Indre
- **BASF FRANCE S.A.S.**, 49, avenue Georges Pompidou, 92593 Levallois-Perret
- **BREIZHPIG SCOP SAS**, 63 Rue Ar Men, 29800 Plouedern
- **CEVA BIOVAC**, 6 Rue Olivier de Serres, 49070 Beaucozé
- **CHAMBRE D'AGRICULTURE DE LA SOMME**, 80200 Estrées-Mons
- **CHAMBRE RÉGIONALE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE**,
 - 9 rue André Brouard 49105 Angers
 - La Géraudière, 44939 Nantes
 - 6 place Hélène Boucher, 44150 Ancenis
- **CHAMBRE RÉGIONALE D'AGRICULTURE DE BRETAGNE**,
 - rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex
 - 4 avenue du Chalutier Sans Pitié, 22190, Plérin
 - 24 route de Cuzon, CS 26032, 29322 Quimper Cedex
 - Crécom, 22 480 Saint Nicolas du Pelem
 - P. A. De Ronsouze, 56800 Ploermel
- **CHAMBRE RÉGIONALE D'AGRICULTURE DU GRAND EST**, 54520 Laxou
- **CHENE VERT**,
 - 4 rue Théodore Botrel 22600 Loudéac
 - Chateaubourg
- **CHOICE GENETICS**, 35170 Bruz
- **CIVAM DE VALENCAY ET DU PAYS DE BAZELLE**, 7 rue des Templiers, 36600 Valencay
- **COOPERL**, 7, rue de la Jeannaie - B.P. 60328, 22 403 Lamballe-Armor cedex
 - Innovation SAS,
 - 1 Rue de la gare, 22640 Plestan
 - Rue de la Jeannaie, 22400 Lamballe-Armor
 - Nutrition, 1 Rue de la Gare, 22640 Plestan
 - Groupement d'éleveurs Porcs, 21 rue d'Armor Maroué, 22403 Lamballe Cedex
 - Equipement, Rue de la Jeannaie, 22403 Lamballe-Armor cedex
 - Data Science, ZAC du Liffré 64 Rue Mouëxigné, 22403 Lamballe-Armor
 - Suite, 18 Avenue Henri Fréville Bâtiment B, 35200 Rennes
- **DELTAVIT**, ZA du Bois de Teillay, 35150 Janzé
- **DENKAVIT FRANCE SARL**, ZI de Méron, 49260 Montreuil-Bellay
- **DESIALIS**, Mont Bernard, 51000 Châlons en Champagne
- **DILEPIX**, 22 avenue Jules Maniez, 35000 Rennes
- **DSM-FIRMENICH**, ANH Nutritional Products, 71 boulevard National, 92250 La Garenne Colombes
- **ELANCO FRANCE SAS**, Crisco Uno, bâtiment C, 3-5 avenue de la cristallerie, CS80020, 92317 Sèvres Cedex
- **EPLEFPA «THÉODORE MONOD»**, 55 Avenue de la Bouvardière, 35650, Le Rheu
- **EUREDEN**, Z.A. de Lanjouan, BP 90251 - 22402 Lamballe Cedex
- **EVEL'UP**,
 - 38 Rue du Stiff, 29800 Plouedern
 - 1 rue Georges Guyenemer, 22191 Plérin
- **EVONIK OPERATIONS GMBH**, 2 rue au Duc, 35000 Rennes
- **FOREBIO**, 117 rue de Charenton, 75012 Paris
- **FRANCE GÉNÉTIQUE PORC**, 35651 Le Rheu Cedex
- **GENOSCREEN**, 1 rue du Pr Calmette, 59000 Lille
- **GROUPE CCPA**, ZA du Bois de Teillay, 35150 Janzé
- **HEMERA**, 25 Avenue du Granier, 38240 Meylan
- **HUMANOIA**, 338 route de Philondenx, 64410 Cabidos

- **IDELE**, Institut de l'élevage, 8 rue de Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex
- **IFIP-INSTITUT DU PORC**, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu
- **INITIATIVE BIO BRETAGNE**, 35700 Rennes
- **INNOZH**, 2 rue Jean Rostand, 22800 Ploufragan
- **INRAE**,
 - UMR PEGASE, Institut Agro, 16 le Clos, 35590 Saint-Gilles
 - UE Physiologie et Phénotypage des Porcs, UE3P, Domaine de la prise, 35590 Saint-Gilles
 - UMR SAS, Institut Agro, 35000 Rennes
 - UR OPAALE, 35044 Rennes
 - UE GenESI, station #porganic, La Gouvanière, 86480 Rouillé
 - Université de Tours, 37380 Nouzilly
 - UMR BOA, Biologie des Oiseaux et Aviculture,
 - UMR PRC (Physiologie de la Reproduction et des Comportements), CNRS,
 - UMR BIOEPAR (Biologie, Epidémiologie et Analyse de Risque en Santé Animale), ONIRIS, La chantrerie, 44300 Nantes
 - Centre Occitanie-Toulouse, 31320 Auzeville-Tolosane
 - UMR GenPhySE, ENVT, Université de Toulouse - INPT, 31326 Castanet-Tolosan
 - UMR AGIR, Agroécologie, Innovations et Territoires, Castanet-Tolosan
 - UEA (Unité Expérimentale Arboricole), 33210 Toulence
 - LISIS, Laboratoire Interdisciplinaire Sciences, Innovations, Sociétés, Marne-la-Vallée
 - SELMET-LRDE, Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux - Laboratoire de Recherches sur le Développement de l'Élevage, Corte
- **INSTITUT AGRO RENNES ANGERS**, Université Rennes1, CNRS, INRIA, IRISA, 65 rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes
- **INSTITUT PASTEUR (IP)**, CNR de la peste et autres yersiniose, 75015 Paris
- **ITAB**, Institut de l'Agriculture et de l'Alimentation Biologiques, 9 rue André Brouard, 49105 Angers
- **I-TEK**, Z.A, Les Dineux, 22250 Trémeur
- **JEAN HENAFF**, Ker Hastell, 29710 Pouldreuzic
- **JEFO EUROPE**, 2 rue Claude Chappe, Espace Performance La Fleuriaye, 44481 Carquefou
- **KWS MOMONT 7**, rue de Martinval, 59246 MonsenPévèle
- **LE GOUESSANT**, Z.I. 1 rue de la Jeannaie Maroué, BP 40228, 22402 Lamballe-Armor
- **METEX ANIMAL NUTRITION**, 32 rue Guersant, 75017 Paris
- **MG2MIX**, La Basse Haye, 35220 Chateaubourg
- **MIXSCIENCE**, Campus Avril, 2 avenue Ker Lann, 35172 Bruz
- **MSA ARMORIQUE**, 3 rue Hervé de Guébriant, 29 412 Landerneau Cedex
- **NUCLEUS SAS**, 7 Rue des Orchidées, 35650 Le Rheu
- **NUTRINEURO**, INRAE, 33076 Bordeaux
- **OLMIX GROUP**, Bréhan
- **ONIRIS**, INRAE, La Chantrerie, 101 Rte de Gachet, 44300 Nantes,
 - BIOEPAR (Biologie, Epidémiologie et Analyse de Risque en Santé Animale)
 - IECM (Immuno-Endocrinologie Cellulaire et Moléculaire),
- **PHYTOSYNTHESE**, 63200 Mozac
- **PORC.SPECTIVE**, ZA de Gohélève, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56920 Noyal-Pontivy
- **RÉSEAU CRISTAL**, EPIDALIS, 13 Boulevard Denis Papin, 35500 Vitré
- **REZOLUTION**, ZA de Gohélève, 56920 Noyal-Pontivy
- **RITMO AGRO-ENVIRONNEMENT**, 68025 Colmar
- **SAS REZOLUTION**, ZA de Gohélève, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56920 Noyal-Pontivy
- **SCEA LA TREMBLAIE**, La Tremblaie, 53260 Parné-sur-Roc

- **SELAS EPIDALIS**, 13 Boulevard Denis Papin, 35500 Vitré
- **SELAS VÉTÉRINAIRE DU GOUESSANT**, Lamballe
- **SOBAC**, Zone Artisanale de Lioujas, route de Campeyrroux, 12740 La Loubière
- **SOCAVET**, 75 boulevard de penthièvre, 22600 Loudéac
- **TECHNA FRANCE NUTRITION**, Route de St-Etienne-de-Montluc D101, BP10, 44220 Couëron
- **TECHNA NATUAL SAS**, Route de Contigné, Châteauneuf sur Sarthe, 49330 Les Hauts d'Anjou
- **TERRENA**, La Noëlle, BP 20199, 44155 Ancenis
- **TIMAB MAGNESIUM**, 57 Bd Jules Verger, 35800 Dinard
- **ENSAT**, Toulouse INP, avenue de l'Agrobiopole, 31326 Auzeville-Tolosane
- **UNILASALLE**, ULR 7519, Transformations et Agroressouces, Université d'Artois, Beauvais
- **INSERM**, U1195 Maladies et Hormones du Système Nerveux, Université Paris Saclay, Kremlin Bicêtre
- **ISARA**, Université de Lyon, UPSP ICE 2021.A104, 69007 Lyon
- **VETAGRO SUP**,
 - Université de Lyon 1, CNRS, Lyon
 - UPSP ICE (Interaction Cellules Environnement) & CRB CryAnim, Université de Lyon, 69280, Marcy l'Etoile
- **VILOFOSS**, Z.I. de la Gare, 22690 Pleudihen sur Rance
- **YNSECT**, 1 rue Pierre Fontaine, Campus 3, Bâtiment 2, 91000 Evry
- **YXIA**, Equipe R&D, 15 St Hubert, 35590 Saint-Gilles
- **ZOETIS**, 10, Rue Raymond David, 92240 Malakoff

Irlande

- **ALLTECH BIOSCIENCE CENTRE**, Sarney, Summerhill Road, Dunboyne, Co. Meath
- **DUBLIN CITY UNIVERSITY**, School of Chemical Sciences, Dublin
- **MAYNOOTH UNIVERSITY**, Department of Biology, Co. Kildare

Italie

- **UNIVERSITÉ DE BOLOGNE**, Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), 40127 Bologna
- **UNIVERSITÉ DE MILAN**, Département de Médecine Vétérinaire et des Sciences Animales, Lodi

Pays Bas

- **BLONK SUSTAINABILITY**
 - Tools, Gouda
 - Consultant, Sittard, The Netherlands
- **DENKAVIT NEDERLAND BV**, Tolnegenweg 65, 3781 PV Voorthuizen, Pays-Bas
- **TOPIGS NORSVIN RESEARCH CENTER B.V.**, P.O. Box 15, 5201 AA 's-Hertogenbosch, Pays Bas
- **ZINPRO CORPORATION**, 5831 PJ Boxmeer, Pays-Bas

Royaume Uni

- **AB VISTA**, 3 Woodstock Court, Blenheim Road, Marlborough Business Park, Marlborough, SN8 4AN

Singapour

- **EVONIK METHIONINE SEA PTE. LTD.**, 101 Banyan Ave, 627722 Singapour

Suisse

- **AGRITECH CONSULTING**, 1695 Rueyres-St-Laurent
- **AGROSCOPE**, La Tioleyre 4, 1725 Posieux
 - Groupe de Recherche Porcin
 - Systèmes de production animaux et santé animale
- **DSM-FIRMENICH**, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst
- **HERBONIS ANIMAL HEALTH GMBH**, Rheinstrasse 30, 4302 Augst

Sommaire

GÉNÉTIQUE ET QUALITÉ DES VIANDES

1. **Quelles sont les conséquences de la stratégie alimentaire sur les qualités des produits porcins issus de l'agriculture biologique**, *Chloé Van Baelen, Lucile Montagne, Stéphane Ferchaud, Armelle Prunier, Bénédicte Lebret* 1
2. **Effet du type génétique sur le bien-être et la qualité de viande des porcs mâles non castrés en élevage biologique**, *Bénédicte Lebret, Stéphane Ferchaud, Alexandre Poissonnet, Armelle Prunier* 7
3. **Facteurs associés à la prévalence des porcs mâles entiers odorants**, *Pierre-Yves Conan, Jean-Yves Legaud, Arnaud Buchet* 13
4. **Etude génétique de l'utilisation d'un panel de nez humains comme phénotypes afin de discriminer l'odeur de verrat**, *Alice Markey, Christine Große-Brinkhaus, Daniel Mörlein, Ernst Tholen, Nicolas Gengler* 19
5. **Stratégie d'utilisation de l'efficacité digestive pour l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc**, *Vanille Déru, Marie-José Mercat, David Picard, Bruno Ligonésche, Loïc Flatres-Grall, Florence Ytournel, Florian Herry, Joël Bidanel, Maxime Banville, Hélène Gilbert* 25
6. **Les variations de rythmes alimentaires journaliers pourraient jouer un rôle dans la variabilité génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance**, *Hélène Gilbert, Lawal Agboola, Aline Fourny, Florence Gondret, Marie-Pierre Moisan* 31
7. **Développement d'un traitement automatisé des images afin d'estimer le taux de gras intramusculaire chez le porc**, *Kambiz Kashefifard, Guillaume Lenoir, Clément Ribas, Loïc Flatres-Grall* 37
8. **Étude d'association génomique (GWAS) de caractères de croissance, carcasse et qualité de la viande dans une population Duroc française en sélection**, *Aurélié Le Dreau, Carolina Garcia-Baccino, Bruno Ligonésche* 39
9. **Potentiel d'amélioration de l'efficacité digestive dans les trois grandes races porcines françaises**, *Céline Carillier Jacquin, Sonja Allen, Philippe Ganier, Joël Bidanel, Claire Hassenfratz, Benoit Blanchet, Vanille Déru, Hélène Gilbert* 41
10. **Influence de la proportion d'animaux phénotypés sur le progrès génétique d'un caractère enregistré dans des élevages de production**, *Tomasi Tusingwiire, Céline Carillier-Jacquin, Arnaud Buchet, Bruno Ligonésche, Pauline Brenaut, Catherine Larzul* 43
11. **Survie au froid et pathogénicité des souches de *Yersinia enterocolitica* BT4 isolées chez le porc et génétiquement proches ou non de souches isolées chez l'homme**, *Martine Denis, Emmanuelle Houard, Adiel Ouedraogo, Léonie Le Berre, Carole Feurer, Javier Pizarro-Cerda, Cyril Savin, Anne-Sophie Le Guern* 45

SANTÉ

1. **Validation d'un outil non invasif pour collecter le contenu de l'intestin grêle chez les porcs en post-sevrage**, *Inés García Viñado, Federico Correa, Paolo Trevisi, Giuseppe Bee, Catherine Ollagnier* 47
2. **Quels sont les facteurs associés aux niveaux de parasitisme interne chez les porcs dans les systèmes d'élevage alternatifs ?**, *Maxime Delsart, Nicolas Rose, Barbara Dufour, Jean-Michel Répérant, Radu Blaga, Chantal Benoit, Amandine Blaizot, Edouard Boudin, Jean-François Da Costa, Virginie Dorenlor, Florent Eono, Eric Eveno, Stéphane Kerphérique, Gilles Poulain, Marie Souquière, Martine Thomas Hénaff, Sandra Thoumire, Françoise Pol, Christelle Fablet* 53
3. **Gestion de la grippe récurrente H1avN1 à travers la vaccination des porcelets et le contrôle des agents de co-infection dans un élevage naisseur-engraisseur breton**, *Claudio Trombani, Mélanie Ropars, Vianney Sicard, Sébastien Picault, Nicolas Rose, Mathieu Andraud* 59
4. **Évaluation d'indicateurs potentiels pour une sélection génétique présentant une résistance naturelle accrue face au virus du syndrome dysgénésique et respiratoire porcin**, *Claudia A. Sevillano, Jenelle R. Dunkelberger, Egbert F. Knol* 65
5. **Etude descriptive du portage de *Streptococcus suis* et des sérotypes 2, 1/2 et 9 au sein de deux cheptels présentant des cas cliniques de streptococcie**, *Morgane Rémond, Eric Lewandowski, Vincent Muller, Célia Puyal-Rucine, Anne Lehebel, Hubert Gantelet, Claire De Boisséson, Corinne Marois-Créhan, Catherine Belloc* 71
6. **Evolution des performances des porcs du post-sevrage à l'abattage après mise en place de la vaccination par voie orale contre *E. coli* F4/F18**, *Jean-Luc Sevin, Lucile Faisant, Sophie Vigneron, Bernard Fily, Vincent Burlot* 77

7. **Effet *in vitro* de fractions de levure riche en mannane sur la réduction de la croissance d'*Escherichia Coli* productrices de β -lactamase à spectre étendu résistantes aux antibiotiques chez le porcelet, Helen Smith, Richard Myrphy, Raphael Ariaux** **79**
8. **Résistance à la colistine chez le porc - des mesures de maîtrise efficaces, Claire Chauvin, Elsa Coz, Eric Jouy Marie-Laure Delignette-Muller, Agnès Perrin-Guyomard, Xavier Sauzea, Philippe Le Coz, Alexandre Poissonnet, Anne Hemonic, Anne Chevance, Delphine Urban** **81**
9. **Evolution des performances de croissance de lot en lot dans un contexte d'exposition élevée et variable au virus du SDRP, Raphaël Gauthier, Simon Binggeli, Patrick Gagnon, Marie-Pierre Létourneau-Montminy** **83**
10. **Mise en place de protocoles de stabilisation du SDRP : un moyen efficace pour réduire l'utilisation des antibiotiques dans les élevages ?, Charlotte Teixeira, Gwenaël Boulbria, Christophe Dutertre, Céline Chevance, Théo Nicolazo, Valérie Normand, Justine Jeusselin, Arnaud Lebret** **85**
11. **Etude des facteurs influençant l'hémoglobiniémie du porcelet entre 1 et 42 jours d'âge et proposition d'un protocole d'évaluation du niveau d'anémie au sevrage, Lucie Gautier et Emma Cantaloube** **87**
12. **Mammites subcliniques chez la truie : caractérisation, impact sur la croissance des porcelets, Noémie Kermarrec, Yves Doussal, Pierre Levrard, Mathieu Gloaguen** **89**

ALIMENTATION

1. **Valeurs énergétiques et protéiques de 10 fourrages chez le porc, David Renaudeau, Sarah Lombard, Florine Marie, Eloise Delamaire** **91**
2. **Comment la gamme de matières premières utilisée pour les aliments modifie-t-elle les performances techniques et l'empreinte environnementale des porcs à l'engraissement ?, Estelle Janodet, Hélène Gilbert, Ludovic Brossard, David Renaudeau, Florence Garcia-Launay** **97**
3. **Effet des oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine sur la réduction de la mortalité des porcelets et sur leur qualité au sevrage, Amandine Massiot, Vincent Bégos Jean-Charles Besnard, Adèle Drouet, Mireille Huard, Roberto Barea** **103**
4. **La réponse à la supplémentation en L-leucine pendant la phase de post-sevrage diffère selon le poids de naissance des porcelets, Sam Millet, Carolien De Cuyper, Eline Kowalski, William Lambert, Aude Simongiovanni, Tristan Chalvon-Demersay** **109**
5. **Effet de la baisse de la teneur en protéine alimentaire sur les performances de croissance, la qualité des produits et le bilan environnemental des porcs à l'engraissement, Léa Cappelaere, Florence Garcia-Launay, William Lambert, Aude Simongiovanni, Marie-Pierre Létourneau-Montminy** **115**
6. **Modélisation des flux métaboliques d'acides aminés dans l'intestin grêle chez le porc, Clément Garçon, Nathalie Le Floc'h, Yves Mercier, Jaap van Milgen** **121**
7. **Intégrité de la paroi cellulaire du pois et impact sur la digestibilité des protéines, Myriam Grundy, Marie-Hélène Perruchot, David Renaudeau, Jaap Van Milgen** **127**
8. **Estimation de l'efficacité d'utilisation des acides aminés à partir de données de composition chimique de porcs en croissance, Marion Lautrou et Giuseppe Bee** **133**
9. **Impact de l'alimentation de précision en gestation sur la carrière productive de truies suivies pendant trois cycles reproductifs, Laetitia Cloutier, Béatrice Sauvé, Lucie Galiot, Frédéric Guay, Gabrielle Dumas, Charlotte Gaillard, Jean-Yves Dourmad, Aude Simongiovanni, Patrick Gagnon** **139**
10. **Effets d'une alimentation de précision en phosphore et calcium sur le statut phosphocalcique de la truie durant deux cycles de gestation, Thomas Lemée, Julien Heurtault, Lucie Galiot, Patrick Schlegel, Laetitia Cloutier, Marie-Pierre Létourneau-Montminy** **145**
11. **Modèle mécaniste de l'utilisation du phosphore et du calcium alimentaire et de la dynamique de rétention des cendres corporelles chez la truie en lactation, Julien Heurtault, Patrick Schlegel, Marie-Pierre Létourneau-Montminy** **151**
12. **L'efficacité de la phytase ajoutée aux aliments des porcs en croissance et des truies en maternité est améliorée par une source de carbonate de calcium insoluble, David Guillou, Gaël Goasdoué, Noémie Lemoine** **157**
13. **Effets de probiotiques de type *Bacillus* combinés à un aliment 2^{ème} âge pour porcelets sevrés précocement, Sandrine Dufourny, Mario Aguedo, Othmane Benchaib, Giulia De Razza, Véronique Delcenserie, Benjamin Dubois, Thami El Mejdoub, Sébastien Gofflot, Irma Gonza Quito, Elizabeth Goya-Jorge, Serge Hilgismann, Julien Populin, Maria Schroyen, Philippe Thonart, José Wavreille** **163**

14. **Changements dans le comportement alimentaire des porcelets dans les premiers jours suivant le sevrage**, *Jeroen Degroote, Thomas Van De Putte, Joris Michiels* **165**
15. **Effet des fractions riche en mannane sur le microbiome et l'histologie intestinale des porcs sevrés**, *Aoife Corrigan, Robert Leigh, Brian O'Neill, Fiona Walsh, Richard Murphy* **167**
16. **Effets des protéinates de zinc associés à une fraction riche en mannane en remplacement de l'oxyde de zinc sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la santé intestinale des porcelets sevrés**, *Gang Zhang, Jinbiao Zhao, Gang Li, Yuhan Guo, Defa Li, Yi Wu* **169**
17. **Un sel de sodium butyrate produit par fermentation et encapsulé améliore la performance des porcelets en période post-sevrage**, *Aude Simongiovanni, Tristan Chalvon-Demersay, William Lambert, Jeroen Degroote, Chengcheng Li, Maryam Majdeddin, Joris Michiels* **171**
18. **Effet d'une source de ZnO protégée par du magnésium sur les performances et le fonctionnement intestinal des porcelets sevrés**, *Zoé Garlatti, Maryam Majdeddin, Margaux Tansu, Jeroen Degroote, Thomas Van De Putte, Chengcheng Li, Yuhuang Hou, Herinda Pertiwi, Joris Michiels* **173**
19. **Impact de deux sources de zinc sur les performances et la santé de porcelets légers ou normaux**, *Clara Negrini, Diana Luise, Federico Correa, Sara Viridis, Alessandra Monteiro, Paolo Bosi, Paolo Trevisi* **175**
20. **Effet après sevrage d'une supplémentation en terres rares ou en oxyde de zinc dans un aliment porcelet 1^{er} âge**, *Jordi Lensink, Iris Van Den Belt, Ashley Sijmonsbergen, Clément Moire, Ard Van Enckevort* **177**
21. **Effet d'une stratégie nutritionnelle alternative à l'utilisation d'oxyde de zinc à dose pharmacologique sur les performances et la santé du porcelet sevré**, *Arnaud Samson, Fabien Guillard, Emmanuel Janvier* **179**
22. **Une association à surveiller : étude de l'interaction entre Isoflavones et Zéaralénone chez le porcelet**, *Barbara Novak, Dino Grgic, Elisabeth Varga, Doris Marko, Laure Rouxel, Barbara Doupovec, Dian Schatzmayr* **181**
23. **Une source de vitamine D à base de plantes améliore la performance des porcelets recevant un aliment de démarrage faible en calcium**, *Luca Marchetti, Kathrin Bühler, Riccardo Losa, Katia Pedrosa, Raffaella Rebutti, Caterina Piantoni, Elena Ruggeri, Valentino Bontempo* **183**
24. **Effet d'une alimentation basse en calcium avec ajout de phytase microbienne chez le porcelet en post-sevrage**, *Marllon José Karpeggiane de Oliveira et Marie-Pierre Letourneau Montminy* **185**
25. **Effets du butyrate de calcium, des tanins, et de leur combinaison sur les performances zootechniques, la barrière intestinale et le microbiote des porcelets sevrés**, *Charline Richard-Dazeur, Pauline M Anton, Nelly Badalato, Marine De Koninck, Marie-Hélène Degrave, Nicolas Barbezier, Joris Michiels* **187**
26. **Mise en évidence de la qualité des tanins de châtaignier pour améliorer les performances en élevage porcin**, *Charline Richard-Dazeur, Philippe Jacolot, Marine De Koninck, Marie-Hélène Degrave, Nelly Badalato, Joris Michiels, Nicolas Barbezier, Céline Niquet-Léridon, Pauline M Anton* **189**
27. **Effet d'une combinaison brevetée de plantes sur la sensibilité intestinale et les performances zootechniques du porcelet sevré**, *Alice Monjousté, Pauline Pourtau-Tilly, Emmanuel Janvier, Arnaud Samson* **191**
28. **Effets d'un ingrédient phyto-génique sur les performances de reproduction des truies et les performances de croissance des porcelets avant sevrage**, *Alvaro Ortiz Garcia, Balu Chandar Jayaraman, Mathieu Lepoudere, Maria Mendoza, John Khtoo* **193**
29. **Effets de l'incorporation de larves de *Tenebrio molitor* dans l'aliment des porcelets**, *Didier Gaudré, Manon Jaubert, Rémi Chausse, Castellano Rosa, Paul Barneron* **195**
30. **Quels sont les effets d'une augmentation du ratio céréales cuites sur céréales totales sur les performances du porcelet sevré ?**, *Noémie Lemoine, Antoine Rault, David Brillouet, David Guillou* **197**
31. **Stratégies nutritionnelles pour réduire les niveaux de phosphates inorganiques, améliorer les performances et maintenir une minéralisation osseuse optimale des porcelets**, *Tristan Brehelin, Cécile Rougier-Borne, Xavière Rousseau, Gustavo Cordero* **199**
32. **Effet d'une combinaison de phytase et d'acide formique sur les performances du porcelet et du porc en croissance, et sur l'utilisation du phosphore**, *Pascal Leterme, Georg Dusel, Katharina Schuh-von Graevenitz, Dieter Feuerstein, Julia Trautwein* **201**
33. **Evaluation de l'incorporation d'une xylanase d'origine bactérienne dans des régimes blé ou orge sur les performances et le comportement alimentaire des porcelets**, *Maxime Traineau, Justine Danel, Maria Vilarino, Stéphane Benaben, Emmanuel Landeau* **203**

34. **Impact du niveau d'apport de zinc et de cuivre sur leur digestibilité chez des porcelets sevrés, avec ou sans supplémentation en xylanase et protéase**, *Mohamed Ali Ketata, Marie-Pierre Létourneau-Montminy, Frédéric Guay* **205**
35. **Effet de la réduction des niveaux de supplémentation en cuivre et zinc des aliments sur les performances et le statut minéral des porcs à l'engraissement**, *Emma Gourlez, Jean-Yves Dourmad, Fabrice Beline, Alessandra Monteiro, Anne Boudon, Agnès Narcy, Patrick Schlegel, Francine de Quelen* **207**
36. **Stratégies d'atténuations des effets combinés de la déoxynivalénol et de la zéaralénone sur les cellules intestinales porcines**, *Asmita Thapa, Blanaid White, Dermot Walls, Karina Horgan* **209**
37. **Valeur nutritionnelle des seigles hybrides chez le porc**, *Maria Vilarino, Maxime Traineau, Justine Danel, Vincent Debever* **211**
38. **Détection de perturbations environnementales sur des données d'ingestion de porcs en croissance**, *Carolina Garcia Baccino, Aurélie Le Dréau, Bruno Ligonésche* **213**
39. **Etude de la qualité de la carcasse des porcs nourris individuellement**, *Laura Derouet, Arnaud Buchet, Quentin Ropert, Matthieu Cornic, Damien Monsimert, Audrey Gloux* **215**
40. **Prédiction des besoins nutritionnels de truies gestantes à partir de données de capteurs et d'algorithmes d'apprentissage automatique**, *Maëva Durand, Christine Largouët, Louis Bonneau de Beaufort, Jean-Yves Dourmad, Charlotte Gaillard* **217**
41. **Utilisation d'un décontaminant à base d'argile et d'algues chez la truie naturellement exposée aux mycotoxines en gestation et lactation**, *Marie Gallissot, Jeremy Perez, Eric Parr, Michael Welch, Maria Angeles Rodriguez* **219**
42. **La source d'oligo-éléments affecte la prévalence du syndrome de dysgalactie post-partum, la mobilisation du lard dorsal et les interventions thérapeutiques chez les truies exposées à des températures ambiantes élevées**, *Christof Rapp, Maria José Carrion, Antonio Vargas, José Joaquín Cerón, Damián Escribano, Marianne Kaiser* **221**
43. **Prédiction de l'absorption du phosphore et du calcium alimentaire chez la truie en lactation**, *Julien Heurtault, Patrick Schlegel, Marie-Pierre Létourneau-Montminy* **223**
44. **Détermination des teneurs urinaires en minéraux et biomarqueurs de la minéralisation osseuse chez la truie gestante à partir de prélèvements sur tampons vaginaux**, *Clément Ribas, Nathalie Quiniou, Charlotte Gaillard* **225**
45. **Évaluation d'une combinaison d'additifs alimentaires sur la production et la qualité du colostrum chez la truie ainsi que sur les performances des porcelets sous la mère**, *Emmanuel Janvier, Fabien Guillard, Eric Schetelat, Arnaud Samson* **227**

BIEN-ÊTRE, CONDUITE ET REPRODUCTION

1. **Conception, conduite des animaux et conditions de travail dans des élevages équipés de maternités en liberté**, *Nicolas Villain, Valérie Courboulay, Aude Dubois, Lise Leroux, Alexandre Poissonnet, Yannick Ramonet* **229**
2. **De la réflexion de groupe à l'immersion dans des bâtiments porcins coconstruits innovants en santé et bien-être animal**, *Morgane Leroux, Frédéric Kergourlay, Yvonnick Rousseliere, Olivier Girma* **235**
3. **Etude de l'attractivité et de la longévité de différents matériaux d'enrichissement et d'essence de bois en verraterie bloquée et en gestante grand groupe**, *Alexandre Poissonnet, Louissette Parra-Sourdeau, Valérie Courboulay* **241**
4. **Effet de la superficie des cases de mise-bas, des cases ascenseurs et des cases bien-être sur les performances zootechniques en maternité**, *Gabrielle Dumas et Sébastien Turcotte* **247**
5. **Combiner larmes brunes et lésions corporelles pour une appréciation du bien-être des porcs ?**, *Armande Dupuis, Christelle Fablet, Florent Eono, Éric Eveno, Gilles Poulain, Gaëlane Raux, Gaëlle Simon, Nicolas Rose, Séverine Parois* **253**
6. **Facteurs précédant la première mise bas associés aux performances sur la carrière d'une truie**, *Pierre Levrard, Vivien Samson, Bastien Riera, Yohan Piel, Mathieu Gloaguen, Arnaud Buchet* **259**
7. **Maîtriser l'état corporel des cochettes à la première mise-bas : un gage de longévité**, *Charlotte Teixeira Costa, Céline Chevance, Théo Nicolazo, Justine Jeusselin, Céline Chevance, Valérie Normand, Mathieu Brissonnier, Gwenaël Boulbria, Arnaud Lebret* **265**
8. **Peut-on concilier prolificité, survie en maternité et nombre de sevrés ? Typologie et résultats des élevages français**, *Sylviane Boulot, Alexia Aubry, Solène Honor* **271**
9. **Enquêtes en élevages et auprès d'acteurs de la filière sur la sociabilisation des porcelets en maternité : méthode, avantages et inconvénients**, *Camille Gérard, Nicolas Kolytcheff, Claudie Guyomarc'h, Estelle Kerquillec* **277**
10. **Evaluation des effets de la socialisation précoce sur la croissance, la santé et le bien-être des porcs**, *Solenn Gavaud, Cyrielle Perrier, Alexis Nalovic, Julie Lion, Anissa Jahoui, Dominique Marchand, Catherine Belloc, Blandine Lieubeau, Julie Hervé* **283**
11. **Incidence de la vaccination contre la gonadolibérine (GnRF) sur les performances de croissance et la qualité de la viande des porcs femelles**, *Nathalie Quiniou, Patrick Chevillon, Frédéric Colin* **289**
12. **Caractérisation d'un modèle *in vitro* de réservoir spermatique porcin : vers une meilleure prédiction de la fertilité des verrats ?**, *Lorraine Schmaltz, Isabelle Mérour, Pascal Mermillod, Marie Saint-Dizier* **295**
13. **Évaluation de la prévalence du syndrome inflammatoire et nécrotique porcin dans les troupeaux français**, *Hervé Fortune, Sandy Micout, Alice Monjoust* **301**
14. **Activité de la myéloperoxydase en tant que marqueur non invasif chez les porcs pour identifier les processus inflammatoires intestinaux au-delà de la période de sevrage**, *Sergi López-Vergé, Jose J. Pastor, Raúl D. Guevara, Pol Llonch, Gemma Tedo* **303**
15. **Potentiel d'une technologie RFID UHF pour déterminer le taux d'occupation des zones de vie de porcs en croissance dans un nouveau concept de bâtiment ouvert**, *Yvonnick Rousselière, Audrey Gloux, Johan Thomas, Damien Monsimert, Mathilde Radek, Sophie Ambrois* **305**
16. **Etude de faisabilité sur la pesée des porcs charcutiers par imagerie**, *Pierre Chatelain, Aurélien Yol, Yvonnick Rousselière, Johan Thomas* **307**
17. **Evaluation de l'attractivité d'une balle de luzerne et de son efficacité pour prévenir et interrompre des épisodes de caudophagie en post-sevrage**, *Alexandre Poissonnet, Didier Coulmier, Valérie Courboulay* **309**
18. **Etude des comportements sociaux en lien avec l'émergence de la caudophagie chez le porc d'élevage**, *Caroline Rebillard, Noémie Ory, Tiphaine Potiron* **311**
19. **Impact de l'alimentation et de la conduite des mâles entiers sur la prévalence des odeurs indésirables dans la viande porcine : une étude de cas en élevages de production**, *Maëlliss Brunon, Eric Pagot, Mireille Peuziat, Mathilde Venet, Baptiste Legaud* **313**
20. **Effet de l'incorporation de farine de luzerne dans l'alimentation et de l'ajout de paille sur le bien-être des porcs et le risque d'odeurs sexuelles en élevage biologique**, *Alexandre Poissonnet, Valérie Courboulay, Gérald Huet, Didier Gaudré* **315**
21. **Etude de l'acceptabilité de l'immunocastration des porcs par les consommateurs français**, *Morgane Leroux, Céline Tallet, Anne Hemoni* **317**

22. **Caractéristiques des carcasses et risque d'odeur de la viande de porcs mâles biologiques non castrés,** 319
Sarah Lombard, Florence Maupertuis, Antoine Roinsard, Armelle Prunier
23. **Impact de la méthode de ponction folliculaire sur la maturation *in vitro* des ovocytes porcins,** 321
Slezec-Frick, Guillaume Lenoir, Loris Commin, Léa Bravi, Harmonie Lamarque, Pierre Bruyère, Thierry Joly, Samuel Buff
24. **Les fruits du gattilier et les feuilles de noyer contiennent des phytoprogestagènes permettant d'envisager l'utilisation de ces plantes comme alternative aux hormones de synthèse pour la synchronisation des cycles des cochettes,** 323
Ghylène Goudet, Philippe Chemineau, Philippe Liere, Anne-Lyse Lainé, Marie-Laure Greil, Marine Delmas, Thibaut Chabrilat Stéphane Ferchaud
25. **Une enveloppe sanitaire pour une insémination plus saine, simplifiée et sécurisée,** 325
Isabelle Mérour, Romain Brard, Garance Chatain, Justine Abarnou, Valentine Marre
26. **Une seule insémination permet-elle de diminuer la prolificité et la mortalité des porcelets en élevage biologique ?,** 327
Stéphane Ferchaud, Doryan Grivault, Stéphane Moreau, Jean-Pierre Bidanel
27. **La survie sous la mère : corrélation avec la température tympanique pour les porcelets légers ou de poids "normal",** 329
Sylviane Boulot et Gwendoline Hervé
28. **La socialisation du porcelet en élevage biologique,** 331
Stéphane Ferchaud, Nicolas Kolytcheff, Stéphane Moreau, Tony Terrasson, Grégory Khelifi, Julie Hervé
29. **Analyse approfondie des causes de mortalité des porcelets dans une maternité alternative,** 333
Sylviane Boulot, Sophie Ambrois, Mathilde Radek
30. **Soutenir les performances de reproduction des truies dès la mise-bas,** 335
Florian Moreau, Marion Bervas, Julien Redor, Yann Wache, Jean-Marc Benoist
31. **Influence de l'épaisseur de lard dorsal sur les performances des truies à la mise-bas,** 337
Charlotte Teixeira Costa, Céline Chevance, Théo Nicolazo, Justine Jeusselin, Valérie Normand, Mathieu Brissonnier, Gwenaël Boulbria, Arnaud Lebret
32. **Développement d'un outil d'aide à la décision pour améliorer le suivi de la mise-bas et prédire le taux de mort-nés chez les truies,** 339
Charlotte Teixeira Costa, Gwenaël Boulbria, Christophe Dutertre, Céline Chevance, Théo Nicolazo, Valérie Normand, Justine Jeusselin, Arnaud Lebret
33. **Température corporelle des truies en lactation : état des lieux en lien avec les performances zootechniques, les apports nutritionnels et les paramètres sanguins,** 341
Paul Couëllan, Amélie Gilet, Anne Durand, Thierry Solognac
34. **Comportement de couchage des truies libres dans une case de maternité liberté équipée d'un sol différencié,** 343
Nicolas Villain et Yannick Ramonet
35. **Comparaison de trois types de cases en maternité : effet sur le déroulement des mises bas, l'allaitement et l'activité des animaux au moment de la libération,** 345
Valérie Courboulay, Valentine Glevarec, Sylviane Boulot
36. **Performances de lactation des truies et de croissance de leurs porcelets pendant les 10 premières semaines de vie quand le sevrage intervient 3 ou 4 semaines après la mise bas,** 347
Nathalie Quiniou, Didier Gaudré, Isabelle Corrége
37. **Comparaison de méthodes d'estimation du niveau d'activité de truies gestantes à partir d'enregistrements vidéos,** 349
Manon de la Bourdonnaye, Charlotte Gaillard
38. **Effets d'une alimentation par appel sonore chez les truies gestantes sur leur comportement et bien-être,** 351
Anna Blanc, Clémentine Deroiné, Caroline Clouard, Charlotte Gaillard
39. **Suivi du bien-être des truies en gestante et en maternité dans un nouveau modèle d'élevage alternatif,** 353
Alexandre Poissonnet, Sophie Ambrois, Sylviane Boulot, Valérie Courboulay
40. **Construction d'un outil d'aide à la décision visant à optimiser les choix des éleveurs dans la sélection des truies pour l'autorenouvellement,** 355
Vivien Samson, Bastien Riera, Yohan Piel, Arnaud Buchet
41. **Etude des principaux freins et leviers à la conversion et à l'installation en agriculture biologique des élevages porcins français du point de vue des éleveurs,** 357
Cécile MD Bonnefont, Clara Chastagner, Laura Terzic, Nina Usai, Agathe Vaille, Justine Faure, Lucile Montagne, Florence Maupertuis, Stéphane Ferchaud, Alain Ducos
42. **Vers un compromis biosécuritaire ? L'élevage porcin corse sur parcours face à de nouvelles contraintes sanitaires. Les apports d'une recherche-intervention en Corse,** 359
Bastien Trabucco, François Casabianca, François Charrier, Marie Gisclard

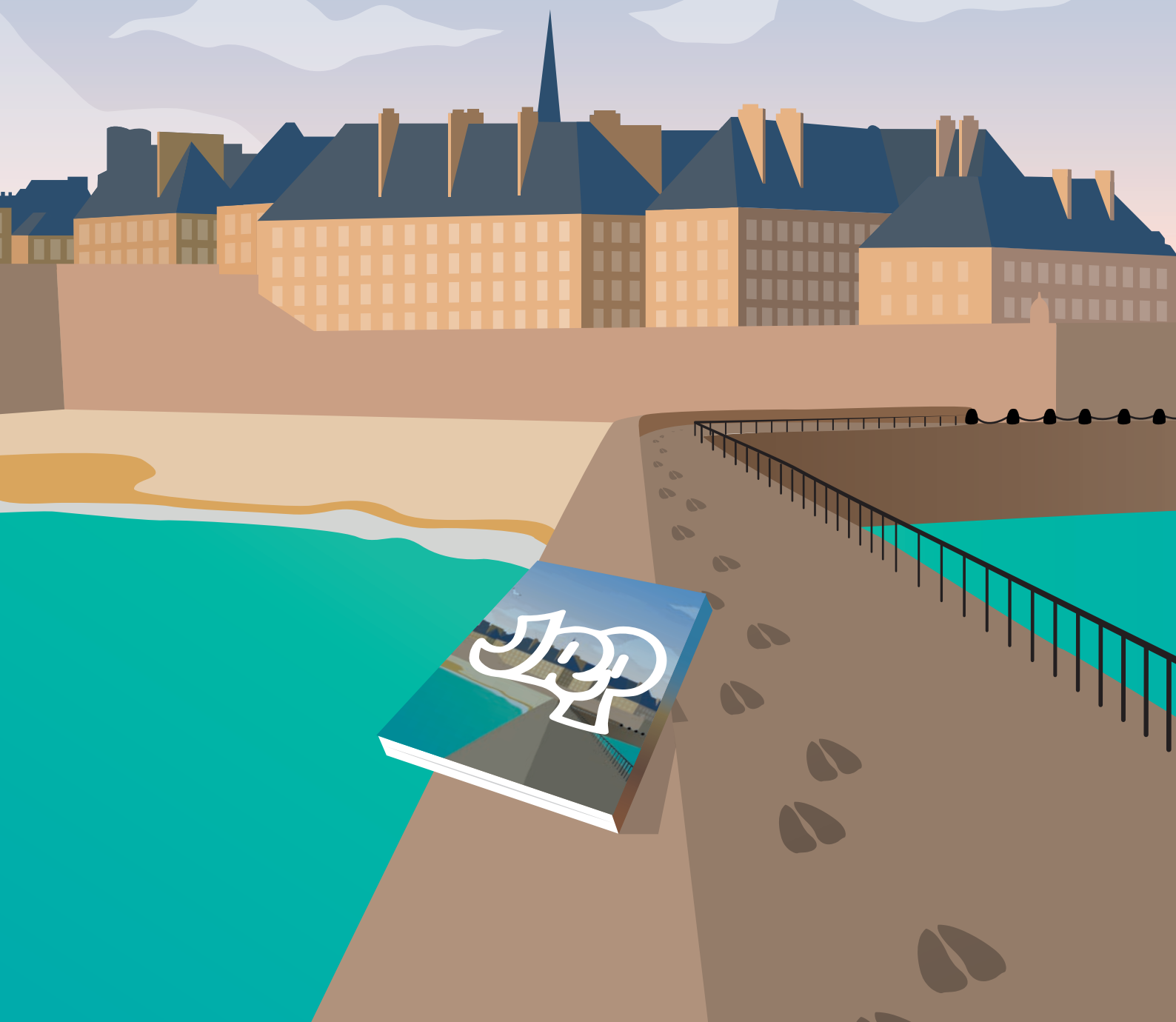
ECONOMIE ET SOCIOLOGIE

1. **Impact de l'utilisation d'un exosquelette «dos» sur les conditions de travail lors de la vaccination de porcelets**, *Caroline Depouvent, Marie Rannou, Isabelle Crenn, Claudie Guyomarc'h, Alexandre Girault* **361**
2. **L'influence des enjeux sociétaux sur les représentations du métier d'éleveur.euse et du changement**, *Elsa Delanoue, Manon Fuselier, Caroline Depouvent, Morgane Mélan, Clémence Vermot-Fèvre; Coralie Zielinski, Anna Boucard, Agathe Dornier, Tyfenn Ogel, Eloïse Gauquelin* **367**
3. **Les éleveurs porcins et l'évolution des bâtiments d'élevage : typologie des différents points de vue**, *Jeanne Cottet, Yvonnick Rousseliere, Elsa Delanoue* **373**
4. **Evolution des coûts à la place des bâtiments porcins entre 2015, 2021 et 2023**, *Yvonnick Rousselière* **379**
5. **Impacts de la Loi Egalim I sur les promotions des produits du porc en France**, *Valérie Diot* **385**
6. **Perception de la vaccination par voie orale contre *E. coli* F4/F18 : enquête auprès de 52 éleveurs de porcs utilisateurs en France**, *Sophie Vigneron, Bernard Fily, Vincent Burlot* **391**
7. **Perception des étudiants rennais sur une nouvelle génération de bâtiments porcins multicritères**, *Emily Burck, Etienne Cornu, Charlotte Derbecq, Emilie Josse, Alice Petiteau, Rosalie Planteau du Maroussem, Yvonnick Rousselière, Lucile Montagne* **393**

ENVIRONNEMENT

1. **Agir sur la température ambiante pour réduire les émissions de NH₃, N₂O et CH₄ d'une porcherie d'engraissement**, *Nadine Guingand, Yvonnick Rousseliere, Johan Thomas, Aurélien Collin* **395**
2. **Effet de l'incorporation de 0,5% d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs à l'engraissement sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre**, *Solène Lagadec Constance Drique, Khaled Amin, Nicolas Kolytcheff, Laurent Roger, Daniel Planchenault, Sébastien Potot, Estefania Perez-Calvo* **401**
3. **Performances zootechniques des porcs à l'engraissement et émissions d'ammoniac : effet d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné ajouté, dans le lisier en bâtiment**, *Solène Lagadec, Khaled Amin, Nicolas Kolytcheff, Valentin Gardie, Mickael Travers, Alexandre Martin, Paul Robin* **407**
4. **Caractérisation des flux de Cu et de Zn tout au long du continuum aliment - animal – déjections – effluents dans les systèmes porcins**, *Emma Gourlez, Fabrice Beline, Jean-Yves Dourmad, Alessandra Monteiro, Fabrice Guiziou, Anne Le Bihan, Francine de Quelen* **413**
5. **Conception d'un module thermorégulé pour l'étude de l'influence de la température sur les performances zootechniques et environnementales de porcs à l'engraissement**, *Nadine Guingand, Yvonnick Rousselière, Johan Thomas, Aurélien Collin* **419**
6. **Comparaison de méthodes pour une mesure rapide de la concentration en ammoniac en porcherie d'engraissement**, *Nadine Guingand, Romain Dubreuil, Rachid Mouflih* **421**
7. **Évaluation de l'efficacité de la biofiltration sur la réduction des émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre**, *Khaled Amin, Solène Lagadec, Nicolas Kolytcheff, Claude Cochet* **423**
8. **Evaluation de différents additifs nutritionnels pour la réduction de l'empreinte environnementale de la production porcine par analyse du cycle de vie**, *Nicolò Braconi, Björn Kok, Hans Blonk, Henk Bosch, Sabine Van Cauwenberghe, Charlotte Vallière, Daniel Planchenault* **425**
9. **Développement d'un pilote mobile de transformation de lisier de porc en engrais azoté**, *Mariana Moreira, Nicolas Thevenin, Lionel Ruidavets, Clément Munier, Pierre-Baptiste Blanchant, Matthieu Preudhomme* **427**

Génétique et Qualité des viandes





Quelles sont les conséquences de la stratégie alimentaire sur les qualités des produits porcins issus de l'agriculture biologique ?

Chloé VAN BAELEN (1), Lucile MONTAGNE (1), Stéphane FERCHAUD (2), Armelle PRUNIER (1), Bénédicte LEBRET (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

(2) INRAE, GenESI, 86480 Rouillé, France

chloe.van-baelen@inrae.fr

Avec la collaboration de Nathalie BONHOMME (1), Sophie DARE (1), Laurence LE NORMAND (1), Doryan GRIVault (2), Stéphane MOREAU (2), Tony TERRASSON (2) et Jérôme LIGER (UE 3P, INRAE, 35590 Saint-Gilles, France)

Quelles sont les conséquences de la stratégie alimentaire sur les qualités des produits porcins issus de l'Agriculture Biologique ?

Depuis 2022, le cahier des charges de l'agriculture biologique (AB) stipule de distribuer des aliments 100 % AB et de renforcer le lien au sol *via* les matières premières incorporées dans l'aliment. La stratégie alimentaire est un levier majeur pour améliorer les qualités des produits porcins autour des dimensions extrinsèques (d'image) et intrinsèques (composition des carcasses, propriétés nutritionnelles, organoleptiques, technologiques). Une expérimentation a été conduite en AB avec 77 porcs mâles non castrés (Piétrain NN x Large White) issus de deux bandes, répartis entre deux lots intra-bande. L'un recevait un régime Témoin correspondant au cahier des charges AB, l'autre un régime Bio+ contenant majoritairement des matières premières françaises : des protéagineux (féverole), des sources d'acides gras oméga-3 (graines de lin, cameline) et des fourrages grossiers. Les animaux étaient élevés sur litière paillée (1,3 m²/porc) avec accès à une courette (1,0 m²/porc), alimentés *ad libitum* jusqu'à l'abattage (125 kg environ). La vitesse de croissance n'a pas été modifiée par la stratégie alimentaire ; le taux de muscle des pièces était plus élevé pour les porcs Bio+ ($P < 0,05$). La viande (muscle *Longissimus*) des porcs Bio+ avait un pH ultime plus élevé lié à un potentiel glycolytique plus faible, était moins claire, jugée plus rouge par un panel d'experts ($P < 0,05$), et présentait un moindre rapport en acides gras n-6/n-3 ($P < 0,001$) que celle des porcs Témoin. Les concentrations en scatol et androsténone de la bardière étaient faibles pour les deux lots, toutefois les porcs Bio+ avaient une concentration en scatol inférieure à celle des porcs Témoin ($P < 0,05$). Ainsi, la stratégie Bio+ a amélioré plusieurs dimensions de qualité de la viande porcine AB tout en contribuant à la relocalisation des ressources alimentaires.

How does the feeding strategy affect the quality of organic pork products?

Since 2022, organic farming specifications require using 100 % organic feed and having a closer connection to the soil through the feed ingredients. The feeding strategy is one major factor for improving several properties of the quality of pork products, both extrinsic (image) and intrinsic (carcass composition; nutritional, organoleptic and technological properties). An experiment was conducted with 77 organic non-castrated male pigs (Piétrain NN x Large White) from two batches, divided into two groups per batch. One received a control feed that met the organic specifications, while the other received a test feed (Bio+) based mainly on French raw ingredients, protein crops (faba bean), sources of omega-3 fatty acids (linseed, camelina) and roughage. The pigs in each group were reared on deep straw bedding (1.3 m²/pig), with free access to an outdoor run (1.0 m²/pig), and fed *ad libitum* until slaughter at ca. 125 kg. The average daily gain was not influenced by the feeding strategy; carcass lean meat content was higher for the Bio+ pigs ($P < 0.05$). Loin meat (*Longissimus* muscle) from Bio+ pigs had a higher ultimate pH associated with a lower glycolytic potential, was less light in colour, judged to have a more intense red colour by trained panelists ($P < 0.05$), and had a lower n-6:n-3 fatty acid ratio ($P < 0.001$) than that of control pigs. Backfat skatole and androstenone concentrations were low in both groups, however the Bio+ pigs had a lower skatole concentration than control pigs ($P < 0.05$). Overall, the Bio+ feeding strategy had positive impacts on several qualities of organic pork from entire male pigs, while contributing to the change in the origin of feed ingredients.

INTRODUCTION

Le bien-être animal, l'impact environnemental de l'élevage et les conséquences de leur alimentation sur leur santé sont des préoccupations majeures des consommateurs de produits animaux (EU, 2020). L'agriculture biologique (AB) est un système de production visant à améliorer le bien-être animal, préserver la biodiversité, et réduire fortement l'utilisation des intrants. C'est une obligation de moyens et non de résultats. Depuis 2022, le cahier des charges AB impose, pour les porcs en croissance-finition, une alimentation 100 % AB avec au moins 30 % de matières premières locales (même région ou, à défaut, territoire national ; Règlement UE 2018/848). Le bien-être animal est favorisé par les surfaces d'élevage disponibles qui sont supérieures à celles appliquées en élevage conventionnel, la mise à disposition de litière et l'interdiction de la caudectomie. Les conditions de castration des porcs mâles sont similaires à celles de l'élevage conventionnel (jusqu'à 7 jours d'âge avec l'utilisation d'analgésique et d'anesthésique) mais il est plus cohérent de ne pas castrer les mâles en AB car cela permet de conserver leur intégrité et parce que les protocoles pratiqués en élevage ne soulagent que partiellement la douleur (Prunier *et al.*, 2020). L'évaluation conjointe des dimensions extrinsèques (ou d'image) et intrinsèques (composition des carcasses ; propriétés organoleptiques, nutritionnelles, technologiques) de la qualité permet d'identifier des synergies et/ou antagonismes entre ces dimensions (Prache *et al.*, 2022). L'alimentation des animaux est un levier pour améliorer ces qualités. L'incorporation de fibres dans l'aliment ou l'apport de fourrages permet de favoriser le comportement exploratoire des animaux, de réduire le risque d'odeurs indésirables des viandes de mâles non castrés (dites « odeurs de verrat ») en limitant la production de scatol (Parois *et al.*, 2018), et de réduire la teneur en glycogène musculaire pouvant influencer le pH de la viande (Li *et al.*, 2015).

Cette expérimentation teste les conséquences d'une stratégie alimentaire associant la distribution d'un régime à base de ressources locales, riche en acides gras n-3 et la mise à disposition de fourrages grossiers chez des porcs mâles non castrés, élevés en AB, sur plusieurs dimensions de la qualité. L'originalité de cette étude est d'évaluer conjointement différentes dimensions de la qualité en termes de valeur commerciale pour l'éleveur et de propriétés organoleptiques, nutritionnelles et technologiques (Prache *et al.*, 2022). L'hypothèse est que comparativement à une alimentation correspondant *a minima* au cahier des charges AB, la stratégie d'alimentation testée réduit la concentration de scatol et par conséquent le risque d'odeurs indésirables chez les mâles non castrés, limite la diminution du pH *post mortem* améliorant ainsi la qualité technologique, et par ailleurs améliore la valeur nutritionnelle de la viande tout en contribuant à la relocalisation des ressources alimentaires.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental et animaux

L'expérimentation a été conduite dans la station expérimentale INRAE Porganic (UE GenESI, 86480 Rouillé, doi : 10.15454/1.5572415481185847E12) en respectant la directive européenne 2010/63/EU relative à l'expérimentation animale. Elle s'est déroulée de novembre 2021 à juin 2022 avec 77 porcs mâles non-castrés (Piétrain (NN) x Large White), issus de deux bandes d'élevage (n = 49 et n = 28 porcs).

Au sein de chaque bande, les porcs ont été choisis intra-portée (10 portées issues de neuf verrats et huit portées issues de huit verrats, respectivement pour les bandes 1 et 2) sur la base de leur poids vif au sevrage (49 jours d'âge), et répartis entre deux lots. Chaque lot de porcs était élevé dans une case du même bâtiment sur une litière paillée (1,3 m²/porc) avec un accès libre à une courette bétonnée couverte (1,0 m²/porc). Les porcs étaient pesés toutes les deux semaines individuellement pour déterminer leur gain moyen quotidien (GMQ).

1.2. Stratégie alimentaire

Au sein de chaque bande, un lot de porcs a reçu successivement deux aliments (un aliment croissance de 30 à 70 kg puis un aliment finition jusqu'à l'abattage, à environ 125 kg) dits Témoin (T) correspondant au cahier des charges AB. L'autre lot a reçu successivement deux aliments test (Bio+) formulés essentiellement avec des matières premières françaises, contenant plus de graines protéagineuses et des sources d'acides gras n-3 (graines de lin, cameline). Les porcs de ce lot ont eu accès à des fourrages distribués au râtelier : du foin de prairie pendant la phase de croissance et de l'enrubané de trèfle pendant la phase de finition. Les aliments ont été formulés par une société commerciale (DFP Nutraliance, 19140 Saint-Ybard), pour répondre aux besoins nutritionnels des animaux (Tableau 1). Les régimes étaient formulés pour être isoénergétiques. Les animaux ont été nourris *ad libitum* tout au long de l'expérience et les quantités distribuées de chaque aliment, et de fourrages grossiers pour les porcs Bio+, ont été estimées par case. Tous les porcs avaient un accès permanent à l'eau.

1.3. Abattage et mesures de qualité sur carcasse et viande

Les animaux ont été abattus dans un abattoir commercial (Cooperl, 79800 Sainte-Eanne) à un poids vif moyen de 125 kg. La carcasse chaude a été pesée et le taux de muscle des pièces (TMP) de la carcasse a été déterminé à l'aide de l'appareil CSB-Image-Meater. La détection des odeurs de verrat (carcasse odorante ou non) a été effectuée sur chaque carcasse à l'aide de la méthode du nez humain, par le personnel de l'abattoir formé et expérimenté. Après 24 h à 4°C, la demie carcasse droite a été découpée selon la découpe néerlandaise standardisée et le jambon, la longe, l'épaule, la poitrine et la bardière ont été pesés. Le pH ultime (pHu) du muscle *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL ; 1^{ère}-2^{ème} dernières côtes ; électrode Ingold Xerolyt, pH-mètre Syleps) et sa couleur (coordonnées CIE L* (clarté), a* (rougeur), b* (jaune), C* (saturation) et h* (teinte), section transversale niveau dernière côte ; chromamètre Minolta CR400) ont été mesurés. Les pertes en eau ont été déterminées selon la méthode EZ-Drip-Loss, 24 h après la découpe.

1.4. Propriétés biochimiques du muscle *Longissimus*

A la découpe, une tranche de LTL (1^{ère} vertèbre lombaire) a été prélevée, parée, broyée et stockée sous vide (-20°C) pour déterminer la teneur en lipides intramusculaires par extraction chloroforme/méthanol et analyse de la composition en AG par chromatographie en phase gazeuse (Lebret *et al.*, 2023). Les teneurs en protéines et en eau ainsi que le potentiel glycolytique ont été déterminés sur un échantillon de LTL (niveau dernière côte) selon les méthodes décrites par Lebret *et al.* (2023).

1.5. Détermination des concentrations en androsténone et scatol

Un échantillon de bardière (épaisseur totale) a été prélevé au niveau du cou 24 h *post-mortem* et stocké sous vide à -20°C. Après élimination de la peau et des résidus de muscle, chauffage, centrifugation puis extraction (méthanol), les concentrations en androsténone et scatol du gras liquide ont été déterminées par HPLC (high performance liquid chromatography) comme décrit par Batorek *et al.* (2012). Les limites de détection étaient de 0,24 µg/g de graisse pure pour l'androsténone et de 0,02 µg/g de graisse pure pour le scatol et ces valeurs ont été attribuées aux porcs dont les concentrations étaient inférieures à ces limites.

1.6. Analyse sensorielle

Des échantillons de LTL (rôti de 800 g, entre la 11^{ème} et la 5^{ème} vertèbre dorsale sur 18 cm vers le côté crânial) ont été prélevés à la découpe, mis sous-vide à 4°C et envoyés au laboratoire d'analyse sensorielle (IDELE, 14310 Villers-Bocage) pour être dégustés après 7 à 8 jours de maturation. Le profil sensoriel a été réalisé dans une salle d'analyse sensorielle par un jury de 14 experts, qualifiés et entraînés.

Chaque caractère a été évalué selon une grille de notation continue allant de 0 (absence) à 10 (élevé). L'évaluation de l'aspect cru a été réalisée sur une tranche coupée côté caudal. Des bouchées de 25 g ont été préparées puis cuites au four 5 min 30 à 250°C (73°C à cœur) pour l'évaluation de l'odeur, de la flaveur et de la texture. Les jurés ont également indiqué si la viande avait une odeur atypique en cru et/ou en cuit selon des propositions préétablies ou sous forme de réponse ouverte.

1.7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées par ANOVA avec le logiciel R (version 4.3.0), en utilisant la procédure lme du package nlme. L'unité statistique était l'animal, sauf pour les données de consommation alimentaire et d'indice de consommation calculées par case. Le modèle incluait la stratégie d'alimentation et la bande comme effets fixes, et le jour d'abattage (pour les indicateurs de qualité) ou la session d'analyse sensorielle, comme effets aléatoires. Les moyennes ajustées ont été calculées par lot. Pour les données d'androsténone et de scatol, dont les résidus n'ont pu être normalisés même après transformation en log ou en racine, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

Tableau 1 – Composition et valeurs nutritionnelles des aliments exprimés sur la base de la matière sèche (MS)

| Lot | Témoin | | Bio+ | |
|---|------------|----------|------------|----------|
| | Croissance | Finition | Croissance | Finition |
| Phase | | | | |
| Matières premières, % | | | | |
| Orge | 39,9 | 45,1 | 40,9 | 39,7 |
| Blé | 19,3 | 15,6 | 21,3 | 16,1 |
| Maïs | - | 1,0 | - | - |
| Pois | 15,0 | 17,6 | 13,8 | 18,7 |
| Son de blé | 5,1 | 8,0 | - | - |
| Tourteau de soja | 13,9 | 7,8 | 10,9 | 1,8 |
| Tourteau de cameline | - | - | 5,0 | - |
| Féverole | - | - | 2,9 | 8,0 |
| Luzerne | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Tourteau de tournesol | 1,7 | - | - | 5,7 |
| Graine de lin extrudée | - | - | - | 5,0 |
| Macro-éléments (sel, argile, phosphore, carbonate de chaux) | 3,89 | 3,69 | 3,92 | 3,72 |
| Premix (oligo-éléments et vitamines) | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Composition nutritionnelle (analysée sauf précisé) | | | | |
| Matière sèche (MS), % | 88,7 | 89,0 | 89,2 | 89,1 |
| Matière organique, % MS | 93,0 | 93,1 | 93,5 | 93,4 |
| Matières azotées totales, % MS | 17,2 | 15,7 | 16,9 | 15,9 |
| Matières grasses, % MS | 3,1 | 2,6 | 3,3 | 4,1 |
| NDF, % MS | 17,1 | 18,3 | 17,6 | 16,8 |
| Acides gras saturés, % acides gras identifiés | 19,2 | 21,8 | 19,2 | 16,5 |
| Acides gras monoinsaturés, % acides gras identifiés | 26,8 | 11,9 | 22,1 | 36,5 |
| Acides gras polyinsaturés, % acides gras identifiés | 54,1 | 66,3 | 58,6 | 47,0 |
| acide linoléique (LA) / acide α-linolénique (ALA) | 8,2 | 9,3 | 6,8 | 1,7 |
| Lysine (calculée), g/kg | 8,5 | 7,3 | 8,6 | 7,3 |
| Energie nette (calculée), MJ/kg | 9,44 | 9,33 | 9,45 | 9,34 |

2. RESULTATS

2.1. Performances de croissance et qualité de la carcasse

La vitesse moyenne de croissance des animaux et le poids vif à l'abattage ne diffèrent pas significativement selon la stratégie

alimentaire. L'indice de consommation est similaire pour les deux groupes (2,81 respectivement pour les témoins et les Bio+). Les animaux ont consommé en moyenne par jour pendant la phase croissance et finition : 2,86 kg par porc pour le Bio+ et 2,80 kg par porc pour le Témoin. En plus, les animaux Bio+ ont mangé en moyenne 65 g de foin et 117 g d'enrubanné frais/porc/ jour. Le poids de carcasse chaude et le rendement

de carcasse ne sont pas influencés par la stratégie alimentaire, mais le TMP est plus élevé pour les porcs Bio+ comparés aux porcs Témoin, avec une valeur d'épaisseur de muscle plus élevée (+ 0,9 point TMP ; $P < 0,05$; Tableau 2).

Tableau 2 – Effet de la stratégie alimentaire sur les performances de croissance et les caractéristiques de la carcasse¹

| | Stratégie alimentaire | | Statistique - Effets ² | | |
|--|-----------------------|-------|-----------------------------------|------|-------|
| | Témoin | Bio+ | ETR | Lot | Bande |
| n | 37 | 40 | | | |
| Performances de croissance-finition | | | | | |
| Age abattage, jour | 172 | 172 | 1,45 | 0,46 | 0,81 |
| Poids vif initial, kg | 33,1 | 34,1 | 4,67 | 0,40 | 0,67 |
| Poids vif final, kg | 127,0 | 129,0 | 8,07 | 0,41 | 0,38 |
| GMQ ³ , g | 998 | 1021 | 79,4 | 0,22 | 0,48 |
| Caractéristiques des carcasses | | | | | |
| Poids de carcasse chaude, kg | 97,2 | 99,5 | 6,20 | 0,28 | 0,31 |
| Rendement de carcasse ⁴ , % | 77,0 | 77,3 | 1,44 | 0,29 | 0,25 |
| TMP ⁵ , % | 59,8 | 60,7 | 1,65 | 0,04 | 0,72 |
| G3, mm | 13,2 | 13,6 | 2,25 | 0,50 | 0,17 |
| M3, mm | 72,5 | 76,3 | 6,44 | 0,04 | 0,56 |
| G4, mm | 23,3 | 23,8 | 2,87 | 0,51 | 0,07 |
| M4, mm | 54,8 | 57,2 | 4,45 | 0,06 | 0,52 |

¹ Moyennes ajustées. ² Probabilités de l'effet de la stratégie alimentaire et de la bande et ETR (écart-type résiduel) obtenus avec l'ANOVA. ³ Gain Moyen Quotidien. ⁴ Ratio entre le poids de carcasse chaude et le poids vif final (x100). ⁵ Taux de Muscles par Pièces avec G3 et M3 : épaisseur minimale de gras (couenne incluse) et de muscle recouvrant le muscle Gluteus medius ; G4 et M4 : épaisseur moyenne de gras (couenne incluse) et de muscle recouvrant quatre vertèbres lombaires.

2.2. Qualité technologique et composition biochimique du muscle *Longissimus*

Le pHu est plus élevé pour les porcs Bio+ que pour les porcs Témoin ($P < 0,05$; Tableau 3). La luminance est plus faible ($P < 0,05$) et l'angle de teinte tend à être réduit ($P < 0,10$) chez les porcs Bio+ comparés aux porcs Témoin, indiquant une viande moins claire et plus rouge, alors que les pertes en eau et la teneur en lipides ne diffèrent pas significativement. En revanche, la teneur en protéines du LTL est plus élevée ($P < 0,01$) et le potentiel glycolytique est plus faible ($P < 0,001$) chez les porcs Bio+ comparés aux porcs Témoin. Concernant les compositions en AG, le régime Bio+ a permis de réduire nettement le rapport LA /ALA passant de 20,3 pour les Témoin à 6,3 pour les Bio+ ($P < 0,001$).

2.3. Composés odorants du tissu adipeux

La concentration en androsténone tend à être plus élevée pour les porcs Bio+ comparés aux Témoin ($P = 0,06$; Figure 1).

A l'inverse, la concentration en scatol est réduite chez les porcs Bio+ comparés aux Témoin, où plus d'animaux présentent des valeurs supérieures à 0,02 µg/g ($P = 0,03$; Figure 1).

Toutefois, les valeurs des deux composés restent globalement basses au regard des seuils de détection et aucune carcasse n'a été déclarée odorante à l'abattoir suite au test du nez humain.

Tableau 3 – Effet de la stratégie alimentaire sur les indicateurs de qualité et la composition biochimique de la longe¹

| | Stratégie alimentaire | | Statistique - Effets ² | | |
|--|-----------------------|------|-----------------------------------|--------|-------|
| | Témoin | Bio+ | ETR | Lot | Bande |
| n | 37 | 40 | | | |
| Indicateurs de carcasse | | | | | |
| pHu | 5,51 | 5,56 | 0,08 | 0,012 | 0,83 |
| Pertes en eau, % | 4,22 | 3,85 | 1,94 | 0,42 | 0,031 |
| Luminance, L* | 50,2 | 49,0 | 2,30 | 0,031 | 0,23 |
| Indice de rouge, a* | 6,74 | 6,75 | 0,93 | 0,96 | 0,26 |
| Indice de jaune, b* | 4,80 | 4,65 | 0,82 | 0,45 | 0,43 |
| Saturation, C* | 8,31 | 8,25 | 1,15 | 0,83 | 0,34 |
| Angle de teinte, h° | 35,5 | 34,2 | 3,18 | 0,082 | 0,13 |
| Composition biochimique | | | | | |
| Eau, % | 75,1 | 75,0 | 0,51 | 0,35 | 0,593 |
| Protéines, % | 22,0 | 22,3 | 0,48 | 0,003 | 0,117 |
| Lipides, % | 2,25 | 2,13 | 0,62 | 0,39 | 0,101 |
| PG ³ , µmol eq. lactate/g | 178 | 160 | 17,8 | <0,001 | 0,189 |
| Composition en acides gras, % d'AG identifiés | | | | | |
| Saturés | 35,1 | 34,5 | 1,49 | 0,143 | 0,99 |
| Monoinsaturés | 47,4 | 47,8 | 2,78 | 0,580 | 0,61 |
| Polyinsaturés | 17,5 | 17,7 | 3,48 | 0,776 | 0,65 |
| LA/ALA ⁴ | 20,3 | 6,3 | 3,79 | <0,001 | 0,70 |

¹ Moyennes ajustées. ² Probabilités de l'effet de la stratégie alimentaire et de la bande et ETR (écart-type résiduel) obtenus avec l'ANOVA. ³Potentiel Glycolytique. ⁴ Acide linoléique / acide α-linolénique

Tableau 4 – Effet de la stratégie alimentaire sur les indicateurs sensoriels de la longe (note de 0 : absence à 10 : élevé)

| | Stratégie alimentaire ¹ | | Statistique - Effet ² | | |
|-------------------------|------------------------------------|------|----------------------------------|------|-------|
| | Témoin | Bio+ | ETR | Lot | Bande |
| n | 37 | 40 | | | |
| Viande crue | | | | | |
| Couleur rouge | 5,09 | 5,60 | 0,82 | 0,01 | 0,02 |
| Odeur | 2,10 | 2,14 | 0,30 | 0,58 | 0,84 |
| Quantité de persillé | 1,89 | 1,86 | 0,58 | 0,81 | 0,10 |
| Homogénéité du persillé | 1,87 | 1,86 | 0,46 | 0,95 | 0,21 |
| Viande cuite | | | | | |
| Odeur | 5,78 | 5,75 | 0,30 | 0,67 | 0,53 |
| Flaveur | 5,82 | 5,76 | 0,22 | 0,27 | 0,19 |
| Tendreté | 6,34 | 6,12 | 0,52 | 0,08 | 0,61 |
| Jutosité | 5,62 | 5,57 | 0,32 | 0,58 | 0,13 |
| Persistance aromatique | 5,88 | 5,79 | 0,25 | 0,13 | 0,53 |

¹ Moyennes ajustées des juges pour chaque indicateur. ² Probabilités de l'effet de la stratégie alimentaire et de la bande et ETR (écart type résiduel) obtenus avec l'ANOVA.

2.4. Analyse sensorielle du rôti de longe

Parmi les indicateurs sensoriels évalués sur viande crue, seule l'intensité de la couleur rouge a été modifiée par la stratégie Bio+, donnant une viande plus rouge comparée à la stratégie Témoin ($P < 0,01$; Tableau 4). Lorsque les odeurs sur viande crue étaient jugées comme atypiques, les descripteurs considérés ou proposés par les juges étaient : « urine » (15 porcs : 8 Bio+ et 7 Témoin), « verrat » (2 Bio+ et 2 Témoin), « animale » (1 Bio+). La stratégie Bio+ n'a pas eu d'impact significatif sur les indicateurs sensoriels de la viande cuite. La viande des porcs Témoin tendait toutefois à être plus tendre que celle des Bio+ ($P < 0,10$). Concernant l'odeur de la viande cuite, les juges ont pu relever des odeurs atypiques mais peu d'odeurs singulières : « vanille » (1 Témoin), « noisette » (1 Témoin) et « sous-bois » (1 Bio+). Finalement, pour la flaveur évaluée sur viande cuite, des nouveaux descripteurs proposés par les juges apparaissent : « sang » (2 Témoin et 1 Bio+), « poivre piquant » (1 Bio+) et « piquant » (4 Bio+).

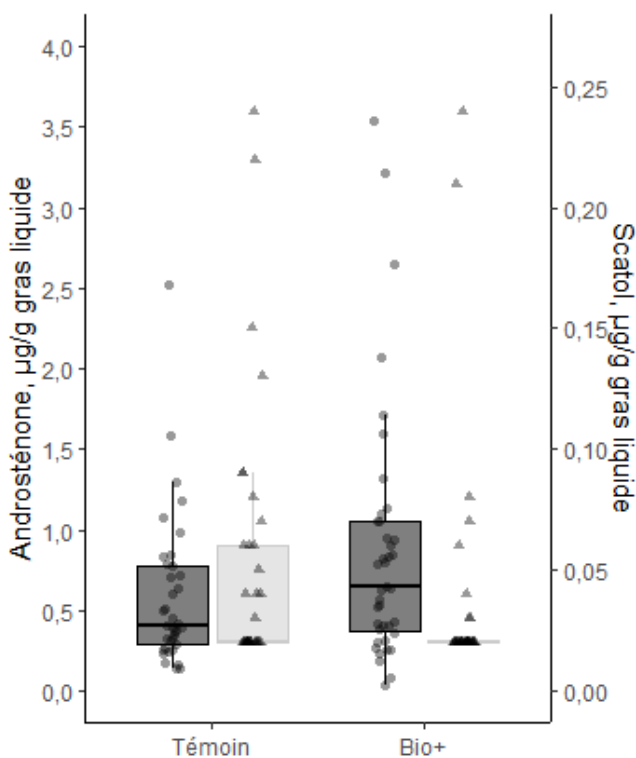


Figure 1 – Concentration en scatol et en androsténone dans le tissu adipeux des porcs Témoin et Bio+. Les traits horizontaux représentent (du haut vers le bas) le 3^{ème} quartile, la médiane et le 1^{er} quartile.

Noir = androsténone avec $P < 0,10$ / Gris = scatol avec $P < 0,05$

3. DISCUSSION

Les effets de la stratégie alimentaire fondée sur les ressources locales, l'inclusion de féverole et de matières premières riches en AG n-3 et la distribution de fourrages grossiers a permis d'améliorer conjointement plusieurs dimensions de la qualité de la viande issue de porcs mâles non-castrés élevés en AB.

3.1. Performances de croissance et qualité des carcasses

Les stratégies alimentaires testées Bio+ comme Témoin, excluant l'incorporation d'acides aminés de synthèse conformément aux cahiers des charges AB, conduisent à des performances de croissance et une qualité de carcasse des porcs mâles non castrés satisfaisantes au regard des résultats

obtenus en AB (Ferchaud *et al.*, 2022). Des études indiquent qu'en AB les performances de croissance peuvent être réduites en raison d'une insuffisance de couverture des besoins énergétiques qui peuvent être accrus par l'augmentation de surface disponible et l'accès à l'extérieur (activité physique et thermorégulation) (Prunier et Lebret, 2009). Par ailleurs, la distribution de fourrages n'a pas altéré le rendement de carcasse, effet négatif souvent rapporté dans la littérature, en raison de l'augmentation du poids du tube digestif relativement au poids vif suite à l'ajout de fibres dans la ration (Asmus *et al.*, 2014). Dans la mesure où la stratégie Bio+ n'a pas d'effet négatif sur les critères de croissance, de paiement des carcasses pour les éleveurs et sur les découpes primaires (% des pièces) pour l'abattoir, nous suggérons qu'elle n'a pas diminué la valeur commerciale de la viande.

3.2. Qualité technologique de la longe

La stratégie Bio+ a permis d'augmenter légèrement le pHu de la longe, en raison de la réduction du potentiel glycolytique musculaire correspondant à la somme des composés susceptibles de produire de l'acide lactique *post-mortem* (Monin, 2003). Ce résultat est en accord avec la littérature, montrant que l'incorporation de fibres dans la ration alimentaire entraîne une réduction des réserves en glycogène musculaire (Li *et al.*, 2015). L'amélioration de la couleur de la viande (moins lumineuse, teinte plus rouge) des porcs Bio+ relativement aux porcs Témoin peut s'expliquer par le pHu plus élevé des premiers, en raison des relations bien établies entre ces caractères (Rosenvold et Andersen, 2003). La couleur de la viande Bio+ (luminescence faible) est en cohérence avec les différences de pH et PG. L'ensemble de ces résultats indique que, comparé au Témoin, le régime Bio+ améliore la qualité technologique de la viande.

3.3. Qualité organoleptique de la longe

Aucune carcasse n'a été déclarée odorante par le test du nez humain, en cohérence avec des concentrations en androsténone et en scatol faibles. Au regard des seuils de rejet par les consommateurs qui sont de 3 µg/g de gras liquide pour l'androsténone et 0,15 µg/g de gras liquide pour le scatol (Moerlein *et al.*, 2012 ; Bonneau et Chevillon, 2012), seuls deux porcs Bio+ dépassent le seuil pour l'androsténone et deux autres le seuil pour le scatol, deux porcs Témoin dépassent le seuil pour le scatol. Les verrats (Piétrain NN ; Nucleus) ont été choisis pour leur faible risque d'odeurs liées à l'androsténone. En outre, le paillage régulier, favorisant une zone de litière propre, a sans doute contribué à limiter la concentration en scatol dans le tissu adipeux (Parois *et al.*, 2018). La présence de des fibres dans la ration de ces porcs pourrait expliquer la réduction de production de scatol, issu de la dégradation du tryptophane dans le colon (Parois *et al.*, 2018 ; Quiniou *et al.*, 2022). La moindre teneur en scatol du gras des porcs Bio+ n'a toutefois pas affecté l'intensité d'odeur ou de flaveur en cohérence avec le fait que le même nombre de porcs dépasse le seuil de rejet (0,15 µg/g) dans les deux groupes. La tendreté tend à être réduite chez les porcs Bio+, alors que nous aurions pu attendre l'inverse en raison de leur pHu légèrement plus élevé, et de la corrélation positive généralement observée entre ces caractères (Listrat *et al.*, 2015). Globalement, les notes moyennes des indicateurs sur la viande cuite (ainsi que la couleur de la viande crue) sont assez élevées, suggérant une bonne qualité organoleptique de la viande des porcs quelle que soit la stratégie alimentaire.

3.4. Qualité nutritionnelle de la longe

La stratégie Bio+ comprenant des aliments formulés pour augmenter les apports en ALA *via* l'incorporation de tourteau de cameline et de graines de lin extrudées, associée à la distribution de fourrages riches en ALA (foin de prairie : 0,44 % et enrubbanné de trèfle : 1,15 % des AG identifiés), ont permis d'augmenter la proportion d'AG n-3 dans la viande et de réduire le rapport LA/ALA jusqu'à des valeurs proches des recommandations nutritionnelles (ANSES, 2011). L'effet favorable de la distribution d'un régime enrichi en AG n-3, en particulier *via* l'incorporation de graines de lin pour augmenter leur teneur et améliorer la valeur nutritionnelle de la viande de porc, est bien établi (Wood *et al.*, 2008; Corino *et al.*, 2014). Ainsi, la stratégie Bio+ permet de mieux répondre aux recommandations nutritionnelles.

CONCLUSION

Comparativement à une alimentation respectant *a minima* le cahier des charges AB, la stratégie Bio+ qui repose sur des matières premières pour la plupart d'origine française,

l'incorporation de fibres et de matières premières riches en AG n-3, a permis d'améliorer plusieurs propriétés de qualité de la viande importantes pour les consommateurs : propriétés d'image (relocalisation des ressources visant un moindre impact environnemental), organoleptiques (concentration en scatol plus faible) et nutritionnelles (composition en AG n-3). La stratégie Bio+ n'a pas modifiée les performances de croissance mais a permis d'améliorer la qualité des carcasses, ainsi que plusieurs indicateurs de qualité technologique qui ont un intérêt pour les éleveurs et les transformateurs. La quantification des conséquences de la stratégie alimentaire testée sur d'autres propriétés de la qualité, en particulier celle des impacts environnementaux mérite d'être réalisée.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été conduite dans le cadre du CASDAR Farinelli (2020-2024), porté par la FNAB, l'ITAB et FOREBIO.

La responsabilité du ministère en charge de l'agriculture ne saurait être engagée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSES, 2011. Actualisation des Apports Nutritionnels Conseillés pour les acides gras - Version intégrant les modifications apportées par l'erratum du 28 juillet 2011. Anses 327 pages. <https://www.anses.fr/fr/content/actualisation-des-apports-nutritionnels-conseill%C3%A9s-pour-les-acides-gras-version-int%C3%A9grant-0>
- Asmus M.D., De Rouchev L.M., Tokach M.D., Dritz S.S., Houser T.A., Nelssen J.L., Goodband R.D., 2014. Effects of lowering dietary fiber before marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, carcass fat quality, and intestinal weights. *J. Anim. Sci.*, 92, 119-128.
- Batorek N., Škrlep M., Prunier A., Louveau I., Noblet J., Bonneau M., Čandek-Potokar M., 2012. Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 4593-4603.
- Bonneau M., Chevillon P., 2012. Acceptability of entire male pork with various levels of androstenone and skatole by consumers according to their sensitivity to androstenone. *Meat Sci.*, 90, 330-337.
- Corino C., Rossi R., Cannata S., Ratti S., 2014. Effect of dietary linseed on the nutritional value and quality of pork and pork products: Systematic review and meta-analysis. *Meat Sci.*, 98, 679-688.
- EU, 2018. Règlement (EU) 2018/848 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, et abrogeant le règlement (CE) no 834/2007 du Conseil. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj/eng>
- EU, 2020. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee of the regions. A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0381>
- Ferchaud S., Terrasson T., Moreau S., Grivault D., Billon Y., 2022. Présentation de l'installation porcine biologique INRAE, #porganic : choix techniques et premiers résultats. *Journées Rech. Porcine*, 54, 307-308.
- Lebret B., Lhuisset S., Labussière E., Louveau I., 2023. Combining pig genetic and feeding strategies improves the sensory, nutritional and technological quality of pork in the context of relocation of feed resources. *Meat Sci.*, 197, 109074.
- Li Y., Zhang L., Yu C., Lin M., Gao F., Zhou G., Zhang Y., Fan Y., Nuldali L., 2015. Effects of dietary energy sources on post mortem glycolysis, meat quality and muscle fibre type transformation of finishing pigs. *PLOS ONE*, 10, e0131958.
- Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Bugeon J., 2015. Comment la structure et la composition du muscle déterminent la qualité des viandes ou chairs. *INRA Prod. Anim.*, 2015, 28, 125-136.
- Moerlein D., Grave A., Sharifi A.R., Buecking M., Wicke M., 2012. Different scalding techniques do not affect boar taint. *Meat Sci.*, 91, 435-440.
- Monin G., 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRAE Prod. Anim.*, 16, 251-262.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRAE Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Prache S., Lebret B., Baeza E., Martin B., Gautron J., Feidt C., Medale F., Corraze G., Raulet M., Lefevre F., Verrez-Bagnis V., Sans P., 2022. Review: quality of animal-source foods. *Animal*, 16, 100376.
- Prunier A., Lebret B., 2009. La production biologique de porcs en France : caractéristiques des élevages, impacts sur la santé, le bien-être et la qualité des produits. *INRA Prod. Anim.*, 22, 179-188.
- Prunier A., Devillers N., Herskin M.S., Sandercock D.A., Sinclair A.R.L., Tallet C., Von Borell E., 2020. Husbandry interventions in suckling piglets, painful consequences and mitigation. *The suckling and weaned piglet*, Chantal Farmer (Ed.), Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 107-138.
- Quiniou N., Bee G., Maribo H., Zamaratskaia G., Lawlor P., 2022. Quelles stratégies alimentaires pour couvrir les besoins nutritionnels des porcs mâles entiers et/ou immuno-castrés et pour réduire les risques d'odeurs de verrat dans la viande ? *INRAE Prod. Anim.*, 35, 109-120.
- Rosenvold K., Andersen H.J., 2003. Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Sci.*, 64, 219-237.
- Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.*, 78, 343-358.



Effets du type génétique sur le bien-être et la qualité de la viande de porcs mâles non castrés en élevage biologique

Bénédicte LEBRET (1), Stéphane FERCHAUD (2), Alexandre POISSONNET (3), Armelle PRUNIER (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

(2) INRAE, GenESI, 86480 Rouillé, France

(3) IFIP, Institut du Porc, 35650 Le Rheu, France

benedicte.lebret@inrae.fr

Avec la collaboration de Tony TERRASSON (2), Stéphane MOREAU (2), Doryan GRIVault (2), Sophie DARE (1), Marine PAUPE (1), Laurence LE NORMAND (1), Nathalie BONHOMME (1) et Jérôme LIGER (INRAE UE 3P, 35590 Saint-Gilles, France)

Effets du type génétique sur le bien-être et qualité de la viande de porcs mâles non castrés en élevage biologique

Elaborer des produits animaux de bonne qualité dans le respect du bien-être animal fait partie des principes fondamentaux de l'agriculture biologique (AB). Pour améliorer ces propriétés qualitatives extrinsèques et intrinsèques de la viande porcine AB, nous avons considéré l'élevage de porcs mâles non castrés, croisés Duroc, comparativement au génotype usuel, des porcs croisés Piétrain. Des porcs mâles non castrés Large White × Duroc (D, n = 47) ou Large White × Piétrain non porteurs de l'allèle de sensibilité à l'halothane (P, n = 34) répartis sur deux bandes, ont été élevés en AB (un groupe par génotype et par bande). Chaque groupe était placé dans une loge sur litière de paille (1,3 m²/porc) avec accès à une courette en béton (1,0 m²/porc) de 27 à 125 kg de poids vif et recevait à volonté des aliments croissance puis finition ainsi que du foin. Dans l'ensemble, les indicateurs de santé et bien-être indiquent peu de problèmes, toutefois la proportion de porcs présentant des griffures est inférieure ($P < 0,01$) chez les porcs D comparés aux P. La vitesse de croissance et le poids vif final ne diffèrent pas entre génotypes. Les porcs D présentent une moindre teneur en muscle des carcasses et une viande (longe) moins claire et moins exsudative, plus riche en lipides ($P < 0,05$) et de moindre force de cisaillement ($P < 0,10$) comparés aux porcs P. Les porcs D ont une concentration en androsténone supérieure dans la bardière ($P < 0,01$), mais pas en scatol, suggérant un risque accru de viandes rejetées par les consommateurs car odorantes. L'élevage AB de mâles non castrés croisés Duroc apparaît donc favorable au bien-être, à la qualité technologique et plusieurs propriétés sensorielles de la viande, sous réserve de limiter le risque d'odeurs indésirables via la conduite d'élevage.

Welfare and meat quality of non-castrated male pigs in organic farming as a function of genotype

One of the fundamental principles of organic farming is to produce high-quality animal products that respect animal welfare. To improve the extrinsic and intrinsic quality properties of organic pork, non-castrated Duroc crossbred male pigs were compared to the genotype commonly used: Piétrain crossbred pigs. Non-castrated Large White × Duroc (D, n = 47) or Large White × Halothane homozygous negative Piétrain (P, n = 34) male pigs, distributed in two batches, were reared in organic farming (one group per genotype and per batch). Each group was placed in a pen on straw bedding (1.3 m²/pig) with access to an outdoor concrete area (1.0 m²/pig) from 27 kg live weight until slaughter at ca. 125 kg live weight, and received *ad libitum* growing and finishing diets as well as hay (rack). Overall, health and welfare indicators showed few problems, although the proportion of pigs with skin scratches was lower for the D ($P < 0.01$) than P pigs. Growth rate and final live weight did not differ between genotypes. The D pigs had lower carcass lean meat content, and their meat (loin) was less light and exudative, with higher intramuscular fat content ($P < 0.05$) and lower shear force ($P < 0.10$) than meat from P pigs. The D pigs had a higher concentration of backfat androstenone ($P < 0.01$), but not of scatole, suggesting an increased risk of rejection by consumers due to boar taint. Organic farming of non-castrated Duroc crossbred males therefore appears to be favourable for animal welfare, technological pork quality and several sensory properties of the meat, provided that the risk of undesirable odours is limited through management practices.

INTRODUCTION

Les grands principes de l'agriculture biologique (AB) reposent sur l'usage de pratiques respectueuses de l'environnement, de la santé et du bien-être animal (règlements UE 2018/848 et 2018/1584). En AB, les porcs disposent d'une plus grande surface qu'en élevage conventionnel, de litière (couchage) et de fourrages grossiers pour favoriser l'expression de leurs comportements et leur bien-être. La castration des porcs mâles est autorisée jusqu'à 7 jours d'âge avec anesthésie et analgésie (comme en conventionnel depuis 2022), mais il est plus cohérent de ne pas pratiquer cette mutilation, d'autant que l'anesthésie et l'analgésie ne soulagent que partiellement la douleur (Prunier *et al.*, 2020). La non castration des mâles améliore l'efficacité de la croissance (réduisant ainsi les impacts environnementaux) et la teneur en muscle des carcasses, mais ces animaux peuvent exprimer des comportements délétères (agressions, montes sexuelles) et leur viande présenter des défauts d'odeur, dites odeurs sexuelles (Parois *et al.*, 2018 ; Lebret et Čandek-Potokar, 2022). Par ailleurs, l'alimentation est 100 % bio en engraissement, sans OGM ni acides aminés de synthèse, ce qui peut compromettre l'équilibre nutritionnel des rations avec des conséquences possibles sur la qualité des carcasses et des viandes (Lebret et Čandek-Potokar, 2022). Agir sur sa santé, protéger l'environnement et favoriser le bien-être animal constituent les principales raisons d'achat des consommateurs de produits AB en Europe, mais la qualité et le goût sont aussi des motivations fortes (Baudry *et al.*, 2017 ; Agence Bio, 2022 ; Kühl *et al.*, 2023). Ces différentes dimensions de qualité extrinsèques (ou d'image, incluant le bien-être animal) et intrinsèques (sensorielle, nutritionnelle...) résultent de multiples facteurs et pratiques d'élevage (type génétique, sexe, conduite alimentaire...) (Lebret et Čandek-Potokar, 2022 ; Prache *et al.*, 2022). Ainsi, nous avons recherché si le type génétique peut contribuer à améliorer à la fois le bien-être et la qualité de la viande de porcs mâles non castrés en AB. En comparaison au génotype le plus couramment utilisé : porcs croisés Piétrain indemnes de l'allèle de sensibilité à l'halothane (NN - performants pour la production de viande maigre et à faible risque d'odeurs, mais avec une viande de qualité sensorielle et technologique 'standard'), nous avons considéré des porcs croisés Duroc, dont la qualité intrinsèque (texture, pH, couleur) est généralement supérieure (Edwards *et al.*, 2003; Morales *et al.*, 2013; Lebret *et al.*, 2023) mais à risque plus élevé d'odeurs indésirables (Parois *et al.*, 2018). Par ailleurs, des différences de comportement entre porcs Duroc (race pure ou croisés) et Large White ou croisés Piétrain ont été rapportées (Terlouw et Rybarczyk, 2008 ; Werner *et al.*, 2020a), qu'il convient de confirmer sur des mâles non castrés. L'objectif de cette étude est d'évaluer, chez des porcs mâles non castrés élevés en AB, l'effet du type génétique, croisés Duroc vs croisés Piétrain NN, sur la santé et le bien-être, la composition des carcasses et la qualité sensorielle et technologique de la viande.

1. MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation a été réalisée à l'élevage certifié biologique Porganic de l'unité INRAE GenESI (86480 Rouillé, doi: 10.15454/1.5572415481185847E12). Le protocole de l'expérience a été approuvé par le Comité local d'éthique en expérimentation animale et l'expérience autorisée par le Ministère (APAFIS#30357-202103041121621 v4, 02/07/2021).

1.1. Animaux et conduite d'élevage

L'expérimentation a porté sur un total de 81 porcs mâles non castrés issus de truies Large White (LW, troupeau Porganic, GenESI) et de verrats Duroc (D; Nucléus, 35650 Le Rheu) ou Piétrain NN (P; Nucléus, non porteurs de l'allèle n de sensibilité à l'halothane et choisis pour leur faible risque d'odeurs sexuelles). Les animaux ont été élevés en deux bandes consécutives, incluant 30 porcs D (issus de 7 portées et 3 verrats) et 22 P (issus de 6 portées et 3 verrats) pour la première, et 17 D (issus de 6 portées et 5 verrats) et 12 P (issus de 3 portées et 3 verrats) pour la deuxième bande. Les porcs ont été choisis sur la base du poids vif à 70 jours (moyenne et écart-type équilibrés entre génotypes) et placés par génotype dans une loge d'élevage incluant une zone d'alimentation (caillebotis), une aire de repos paillée (1,3 m²/porc) et un accès libre à une courette bétonnée et couverte (1,0 m²/porc). Les quatre loges (2 génotypes et 2 bandes) étaient placées dans le même bâtiment d'élevage. Tous les animaux ont été alimentés avec les mêmes aliments « croissance » jusqu'à 112 jours d'âge, puis « finition » jusqu'à l'abattage, distribués à volonté. Les aliments formulés par la société DFP Nutraliance (19140 Saint-Ybard) étaient à base d'orge, blé, pois, tourteau de soja, son de blé et contenaient 1 % de luzerne (croissance : 9,44 MJ EN/kg, 16,0 % protéines brutes, 0,85 % lysine ; finition : 9,33 MJ EN/kg, 14,0 % protéines brutes, 0,73 % lysine). Dans chaque loge, du foin de prairie était apporté à volonté dans un râtelier et les animaux avaient un accès permanent à de l'eau. Les quantités d'aliment et de foin distribuées ont été enregistrées et les consommations calculées par loge. Les animaux ont été pesés toutes les deux semaines au cours de l'expérimentation et la veille de l'abattage.

1.2. Observations de comportement et de santé en élevage

Des observations ont été réalisées à trois reprises dans chaque loge au cours de l'expérimentation : 2 semaines après le début de l'engraissement, au milieu de l'engraissement et à la fin de la semaine précédant le premier départ à l'abattoir, soit à 84, 111 et 161 jours d'âge en moyenne, respectivement. Ces observations et mesures (protocole Welfare Quality®) visaient à noter la propreté et à évaluer le bien-être et la santé (Tableau 1). Certains paramètres ont été mesurés à l'échelle individuelle : nombre de porcs morts, en mauvais état général (altération sévère de la santé nécessitant un traitement), décrochés (1/3 plus petit que les autres porcs de la loge), sales (≥ 50 % d'un des côtés du corps recouvert de fèces), avec une hernie importante, une boiterie (pas d'appui sur au moins un membre), une plaie importante (≥ 5 cm de diamètre), avec plus de 15 griffures récentes sur au moins un côté du corps, des signes d'irritation de la peau (rougeur) ou de présence de parasites externes (ex. poux), une respiration difficile, une plaie sur au moins une oreille ou à la queue, ayant un comportement de manipulation de la paille. D'autres paramètres ont été mesurés à l'échelle de la loge : propreté des abreuvoirs et auges, répartition des porcs (tassés : ≥ 50 % des porcs sont couchés avec au moins la moitié du corps au contact d'un autre porc; dispersés : ≥ 50 % des porcs sont couchés sur le flanc sans se toucher), présence de fèces liquides sur les parois verticales ou le sol, présence de toux ou d'éternuements, temps d'approche des porcs (temps nécessaire pour qu'au moins un porc approche et touche un observateur non familier après son entrée dans la loge) pour évaluer la relation homme-animal.

1.3. Abattage des porcs et mesures sur carcasses et viande

Les porcs ont été abattus en abattoir commercial (Cooperl, 79800 Sainte-Eanne) en deux séries par bande incluant chacune la moitié des porcs de chaque génotype, choisis sur la base du poids vif. Les porcs ont été mis à jeun la veille de l'abattage vers 8h00, pesés et placés par loge d'origine sur un quai d'embarquement avec mise à disposition d'eau. La nuit suivante, ils ont été transportés à l'abattoir en regroupant les deux génotypes pour le transport et l'attente à l'abattoir (sans mélange avec d'autres animaux), placés en bouverie (50 min à 2 h) puis abattus par exsanguination après étourdissement par électronarcose à haut voltage. La carcasse chaude a été pesée et le taux de muscle des pièces (TMP) déterminé par l'appareil automatique de classement CSB Image-Meater®. Les épaisseurs de gras (G3) et de muscle (M3) au niveau du *gluteus medius* ont été enregistrées. Chaque carcasse a été soumise au test du nez humain pratiqué par le personnel formé et expérimenté de l'abattoir pour identifier les carcasses odorantes (« odeur de mâle entier »). Les griffures (récentes, > 2 cm) ont été dénombrées sur chaque carcasse (hormis tête, gorge, pieds et queue) par la même personne expérimentée à chaque série. Après réfrigération (24 h à 4°C), la demie-carcasse droite a été découpée et les poids des pièces enregistrés. Le pH ultime (pHu) du muscle *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL, longe) a été mesuré (1^e-2^{ème} dernières côtes, électrode Xerolyt Ingold, pH mètre Syleps). Une section transversale de LTL (12^e vertèbre lombaire) a été prélevée et exposée 15 min à la lumière avant détermination des coordonnées de couleur (L*, a*, b*, C*, h°, moyenne de trois mesures, chromamètre Minolta CR400).

1.4. Analyses biochimiques sur longe et bardière et texture

Après mesure de la couleur sur la tranche de LTL, un échantillon a été prélevé (emporte-pièce, diamètre 25 mm, longueur 25 mm) pour déterminer les pertes en eau (24 à 48 h *post-mortem*, méthode EZ drip loss). Le reste de la tranche a été paré et broyé ; un sous-échantillon a été lyophilisé avant détermination des teneurs en eau et en protéines et le reste stocké à -20°C avant détermination du potentiel glycolytique, comme décrit par Lebret *et al.* (2023). Le même jour, une seconde section de LTL (dernière côte) a été prélevée, conservée sous-vide (-20°C) puis parée et broyée avant détermination de la teneur en lipides intramusculaires (LIM) par extraction chloroforme/méthanol (Lebret *et al.*, 2023). Une troisième section de LTL (10-11^{èmes} vertèbres lombaires) a été prélevée, mise sous vide et expédiée au laboratoire IDELE (14310 Villers-Bocage). Après 7 à 8 jours de maturation sous-vide à 4°C, les pertes à la cuisson (au four, 70°C à cœur) et la force de cisaillement de la viande cuite (texturomètre Instron, cellule Warner-Bratzler ; moyenne des mesures sur 10 sections par échantillon) ont été déterminées. A la découpe, un échantillon de gras de bardière (épaisseur totale) a été prélevé au niveau du cou et stocké sous vide à -20°C avant analyse des concentrations en androsténone et scatol du gras liquide par HPLC (Batorek *et al.*, 2012). Les limites de détection étaient de 0,24 et 0,02 µg/g pour l'androsténone et le scatol, respectivement ; ces valeurs ont été attribuées aux porcs dont les concentrations étaient inférieures à ces limites.

1.5. Analyses statistiques

Les mesures de bien-être et santé effectuées à l'échelle de la loge n'ont pas fait l'objet d'analyses statistiques car les effectifs sont insuffisants (2 loges par génotype). L'effet du génotype sur les mesures individuelles de bien-être a été analysé avec le test $\hat{2}$, dérivé du Chi2 et mieux adapté aux échantillons de faible effectif (n

< 5 ; Arbonnier, 1966). Pour les données de croissance, caractéristiques des carcasses et des viandes et de composition biochimique des tissus, l'unité statistique était l'animal. Ces données ont été analysées avec un modèle mixte (proc MIXED, SAS version 9.4) incluant les effets fixes du génotype et de la bande, et l'effet aléatoire du jour d'abattage intra-bande pour les données de qualité de viande et de composition du muscle. Les moyennes des moindres carrés ont été calculées par génotype. Les données d'androsténone et scatol dont les résidus n'ont pu être normalisés ont été analysées par un test de permutation (fonction aovperm, package permuco, R version 4-1.2), en incluant dans le modèle les effets fixes du génotype et de la bande.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Santé, comportement et bien-être en élevage

D'une façon générale, peu de problèmes de bien-être et santé sont relevés chez les porcs des deux génotypes, cependant quelques indicateurs montrent des résultats plus favorables chez les croisés Duroc. On observe un pourcentage plus faible de porcs avec des griffures chez les croisés D vs P aux trois stades d'observation ($P < 0,01$, Tableau 1) et sur les carcasses ($P < 0,05$, Tableau 2). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus sur des carcasses de porcs croisés Duroc vs croisés Piétrain avec une lignée maternelle LW x Landrace (Werner *et al.*, 2020a). Les lésions cutanées résultant de morsures lors des bagarres ou de traces de sabots lors des montes sexuelles, on peut en déduire une moindre fréquence de l'un ou de ces deux comportements chez les porcs D. Un autre critère favorable est la moindre fréquence de lésions à la queue en fin d'engraissement des porcs D ($P < 0,05$). La mortalité numériquement inférieure chez les porcs D ne diffère pas significativement entre génotypes, toutefois il faut souligner que les effectifs sont faibles. Les autres indicateurs observés à l'échelle des porcs ne varient pas entre génotypes. A l'échelle du groupe, nous observons aux trois stades un temps d'approche plus faible des porcs D, indiquant un degré de confiance des animaux envers l'homme plus élevé. Une moindre latence et plus grande fréquence de contacts avec un humain non familier ont également été observés chez des porcs Duroc comparés à des porcs LW (Terlouw et Rybarczyk, 2008).

2.2. Croissance des porcs et caractéristiques des carcasses

La croissance moyenne des porcs sur l'ensemble de la période expérimentale et le poids vif à l'abattage ne diffèrent pas entre les porcs D et P (Tableau 2). La consommation alimentaire individuelle calculée par loge était similaire pour les porcs D (2,73 kg/j) et P (2,80 kg/j) de même que l'indice de consommation (D: 2,85; P: 2,88) et la consommation individuelle de foin (D: 109, P: 120 g/j). Le poids de carcasse chaude ne diffère pas entre génotypes, malgré un rendement carcasse légèrement inférieur des porcs D vs P ($P < 0,05$). Le TMP des carcasses D est inférieur à celles des porcs P (-1,9 point, $P < 0,001$) et associé à une moindre épaisseur de muscle et une épaisseur supérieure de gras. Ces différences s'accompagnent de moindres proportions de longe et jambon et de proportions supérieures de bardière et de poitrine pour les porcs D vs P. Les performances de croissance des porcs D et P sont satisfaisantes au regard de celles observées en élevage AB de porcs mâles entiers, castrés ou femelles issus de verrats Duroc ou Piétrain et de truies LW (Ferchaud *et al.*, 2022) ou LW x Landrace (Werner *et al.*, 2020a ; Quander-Stoll *et al.*, 2021, 2022). L'absence de différence de croissance entre porcs D et P va à l'encontre de

Tableau 1 – Indicateurs de santé et bien-être en élevage selon le génotype

| | Début d'engraissement | | | Milieu d'engraissement | | | Fin d'engraissement | | |
|---|-----------------------|----------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------|---------------------|----------------|--------------------|
| | D ¹ | P ² | Sign. ³ | D ¹ | P ² | Sign. ³ | D ¹ | P ² | Sign. ³ |
| Observations à l'échelle de l'animal (% des porcs) | | | | | | | | | |
| Nombre d'animaux observés | 47 | 35 | | 47 | 34 | | 47 | 33 | |
| Mortalité depuis l'entrée en engraissement | 0 | 0 | ns | 0 | 3 | ns | 0 | 6 | ns |
| Porcs en mauvais état général | 0 | 0 | ns | 2 | 0 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs décrochés | 6 | 6 | ns | 4 | 6 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs sales | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns | 2 | 0 | ns |
| Porcs présentant une hernie | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns | 2 | 0 | ns |
| Porcs présentant une boiterie | 0 | 3 | ns | 0 | 3 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs présentant une plaie importante | 2 | 3 | ns | 2 | 6 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs présentant des griffures | 0 | 20 | < 0,001 | 0 | 35 | < 0,001 | 0 | 18 | < 0,01 |
| Porcs avec signes d'irritation de la peau ou parasites externes | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs ayant une respiration haletante | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs avec lésion(s) auriculaire(s) | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns | 0 | 0 | ns |
| Porcs avec lésion(s) à la queue | 2 | 0 | ns | 4 | 6 | ns | 0 | 9 | < 0,05 |
| Porcs manipulant la paille | 64 | 64 | ns | 47 | 38 | ns | 36 | 49 | ns |
| Observations à l'échelle de la loge (% des loges) | | | | | | | | | |
| Nombre de loges observées | 2 | 2 | | 2 | 2 | | 2 | 2 | |
| Abreuvoirs ou auges souillés | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| Répartition des porcs | | | | | | | | | |
| Tassés | 50 | 50 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| Dispersés | 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| Présence de fèces liquides | 100 | 50 | | 50 | 100 | | 0 | 0 | |
| Présence de toux ou d'éternuements | 100 | 100 | | 100 | 100 | | 100 | 100 | |
| Temps d'approche (s) | 34 | 57 | | 11 | 32 | | 9 | 21 | |

¹D : croisés Duroc, ²P : croisés Piétrain. ³Signification (P-value), ns : P > 0,10.

résultats précédents montrant une moindre croissance de porcs femelles croisées D vs P NN (Lebret *et al.*, 2023). A l'inverse, d'autres auteurs ont rapporté une croissance supérieure liée à une consommation alimentaire plus élevée de porcs femelles et mâles castrés croisés ou de race pure D vs P (Edwards *et al.*, 2006 ; Morales *et al.*, 2013 ; Kowalski *et al.*, 2020 ; Werner *et al.*, 2020a). Ces différences pourraient s'expliquer par l'utilisation de lignées Duroc et/ou Piétrain différentes selon les études (Kowalski *et al.*, 2020). Le rendement carcasse inférieur

des porcs D vs P est en accord avec Werner *et al.* (2020a) et confirme nos résultats sur des porcs femelles (Lebret *et al.*, 2023), même si l'écart observé ici est moindre. Le TMP inférieur des carcasses des porcs D associé à leur moindre épaisseur de muscle et proportion de pièces maigres et leur adiposité plus élevée, est conforme à de nombreuses études comparant des porcs croisés D vs P NN (Edwards *et al.*, 2006 ; Morales *et al.*, 2013 ; Kowalski *et al.*, 2020 ; Lebret *et al.*, 2023) ou des races pures (Ciobanu *et al.*, 2011).

Tableau 2 – Performances de croissance et caractéristiques des carcasses selon le génotype

| | Génotype ¹ | | ETR ² | Signification (P-value) | |
|--|-----------------------|-------|------------------|-------------------------|--------|
| | D | P | | Génotype | Bande |
| Nombre d'animaux | 47 | 34 | | | |
| Performances de croissance | | | | | |
| Poids vif initial, kg | 27,5 | 27,7 | 4,9 | ns | 0,002 |
| Poids vif à l'abattage, kg | 126,8 | 128,1 | 12,7 | ns | ns |
| Age à l'abattage, j | 177 | 175 | 8,6 | ns | 0,037 |
| Vitesse moyenne de croissance, g/j | 952 | 966 | 131 | ns | ns |
| Caractéristiques des carcasses | | | | | |
| Nombre de griffures sur carcasse, n ⁴ | 30 | 40 | 1,7 | 0,035 | ns |
| Poids de carcasse chaude, kg | 96,5 | 98,4 | 9,7 | ns | ns |
| Rendement carcasse, % ³ | 76,1 | 76,8 | 1,6 | 0,046 | 0,007 |
| Épaisseur de gras (G3), mm | 15,0 | 13,4 | 2,9 | 0,024 | ns |
| Épaisseur de muscle (M3), mm | 67,6 | 74,0 | 5,7 | <0,001 | ns |
| TMP, % | 58,9 | 60,8 | 3,5 | <0,001 | ns |
| Proportion des pièces de découpe, % ⁵ | | | | | |
| Jambon | 25,3 | 25,8 | 0,9 | 0,024 | ns |
| Longe | 26,2 | 27,0 | 1,0 | <0,001 | ns |
| Epaule | 23,5 | 23,7 | 0,7 | ns | ns |
| Poitrine | 16,1 | 15,3 | 0,7 | <0,001 | <0,001 |
| Bardière | 6,0 | 5,4 | 0,9 | 0,006 | ns |

¹D : croisés Duroc, P : croisés Piétrain ; ²Ecart-type résiduel ; ³Proc mixed appliquée sur la racine carrée de la valeur pour obtenir une distribution normale des résidus ; ⁴Poids carcasse chaude/poids vif abattage*100 ; ⁵Pourcentage de la demi-carcasse droite.

2.3. Qualité de la viande : longe

Le pH 24 h du muscle LTL ne diffère pas entre génotypes, mais comparé aux porcs P, le LTL des porcs D présente des pertes en

eau et une luminance réduites et un indice de rouge (a*) et une saturation (C*) légèrement plus élevés (P < 0,05 ; Tableau 3). Les pertes à la cuisson ne diffèrent pas, mais la force de cisaillement tend à être plus faible pour la viande des porcs D vs P (P < 0,10).

Le génotype influence la composition biochimique du LTL, avec des teneurs en eau et en protéines inférieures et une teneur en LIM supérieure (+ 0,6 point) pour les porcs D vs P ($P < 0,001$), alors que le potentiel glycolytique ne varie pas. La moindre perte en eau du LTL des porcs D vs P, indicateur d'une meilleure qualité technologique, est en accord avec la littérature (Edwards *et al.*, 2003 ; Kowalski *et al.*, 2020 ; Lebret *et al.*, 2023). Ces auteurs rapportent aussi un pHu supérieur de la viande de porcs D vs P, qui n'est pas observé ici. Cette différence peut être liée au fait que le potentiel glycolytique est relativement élevé pour les porcs D et P comparativement à des résultats précédents en élevage conventionnel (Lebret *et al.*, 2023). Ceci pourrait résulter de la moindre température ambiante en élevage AB, dont l'effet sur l'augmentation des réserves en glycogène du muscle LTL est bien établi (Lebret et Čandek-Potokar, 2022). La luminance plus faible de la viande des porcs D peut s'expliquer par leur moindre perte en eau (Monin, 2003). A l'inverse de nos résultats, plusieurs études ne montrent pas de différence de L* entre porcs D et P ; l'effet du génotype sur les indices a*, b* et C* est variable selon les études, mais généralement faible (Edwards *et al.*, 2003 ; Kowalski *et al.*,

2020 ; Lebret *et al.*, 2023). Le faible écart observé entre porcs D et P sur les valeurs a* et C* suggère que ces différences ne seraient probablement pas perçues par des consommateurs. A l'inverse de la perte en eau pendant la maturation, la perte en eau à la cuisson ne diffère pas selon le génotype, en accord avec Morales *et al.* (2013) et Kowalski *et al.* (2020). Les moindres teneurs en eau et protéines et la teneur supérieure en LIM de la viande des porcs D vs P confirme nos résultats récents (Lebret *et al.*, 2023). La teneur supérieure en LIM de porcs D comparés aux P est bien établie tant sur des croisés (Kowalski *et al.*, 2020 ; Morales *et al.*, 2013 ; Weber *et al.*, 2020b) qu'en race pure (Ciobanu *et al.*, 2011) même s'il existe une forte variabilité entre lignées Duroc pour ce caractère (Schwob *et al.*, 2020). La teneur supérieure en LIM peut expliquer en partie la moindre force de cisaillement des porcs D (Listrat *et al.*, 2016). Outre l'écart important de LIM entre génotypes, la teneur moyenne de 2,5 % des porcs D correspond à celle au-delà de laquelle une différence de LIM engendre un effet perceptible sur la texture de la viande (Lebret, 2009). Nos résultats suggèrent donc une meilleure tendreté et/ou jutosité de la viande des porcs D vs P qu'il conviendrait de valider par des tests sensoriels.

Tableau 3 – Indicateurs de qualité de viande et composition chimique du muscle *Longissimus* selon le génotype

| | Génotype ¹ | | ETR ² | Signification (P-value) | |
|---|-----------------------|------|------------------|-------------------------|-------|
| | D | P | | Génotype | Bande |
| Nombre d'animaux | 47 | 34 | | | |
| Indicateurs de qualité de viande | | | | | |
| pH 24 h | 5,51 | 5,50 | 0,06 | ns | ns |
| Perte en eau, % | 4,70 | 5,66 | 1,68 | 0,014 | ns |
| Couleur : L* (luminance) | 48,9 | 50,0 | 2,1 | 0,028 | ns |
| a* (indice rouge) | 7,45 | 6,97 | 0,99 | 0,035 | ns |
| b* (indice jaune) | 5,18 | 4,91 | 0,75 | ns | ns |
| C* (saturation) | 9,10 | 8,56 | 1,13 | 0,037 | ns |
| h° (angle de teinte) | 34,9 | 34,9 | 3,13 | ns | ns |
| Perte à la cuisson, % | 34,2 | 33,8 | 4,1 | ns | ns |
| Force de cisaillement, N/cm ² | 33,2 | 35,0 | 4,6 | 0,087 | ns |
| Composition biochimique | | | | | |
| Eau, % | 74,7 | 75,2 | 0,61 | <0,001 | ns |
| Protéines, % | 21,9 | 22,2 | 0,44 | 0,005 | ns |
| Lipides, % | 2,50 | 1,90 | 0,51 | <0,001 | ns |
| Potentiel glycolytique, µmol équivalent lactate/g | 176 | 173 | 14 | ns | ns |

¹D : croisés Duroc, P : croisés Piétrain; ²Ecart-type résiduel.

2.4. Composés odorants dans le gras de bardière

La concentration en androsténone de la bardière est plus élevée ($P < 0,01$) pour les porcs D comparés aux P (Figure 1), alors que la concentration en scatol ne diffère pas significativement entre les génotypes (Figure 1). La teneur supérieure en androsténone des porcs croisés D vs P est en accord avec Werner *et al.* (2020b) et d'autres études rapportant une teneur supérieure en androsténone chez des porcs de race pure Duroc comparés à des Landrace ou Yorkshire (Xue *et al.*, 1996 ; Parois *et al.*, 2018). Malgré la corrélation génétique positive entre les teneurs en androsténone et scatol (Parois *et al.*, 2018), la teneur en scatol n'est pas significativement plus élevée chez les porcs D, alors que Dalmau *et al.* (2019) rapportent une teneur supérieure en scatol de porcs croisés D vs P. A l'inverse, Werner *et al.* (2020b) ont trouvé une teneur inférieure en scatol dans la bardière de porcs croisés D vs P. Divers facteurs d'élevage comme la nature de l'alimentation ou la propreté des animaux peuvent expliquer ces différences entre études (Parois *et al.*, 2018).

Considérant des seuils de rejet par les consommateurs de 3 µg/g de gras liquide pour l'androsténone (Bonneau et Chevillon, 2012) et de 0,15 µg/g de gras liquide pour le scatol

(Mörlein *et al.*, 2012) et qu'il suffise qu'un des deux seuils soit atteint, 8 carcasses de porcs D (17 %) et 3 de porcs P (9 %) seraient défectueuses. A l'abattoir, seule une carcasse D a été détectée odorante au test du nez humain, il s'agit de celle avec la teneur la plus élevée en scatol (0,80 µg/g de gras liquide).

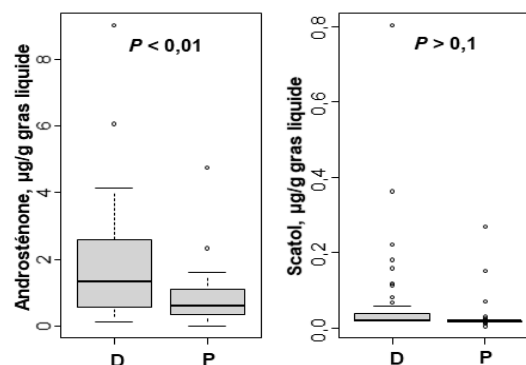


Figure 1 – Teneurs en androsténone et en scatol selon le génotype : porcs croisés Duroc (D) ou Piétrain (P). Les traits horizontaux représentent les 1^{er}, 2nd et 3^{ème} quartiles

En accord avec nos résultats, Mathur *et al.* (2012) ont montré que de nombreuses carcasses dont les concentrations

dépassaient les seuils utilisés dans notre étude n'étaient pas classées odorantes au test du nez humain en abattoir.

CONCLUSION

L'élevage AB de porcs mâles non castrés croisés Duroc comparé à l'élevage de croisés Piétrain permet d'améliorer certains indicateurs de bien-être des animaux. Les performances de croissance ne sont pas différentes mais les carcasses des porcs D ont un TMP inférieur. La viande des porcs D présente une meilleure qualité technologique. La teneur supérieure en LIM et la moindre force de cisaillement suggèrent une viande plus tendre, mais le risque d'odeurs indésirables dues à

l'androsténone est plus élevé comparé à la viande de porcs P. Le type génétique constitue donc un levier pour améliorer certaines dimensions de qualité intrinsèque et extrinsèque de la viande de porcs mâles non castrés AB et doit être raisonné selon les priorités de qualité des éleveurs, abatteurs, transformateurs et consommateurs.

REMERCIEMENTS

Le projet PPILOW a reçu un financement du Programme Horizon 2020 Recherche et Innovation de l'Union Européenne sous l'accord de financement No 816172.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence Bio, 2022. Baromètre de consommation et perception des produits biologiques en France. Agence Bio / Consumer Science & Analytics, Janvier 2022 / Etude N°2100912.
- Arbionnier, 1966. L'analyse de l'information : aperçu théorique et application à la loi multinomiale. *Ann. Sci. Forest.* 23, 950-1020.
- Batorek N., Škrlep M., Prunier A., Louveau I., Noblet J., Bonneau M., Čandek-Potokar M., 2012. Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 4593-4603.
- Baudry J., Péneau S., Allès B., Touvier M., Hercberg S., Galan P., Amiot M.J., Lairon D., Méjean C., Kesse-Guyot E., 2017. Food choices motives when purchasing in organic and conventional consumer clusters: focus on sustainable concerns (The NutriNet Cohort Study). *Nutrients* 9, 88.
- Bonneau M., Chevillon P., 2012. Acceptability of entire male pork with various levels of androstenone and skatole by consumers according to their sensitivity to androstenone. *Meat Sci.*, 90, 330-337.
- Ciobanu D.C., Lonergan S.M., Huff-Lonergan E.J., 2011. Genetics of meat quality and carcass traits. In M. F. Rothschild, & A. Ruvinsky (Eds.), *The genetics of the pigs* (2nd ed.). CAB International, 355-389.
- Dalmau A., Borges T.M., de Mercado E., González J., Mateos-San Juan A., Huerta-Jiménez M. et al., 2019. Effect of environmental temperature, floor type and breed on skatole and indole concentrations in fat of females, immuno-castrated and entire males. *Livest. Sci.*, 220, 46-51.
- Edwards D.B., Bates R.O., Osburn W.N., 2003. Evaluation of Duroc vs Pietrain sired pigs for carcass and meat quality measures. *J. Anim. Sci.*, 81, 1895-1899.
- Edwards D.B., Tempelman R.J., Bates R.O., 2006. Evaluation of Duroc vs Pietrain-sired pigs for growth and composition. *J. Anim. Sci.*, 84, 266-275.
- Ferchaud S., Terrasson T., Moreau S., Grivault D., Billon Y., 2022. Présentation de l'installation porcine biologique INRAE, #porganic : choix techniques et premiers résultats. *Journées Rech. Porcine*, 54, 307-308.
- Kowalski E., Vossen E., Millet S., Ampe B., Callens B., Van Royen G., De Smet S., Aluwé M., 2020. Performance and carcass, loin and ham quality in crossbreds from three terminal sire lines. *Meat Sci.*, 167, 108158.
- Kühl S., Bayer E., Schulze M., 2023. The role of trust, expectation, and deception when buying organic animal products. *Anim. Front.*, 13, 40-47.
- Lebret B., 2009. Stratégies nutritionnelles visant à moduler la croissance et la composition des dépôts tissulaires chez le porc : conséquences sur la qualité de la viande. Thèse de Doctorat (Biologie et Agronomie), Agrocampus Ouest, Rennes. 117 p.
- Lebret B., Čandek-Potokar M., 2022. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. *Animal*, 16, Sup. 1, 100402.
- Lebret B., Lhuisset S., Labussière E., Louveau I., 2023. Combining pig genetic and feeding strategies improves the sensory, nutritional and technological quality of pork in the context of relocation of feed resources. *Meat Sci.*, 197, 109074.
- Listrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Picard B., Bugeon J., 2016. How do muscle structure and composition determine the meat and flesh quality? *Scient. World J.*, 2016, 3182746.
- Mathur P.K., ten Napel J., Bloemhof S., Heres L., Knol E.F., Mulder H.A. 2012. A human nose scoring system for boar taint and its relationship with androstenone and skatole. *Meat Sci.* 91, 414-422.
- Mörlein D., Grave A., Sharifi A.R., Buecking M., Wicke M., 2012. Different scalding techniques do not affect boar taint. *Meat Sci.*, 91, 435-440.
- Monin G., 2003. Abattage des porcs et qualités des carcasses et des viandes. *INRA Prod. Anim.*, 16, 251-262.
- Morales J.I., Serrano M.P., Camara L., Berrocoso J.D. Lopez J.P., Mateos G.G., 2013. Growth performance and carcass quality of immunocastrated and surgically castrated pigs from crossbreds from Duroc and Pietrain sires. *J. Anim. Sci.*, 91, 3955-3964.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRA Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Prache S., Lebret B., Baeza E., Martin B., Gautron J., Feidt C., Medale F., Corraze G., Raulet M., Lefevre F., Verrez-Bagnis V., Sans P., 2022. Review: Quality of animal-source foods. *Animal*, 16, 100376.
- Prunier A., Devillers N., Herskin M.S., Sandercock D.A., Sinclair A.R.L., Tallet C., Von Borell E., 2020. Husbandry interventions in suckling piglets, painful consequences and mitigation. The suckling and weaned piglet. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 107-138.
- Quander-Stoll N., Früh B., Bautze D., Zollitsch W., Leiber F., Scheeder M.R.L., 2021. Sire-feed interactions for fattening performance and meat quality traits in growing-finishing pigs under a conventional and an organic feeding regimen. *Meat Sci.*, 179, 108555.
- Quander-Stoll N., Bautze D., Zollitsch W., Leiber F., Früh B., 2022. Effects of 100% organic feeding on performance, carcass composition and fat quality of fattening pigs. *Biol. Agric. Hortic.*, 38, 271-284.
- Schwob S., Lebret B., Louveau I., 2020. Adiposité et génétique chez le porc : état des lieux et nouveaux enjeux pour la qualité des produits. *INRAE Prod. Anim.*, 33, 17-30.
- Terlouw E.M.C., Rybarczyk P., 2008. Explaining and predicting differences in meat quality through stress reactions at slaughter: the case of Large White and Duroc pigs. *Meat Sci.*, 79, 795-805.
- Werner D., Höinghaus K., Brandt H., Weißmann F., Baldinger L., Bussemas R., 2020a. Performance of organic entire male pigs from two sire lines under two feeding strategies. Part 1: Growth performance, carcass quality, and injury prevalence. *J. Sustainable Organic Agric. Syst.*, 70, 67-73.
- Werner D., Höinghaus K., Meier-Dinkel L., Mörlein D., Brandt H., Weißmann F. et al., 2020b. Performance of organic entire male pigs from two sire lines under two feeding strategies. Part 2: Meat quality and boar taint. *J. Sustainable Organic Agric. Syst.*, 70, 75-82.
- Xue J., Dial G.D., Holton E.E., Vickers Z., Squires E.J., Lou Y., Godbout D., Morel N., 1996. Breed differences in boar taint: Relationship between tissue levels boar taint compounds and sensory analysis of taint. *J. Anim. Sci.*, 74, 2170-2177.



Facteurs associés à la prévalence des porcs mâles entiers odorants

Pierre-Yves CONAN (1), Jean-Yves LEGAUD (1), Arnaud BUCHET (2)

(1) Cooperl Groupement d'éleveurs Porcs, 21 rue d'Armor Maroué, 22403 Lamballe Cedex, France

(2) Cooperl Innovation SAS, 1 rue de la gare, 22640 Plestan, France

pierre-yves.conan@cooperl.com

Facteurs associés à la prévalence des porcs mâles entiers odorants

Les attentes de la société vis-à-vis du bien-être animal ne cessent de progresser, conduisant notamment à l'interdiction de la castration à vif des porcelets en 2022. La production de mâles entiers est une alternative à la castration à vif mais elle peut engendrer un risque de production de porcs odorants, frein à la consommation. Les objectifs de cette étude sont de retracer l'évolution du taux d'odorants dans des élevages du Grand Ouest de la France depuis 10 ans et d'actualiser l'identification et la quantification des effets des facteurs élevages associés à la prévalence des odorants à l'abattoir à partir des données de l'année passée. Les données d'élevage et d'abattage de plus de 20 millions de mâles entiers abattus depuis 2013 ont été analysées. Le taux d'odorants a diminué de 2,61 points entre 2013 et 2023 (4,12 % vs 1,51 %, $P < 0,001$). Les odorants ont des carcasses en moyenne plus lourdes (+0,350 kg, $P < 0,001$), plus grasses (épaisseur de gras G3 +0,3 mm, $P < 0,001$) et plus âgés (+3,9 jours, $P < 0,001$) que les non odorants. Les élevages qui ont le taux d'odorants le plus faible ($n = 332$, 0,64 %) sont meilleurs techniquement que ceux qui ont le taux d'odorants le plus élevé ($n = 331$, 2,64 %) : Indice de Consommation technique Sevrage-Vente (2,39 vs. 2,44, $P = 0,025$), taux de porc dans la gamme (82,2 % vs. 80,1 %, $P = 0,007$). Ils alimentent davantage en soupe et utilisent davantage la génétique NUCLEUS en lignée femelle (Large White x Landrace) et en lignée mâle (Piétrain ou Piétrain x Duroc). La mise en place de plan de progrès en élevage visant à réduire la prévalence des mâles entiers odorants et la mobilisation de toute la filière permet de poursuivre la réduction des odorants.

Factors associated with the prevalence of malodorous entire male pigs

Society's expectations about animal welfare continue to advance, which led to the prohibition of surgical castration of piglets in France in 2022. The production of entire male pigs is an alternative to surgical castration, but it may risk producing malodorous pigs, which can decrease consumption. The objectives of this study were to examine the prevalence of malodorous pigs on farms in the West of France over the past decade and to update the identification and quantification of farm-related factors associated with it at the slaughterhouse using data from the previous year. Farm and slaughterhouse data on more than 20 million entire male pigs slaughtered since 2013 were analysed. Malodorous pig prevalence decreased by 2.61 percentage points from 2013 to 2023 (4.12 % vs. 1.51 %, respectively; $P < 0.001$). On average, malodorous pigs had heavier carcasses (+0.350 kg, $P < 0.001$), a higher fat content (G3 +0.3 mm, $P < 0.001$) and were older (+3.9 days, $P < 0.001$) than non-malodorous pigs. Farms with in the lowest quartile of prevalence of malodorous pigs ($n = 332$, 0.64 %) performed better technically than those in the highest quartile of prevalence ($n = 331$, 2.64 %): technical feed conversion ratio (2.39 vs. 2.44, $P = 0.025$) and pigs in the target weight range (82.2 % vs. 80.1 %, $P = 0.007$). They also provided more liquid feed and used NUCLEUS genetics (Large White x Landrace and Pietrain or Pietrain x Duroc (both female and male) more often. The implementation of progress plans on farms to reduce the prevalence of malodorous entire male pigs, along with the commitment of the entire sector, enables the continued reduction of malodorous pigs.

INTRODUCTION

Malgré le durcissement de la législation concernant la castration des porcelets, notamment en France, la majorité des porcs mâles continue à être castrée dans les pays de l'UE (Aluwe *et al.*, 2020). Cette pratique vise à éviter les risques d'odeurs désagréables de la viande issue de mâles non castrés aussi appelés mâles entiers. Ces odeurs sont liées à l'accumulation de deux molécules : l'androsténone et le scatol, dans le tissu adipeux en lien avec la puberté des mâles entiers (Zamaraskaia et Squires, 2009). Depuis le 1^{er} janvier 2022, en France, la castration des porcelets mâles nécessite une anesthésie et une prise en charge de la douleur lors de l'acte chirurgical, engendrant davantage de travail pour l'éleveur et un surcoût lié à l'emploi de produits. L'immunocastration, solution alternative à la castration, a plusieurs inconvénients. Cette méthode nécessite deux injections sur la phase d'engraissement entraînant un surcoût, des risques d'auto-injection de l'opérateur et un risque de rejet par les consommateurs (Guatteo *et al.*, 2012). Enfin, l'élevage de mâles entiers est une alternative qui nécessite de résoudre le problème des odeurs sexuelles dans la viande. Pour y parvenir, il est nécessaire de tenir compte de plusieurs facteurs tels que le couple âge-poids, la génétique, la conduite alimentaire, l'environnement physique et social, ainsi que l'état de stress et de santé des animaux (Parois *et al.*, 2018). Il convient de noter que la plupart des résultats disponibles dans la littérature sur les odeurs sexuelles des mâles entiers ont été obtenus dans des conditions expérimentales, souvent avec une alimentation libérale et généralement à sec (Quiniou *et al.*, 2013).

Depuis 2013, la coopérative Cooperl a opté pour la production de porcs mâles entiers et a mis en place une méthode de détection de ces odeurs par des nez humains dans les abattoirs (Mathur *et al.*, 2012). Depuis le début de la production de mâles entiers, des mesures de gestion des risques ont été mises en place en élevage. Sur le plan génétique, un nombre croissant d'élevages bénéficient de verrats qui réduisent les risques de transmission d'odeurs. Des améliorations ont également été apportées via l'alimentation des élevages produisant des mâles entiers, notamment par une révision des profils en acides aminés, en minéraux et des concentrations énergétiques des formules, afin de réduire le risque d'apparition d'odeurs liées au scatol (Quiniou et Chevillon, 2012).

L'objectif de cette étude est de retracer l'évolution du taux d'odorants au sein d'élevages principalement situés dans le Grand Ouest de la France au cours de la dernière décennie et de mettre à jour l'identification et la quantification des effets des facteurs liés à l'élevage sur la prévalence des mâles entiers odorants à l'abattoir à partir de données récentes (2022-2023).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Sélection des populations étudiées

Pour reconstituer l'historique des taux d'odorants depuis 2013, les données concernant les mâles entiers abattus entre le 1^{er} janvier 2013 et le 30 juin 2023 ont été sélectionnées. Les informations proviennent des abattoirs de Lamballe-Armor (22), Montfort-Sur-Meu (35), Saint-Maixent (79), La Guerche-de-Bretagne (35, Gatine Viandes), qui disposent de personnel humain formé à la détection des odeurs.

Les élevages relevant du schéma génétique (multiplicateurs et sélectionneurs) ont été exclus de l'étude. Les élevages étudiés au sein de la coopérative Cooperl sont principalement situés dans le Grand Ouest de la France (Bretagne, Normandie, Pays de la Loire).

Pour la détermination des facteurs associés aux taux d'odorants, l'étude se concentre sur les données carcasses de la dernière année du 1^{er} juillet 2022 au 30 juin 2023.

1.2. Indicateurs de performances mesurés

Plusieurs indicateurs de performances sont collectés à l'abattoir par Uniporc Ouest, notamment le poids chaud, le pourcentage dans la gamme Uniporc, le Taux de Muscle des Pièces (TMP), l'épaisseur de gras G3, l'épaisseur de muscle M3, les pourcentages de saisies partielles pour motifs respiratoires et articulaires, le pourcentage de saisies totales et la notation de l'odeur des mâles entiers. L'évaluation de cette odeur à l'abattoir se fait sur une échelle de 1 à 5 où la note 1 correspond à un porc sans odeur. A partir de la note 3, les porcs sont considérés comme odorants. La note 5 est la note où l'odeur est la plus forte. Cette évaluation permet de calculer le taux d'odorants, qui correspond au nombre de mâles entiers odorants (note 3 à 5) sur le nombre total de mâles entiers.

L'âge à l'abattage peut être estimé pour les élevages qui identifient leurs porcs à la semaine de naissance. En effet, l'âge des animaux est estimé comme la différence entre la date d'abattage, qui est connue, et la date de naissance fixée au mercredi de la semaine de naissance. Les animaux dont l'âge estimé est inférieur à 120 jours ou supérieur à 280 jours ne sont pas pris en compte dans l'étude.

Le Gain Moyen Quotidien (GMQ) par jour de vie du porc est calculé selon la formule suivante :

$$\text{GMQ jour de vie (g/jour)} = (\text{Poids vif estimé}^1 - \text{Poids de naissance estimé}^2 \text{ (kg)}) / \text{âge à l'abattage} \times 1000$$

¹Poids vif estimé = poids de carcasse chaud / 0,765

²Poids de naissance estimé = 1,4 kg

Des indicateurs de performances en élevage issus des données de Gestion Technico-Économiques (GTE) de 2022 sont également pris en compte, notamment le taux de pertes et saisies Sevrage-Vente (SV), l'Indice de Consommation (IC) technique SV, l'âge à 115 kg standardisé, la Consommation Moyenne Journalière (CMJ) SV et le GMQ technique SV.

1.3. Caractéristiques des élevages étudiés

Pour caractériser les sites par leur niveau de porcs odorants, les données d'abattage de la dernière année sont croisées avec des descripteurs d'élevages, qui sont mis à jour annuellement lors des audits de renouvellement des cahiers des charges pour caractériser les élevages. L'étude se concentre sur des descripteurs liés aux facteurs de variation du niveau d'odeurs déjà identifiés, tels que la génétique (utilisation de cochettes des lignées NUCLEUS (Large White x Landrace), type de race en lignée mâle (Piétrain ou Piétrain x Duroc), pratique de renouvellement des cochettes), des indicateurs sanitaires comme le niveau d'exposition aux antibiotiques par l'*Animal Level of Exposure to Antimicrobials* (ALEA) (ANMV, 2011) et les cahiers des charges comme le Porc Sans Antibiotique (PSA) à partir de 42 jours ou dès la naissance (0 jour). De plus, des indicateurs liés au logement et à l'alimentation en engraissement permettent de caractériser

différentes pratiques : type de sol, type de fabrication et mode de distribution de l'aliment en engraissement.

1.4. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team, 2022). Pour comparer les moyennes des variables liées à la qualité de carcasse où les types d'élevages en fonction du taux d'odorant, des tests d'analyse de la variance (ANOVA) sont réalisés.

Pour quantifier le risque de mâles entiers odorants, une analyse des facteurs de risques a été réalisée en utilisant un modèle de régression logistique binaire, avec le porc comme unité d'étude. La catégorie de référence dans ce modèle est le porc mâle entier non odorant. Dans une première étape, le modèle inclut toutes les variables explicatives issues des

données carcasses. Ensuite, une sélection des variables est réalisée à l'aide de la méthode de recherche descendante pas à pas (backward stepwise selection). Le modèle permet d'identifier et de quantifier les facteurs de risques au travers des *odds-ratios* (OR). Le même modèle de régression est également réalisé à partir des données préalablement centrées et réduites afin de hiérarchiser l'effet de chaque variable explicative sur la variable à expliquer. Enfin, le profilage des sites en fonction du niveau d'odorants est effectué en les classant en quartiles en fonction du taux d'odorants moyen par site. L'unité d'étude est l'indicatif de marquage du site d'élevage de départ. De plus, un test de comparaison des moyennes par analyse de la variance (ANOVA) est réalisé et suivi d'un test ad hoc de Tukey pour comparer les moyennes lorsque l'effet de la modalité est significatif au seuil de 5 %.

Tableau 1 – Caractéristiques des carcasses des mâles entiers et pourcentage de mâles entiers odorants selon l'année d'abattage

| Année | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Nb sites | 1008 | 1344 | 1591 | 1761 | 1796 | 1763 | 1758 | 1713 | 1741 | 1740 | 1461 |
| Nb mâles entiers abattus | 0,7 10 ⁶ | 1,6 10 ⁶ | 1,9 10 ⁶ | 2,2 10 ⁶ | 2,2 10 ⁶ | 2,3 10 ⁶ | 2,3 10 ⁶ | 2,2 10 ⁶ | 2,3 10 ⁶ | 2,3 10 ⁶ | 1,1 10 ⁶ |
| Poids chaud, kg | 94,1 | 95,2 | 95,4 | 95,7 | 96,3 | 95,7 | 96,6 | 96,6 | 96,5 | 95,5 | 96,7 |
| G3, mm | 11,6 | 11,4 | 11,3 | 11,5 | 11,5 | 11,7 | 12,0 | 12,2 | 12,0 | 12,0 | 12,0 |
| M3, mm | 73,3 | 73,8 | 73,3 | 73,3 | 73,3 | 73,7 | 73,7 | 74,1 | 74,3 | 73,6 | 74,4 |
| Age à l'abattage, j | 169 | 172 | 173 | 178 | 181 | 178 | 176 | 179 | 181 | 181 | 181 |
| GMQ vie, g/j | 717 | 697 | 693 | 679 | 670 | 679 | 694 | 680 | 671 | 668 | 675 |
| Mâles odorants, % | 4,12 | 3,77 | 3,87 | 3,97 | 3,42 | 2,26 | 2,43 | 2,54 | 1,9 | 1,71 | 1,51 |

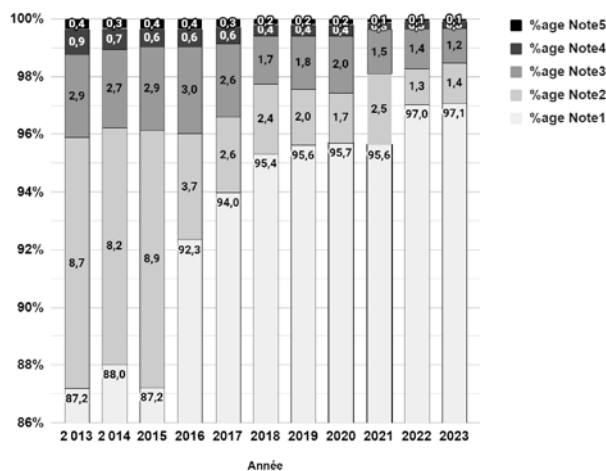


Figure 1 – Evolution de la répartition des notes d'odorants depuis 10 ans

2. RÉSULTATS

2.1. Evolution du taux de porcs mâles entiers odorants depuis 2013

L'analyse des données issues de 2 385 sites d'élevage et de 20 829 687 mâles entiers abattus depuis 2013 révèle une tendance à la baisse du taux d'odorants. Entre 2013 et 2023, le taux d'odorants a diminué, passant de 2,61 % (mâles entiers odorants/mâles entiers) à 1,51 % (Tableau 1). Au cours de la période, la proportion de porcs sans odeur (note 1) est passée de 87,2 % en 2013 à 97,1 % en 2023. Cette hausse s'est principalement faite aux dépens des notes 2 et 3 (Figure 1). Parallèlement, une augmentation du poids à l'abattage sur 10 ans (+2,6 kg) est observée ainsi qu'une augmentation du G3

(+0,4 mm) et de l'âge à l'abattage (+12 jours), trois facteurs connus pour favoriser l'apparition des odeurs (Parois *et al.*, 2018).

Tableau 2 – Caractéristiques des carcasses et taux de saisies à l'abattoir des porcs mâles non odorants et odorants de juillet 2022 à juin 2023

| | Non odorants N = 2 068 565 ¹ | Odorants N = 30 121 ¹ | P value |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|---------|
| Poids chaud (kg) | 96,1 ± 8,3 | 96,4 ± 8,3 | < 0,001 |
| TMP ² | 61,7 ± 2,0 | 61,4 ± 2,0 | < 0,001 |
| G3 ³ , mm | 12,0 ± 3,0 | 12,3 ± 3,1 | < 0,001 |
| M3 ⁴ , mm | 74,0 ± 6,6 | 73,0 ± 6,8 | < 0,001 |
| Age à l'abattage, j | 181 ± 15 | 185 ± 16 | < 0,001 |
| GMQ vie, g/j ⁵ | 672 ± 79 | 659 ± 78 | < 0,001 |
| Taux saisies articulaires, % | 2,07 ± 14,23 | 1,95 ± 13,84 | 0,2 |
| Taux saisies respiratoires, % | 0,51 ± 7,10 | 0,39 ± 6,19 | < 0,001 |
| Taux saisies totales, % | 0,23 ± 4,82 | 0,24 ± 4,92 | 0,7 |

¹Moyenne ± Écart-type

²Taux de muscle des pièces

³Épaisseur de gras G3

⁴Épaisseur de muscle M3

⁵Gain moyen quotidien

2.2. Identification des facteurs de risques « carcasses »

Pour une analyse plus approfondie des facteurs de risques en élevage, nous avons focalisé notre étude sur une année spécifique, de juillet 2022 à juin 2023. Les mâles odorants présentent en moyenne une carcasse plus lourde de 350 g ($P < 0,001$), plus grasse de 0,3 mm ($P < 0,001$) et plus âgée de 3,9 jours ($P < 0,001$) (Tableau 2). De plus, le GMQ par jour de vie est plus faible chez les odorants de 13 g/j ($P < 0,001$) et le taux de saisies respiratoires est inférieur de 0,12 % ($P < 0,001$) par rapport aux non odorants.

2.3. Quantification des effets des facteurs d'élevage

Suite à l'analyse de la régression logistique binaire et de la méthode de recherche descendante pas à pas, quatre variables ont été retenues dans le modèle final : le poids chaud, le G3, le

M3 et l'âge à l'abattage (Tableau 3). L'analyse a été réalisée sur un échantillon de 1 207 933 carcasses de mâles entiers avec des données disponibles pour les quatre variables explicatives sélectionnées par le modèle.

Tableau 3 – Facteurs de risques élevages associés mâles entiers odorants (modèle de régression logistique binaire)

| Caractéristique | Statistiques descriptives Mâles odorants | | | Régression multivariée | Régression multivariée centrée réduite |
|----------------------|--|---|--------------------------------------|------------------------|--|
| | Total, N = 1 207 933 ¹ | Non odorants, N = 1 191 662 ¹ | Odorants, N = 16 271 ¹ | OR ^{2,3} | OR ^{2,3} |
| Poids chaud, kg | 96,4 ± 7,9 | 96,4 ± 7,9 | 96,4 ± 7,9 | 1,01*** | 1,05*** |
| G3 ⁴ , mm | 12,0 ± 3,0 | 12,0 ± 3,0 | 12,3 ± 3,1 | 1,04*** | 1,13*** |
| M3 ⁵ , mm | 74,0 ± 6,6 | 74,0 ± 6,6 | 73,0 ± 6,8 | 0,97*** | 0,83*** |
| Age à l'abattage, j | 181,1 ± 14,7 | 181,0 ± 14,7 | 184,9 ± 15,5 | 1,02*** | 1,30*** |

¹Moyenne ± Écart-type

²* : p-value < 0,05 ; ** : p-value < 0,01 ; *** p-value < 0,001

³OR : Odds-ratios

⁴Épaisseur de gras G3

⁵Épaisseur de muscle M3

Le modèle de régression réalisé à partir des données centrées et réduites indique que l'âge à l'abattage est le facteur de risque le plus significatif, avec un Odds ratio (OR) de 1,30. Cela signifie qu'une augmentation de l'âge à l'abattage d'un écart-type (+14,7 jours) accroît le risque d'avoir des mâles entiers odorants de 30 %. Le deuxième facteur de risque est le M3 (OR=0,83) où une augmentation de 6,6 mm du M3 réduit le risque de mâles entiers odorants de 17 %. Une augmentation de 3 mm le G3 augmente le risque d'odorants de 13 % (OR=1,13), tandis qu'une augmentation de 7,9 kg du poids chaud accroît le risque d'odorants de 5 % (OR=1,05).

2.4. Profils des élevages selon le taux d'odorants

Les sites d'élevages du quatrième quartile présentant le taux d'odorants le plus élevé (n= 331, 2,64 %, Tableau 4) sont moins

représentés dans le cahier des charges PSA 42 jours (36,9 %) que les autres classes (P < 0,001). De plus, les sites du premier quartile (n= 332, 0,64 %) sont davantage impliqués dans la production de PSA 0 jour (P < 0,001). Il faut également noter que l'ALEA et le taux de pertes et saisies SV ne présentent pas de différence significative entre classes.

Les trois classes qui maîtrisent le mieux les odeurs privilégient davantage l'utilisation de la génétique NUCLEUS en lignée femelle (Large White x Landrace) et en lignée mâle (Piétrain ou Piétrain x Duroc) (P < 0,001). Les 25 % d'élevages les mieux classés ont également tendance à privilégier l'achat de cochettes (P = 0,002). L'âge au sevrage ne joue pas un rôle significatif dans la maîtrise des odorants. Les sites ayant le taux d'odorants le plus élevé utilisent moins le type génétique Piétrain en lignée mâle que le premier quartile (P = 0,032).

Tableau 4 – Caractéristiques d'élevage selon les classes de taux de mâles entiers (ME) odorants par élevage

| Classes de taux d'odorants par site | 1er quartile N = 332 | 2 ^{ème} quartile N = 331 | 3 ^{ème} quartile N = 331 | 4 ^{ème} quartile N = 331 | Total N = 1 325 ¹ | P value ² |
|---|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Taux ME odorants, % | 0,64 ^a | 1,12 ^b | 1,58 ^c | 2,64 ^d | 1,49 ± 0,84 | < 0,001 |
| Sites Porc Sans Antibiotique 42 jours, % | 59,04 ^b | 50,15 ^b | 51,36 ^b | 36,86 ^a | 49 ± 50 | < 0,001 |
| Sites Porc Sans Antibiotique 0 jour, % | 23,49 ^b | 13,9 ^a | 19,94 ^{ab} | 15,11 ^a | 18 ± 39 | 0,004 |
| ALEA ³ | 0,13 | 0,17 | 0,15 | 0,14 | 0,15 ± 0,21 | 0,3 |
| Sites verrats NUCLEUS (Piétrain ou Piétrain x Duroc), % | 97,65 ^b | 96,6 ^b | 96,61 ^b | 89,14 ^a | 95 ± 22 | < 0,001 |
| Sites verrats Piétrain, % | 86,58 ^a | 80,27 ^{ab} | 85,76 ^a | 79,28 ^b | 83 ± 38 | 0,032 |
| Sites cochettes NUCLEUS (Large White x Landrace), % | 95,3 ^b | 93,88 ^b | 91,53 ^b | 82,89 ^a | 91 ± 29 | < 0,001 |
| Sites en auto-renouvellement, % | 19,45 ^a | 29,11 ^b | 29,55 ^b | 32,56 ^b | 28 ± 45 | 0,002 |
| Sites engraissement avec en partie du gisoir, % | 8,13 ^a | 11,18 ^{ab} | 10,27 ^{ab} | 15,41 ^b | 11 ± 32 | 0,026 |
| Sites engraissement avec en partie de la litière, % | 3,92 | 3,93 | 4,83 | 5,14 | 4,45 ± 20,63 | 0,8 |
| Sites en fabrication d'aliment à la ferme, % | 35,78 | 39,51 | 35,98 | 30,56 | 35 ± 48 | 0,12 |
| Site en soupe, % | 64,24 ^b | 65,03 ^b | 51,67 ^a | 44,04 ^a | 56 ± 50 | < 0,001 |

¹Moyenne ± Écart-type

²Effet de la classe. Des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence à P < 0,05.

³Animal Level of Exposure to Antimicrobials

Le premier quartile se distingue du dernier quartile par la faible présence de sols en gisoir en phase d'engraissement (P = 0,026). De plus, les deux premiers quartiles alimentent davantage en soupe par rapport aux élevages ayant un taux d'odorants plus élevé (P < 0,001).

Les deux premières classes qui maîtrisent le mieux les odorants sont également celles qui pilotent leur élevage de manière plus réactive et proactive, en réalisant une GTE

(P < 0,001) (Tableau 5). Ces sites se distinguent par de meilleures performances techniques. L'IC technique SV est plus faible pour la classe présentant la plus faible prévalence des odorants par rapport à celle présentant la prévalence la plus forte (P = 0,025).

Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les groupes en ce qui concerne les critères tels que de GMQ technique SV, l'âge à 115 kg ou la CMJ SV.

Au niveau des performances d'abattage, les 25 % d'élevages ayant les taux d'odorants les plus élevés présentent des caractéristiques différentes par rapport aux 25 % d'élevages

les mieux classés : Ils sortent des porcs plus lourds de 570 g ($P = 0,017$). Ils ont un pourcentage de porcs dans la gamme de poids plus faible de 2,1 % ($P < 0,007$). Ils ont également un G3 plus élevé de 0,2 ($P = 0,031$) et un âge à l'abattage plus élevé de 2,2 jours ($P = 0,045$).

Tableau 5 – Performances technico-économiques et qualité des carcasses des sites d'élevage selon les classes de taux d'odorants moyens

| Classes de taux d'odorants par site | 1er quartile N = 332 | 2eme quartile N = 331 | 3eme quartile N = 331 | 4eme quartile N = 331 | Total N = 1 325 ¹ | P value ² |
|---|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Taux ME odorants, % | 0,64 ^a | 1,12 ^b | 1,58 ^c | 2,64 ^d | 1,49 ±0,84 | < 0,001 |
| Taux GTE, % | 48,49 ^b | 50,15 ^b | 44,11 ^{ab} | 34,44 ^a | 44 ±50 | < 0,001 |
| Taux de pertes et saisies SV ³ , % | 5,73 | 5,76 | 6,14 | 6,27 | 5,95 ±2,53 | 0,2 |
| ⁴ IC technique SV | 2,39 ^a | 2,44 ^{ab} | 2,43 ^{ab} | 2,44 ^b | 2,43 ±0,16 | 0,025 |
| ⁵ GMQ technique SV, g/j | 731,6 | 720,03 | 726,51 | 721,65 | 725 ±48 | 0,15 |
| Age à 115 kg, j | 174,15 | 176,47 | 175,87 | 176,85 | 176 ±9 | 0,063 |
| Consommation moyenne journalière SV, kg/j | 1,75 | 1,75 | 1,76 | 1,76 | 1,75 ±0,12 | 0,6 |
| Poids chaud (kg) | 95,99 ^a | 96,16 ^{ab} | 96,22 ^{ab} | 96,56 ^b | 96,23 ±2,34 | 0,017 |
| Pourcentage de porcs dans la gamme, % | 82,24 ^b | 81,67 ^{ab} | 81,71 ^{ab} | 80,13 ^a | 81 ±8 | 0,007 |
| ⁶ G3, mm | 12,03 ^a | 12,06 ^{ab} | 12,14 ^{ab} | 12,23 ^b | 12,11 ±0,98 | 0,031 |
| ⁷ M3, mm | 74,18 | 74,07 | 73,98 | 73,85 | 74,02 ±1,76 | 0,1 |
| Age à l'abattage, j | 179,39 ^a | 181,62 ^a | 180,68 ^a | 181,57 ^a | 181 ±10 | 0,045 |

¹Moyenne ± Écart-type

²Effet de la classe. Des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence à $P < 0,05$.

³Sevrage-Vente

⁴Indice de consommation

⁵Gain moyen quotidien

⁶Épaisseur de gras G3

⁷Épaisseur de muscle M3

3. DISCUSSION

Le taux moyen de mâles entiers odorants de 1,49 % sur le total des mâles entiers au cours de la dernière année est comparable à la fréquence des anomalies congénitales, telles que les cryptorchidies, estimée à environ 1 % dans les élevages pratiquant la castration (Riquet *et al.*, 2016).

L'augmentation du poids, de l'épaisseur de gras G3 et de l'âge des porcs mâles entiers abattus depuis 2013 est en accord avec l'augmentation des poids moyens de carcasses chauds observée par Uniporc Ouest sur l'ensemble de la population des porcs abattus (92,1 kg en 2013 vs 95,5 kg en 2023, Uniporc, 2023). Les évolutions de contexte économique concernant le prix de l'aliment et le prix du porc et le progrès génétique ont probablement incité les éleveurs à produire des carcasses plus lourdes dans les élevages avec plus de muscles, augmentant mécaniquement l'état d'engraissement de la carcasse.

L'identification des facteurs de risque liés au poids et à l'âge à l'abattage est en accord avec les résultats de la littérature (Parois *et al.*, 2018). En effet, l'androsténone est produite de façon croissante au cours du développement pubertaire du mâle entier. Cela explique également pourquoi la vitesse de croissance, identifiée par le GMQ vie dans l'étude, ressort comme significativement plus faible chez les porcs odorants. Une caractéristique de cette étude est la mise en évidence de l'épaisseur de noix de côtelette (M3) comme facteur explicatif des carcasses odorantes sur les données par carcasse sur un an (Tableau 2). Cependant à l'échelle des élevages, le M3 ne ressort pas comme étant significativement différent entre les quatre classes d'élevage (Tableau 5). À notre connaissance, aucune étude antérieure n'a souligné cet indicateur qui est un indicateur mixte pouvant varier en fonction du type génétique et pouvant indiquer des problèmes de croissance au cours de la

vie du porc liés à un programme alimentaire inadapté, des problèmes sanitaires ou de conditions de vie (densité, qualité de l'air, etc...). Ces différences significatives dans les performances d'abattage en fonction des taux d'odorants ont des implications potentielles sur la qualité de la viande et la rentabilité de l'élevage.

Il est essentiel de noter que les caractères liés à l'odeur, en particulier la teneur en androsténone, sont fortement héréditaires (Robic *et al.*, 2008). Cette hérédité élevée explique pourquoi les élevages en achat de cochettes bénéficient plus rapidement du progrès génétique lié à la réduction du taux d'odorants que ceux pratiquant l'auto-renouvellement. Sur le plan génétique, la plupart des élevages étudiés bénéficient de verrats sélectionnés depuis 2017 pour l'absence de transmission d'odeurs (Nucléus, 2019). De plus, la race Piétrain se révèle être un type génétique favorable à la maîtrise du risque d'odeurs, ce qui avait déjà été démontré par Mathur *et al.* (2013).

La présence de gisoir en engraissement est un facteur de risque d'odorants car elle favorise la présence de porcs sales. Cette salissure favorise l'absorption du scatol au travers de la peau (Thomsen *et al.*, 2015 ; Parois *et al.*, 2017). À l'inverse, il est intéressant de noter que la présence de litière ne semble pas un facteur de risque, en accord avec une précédente étude (Prunier et Roy, 2015).

Dans cette étude, le mode de distribution en soupe de l'aliment en engraissement présente un effet favorable sur les odorants. Cet effet peut supposer que les élevages à la soupe maîtrisent mieux le rationnement des porcs en fin d'engraissement, ce qui permet d'éviter d'avoir des animaux trop gras à l'abattage et contribuant à des lots plus homogènes. Une autre explication possible est l'influence du mode de distribution d'aliment sur la teneur en scatol, via des effets sur l'utilisation digestive des

aliments (Parois *et al.*, 2018). Ces résultats contredisent certaines conclusions d'études antérieures qui n'avaient pas observé d'effets significatifs (Wesoly et Weiler, 2012 ; Quiniou *et al.*, 2013).

CONCLUSION

Le premier objectif de cette étude était de retracer l'évolution de la proportion de mâles entiers odorants à la Cooperl au cours des dix dernières années. Le taux de mâles entiers odorants a été réduit de plus de la moitié durant cette période, atteignant 1,49 % au cours de la dernière année (juillet 2022 à juin 2023).

Le second objectif de l'étude était d'actualiser l'identification et la quantification des effets des facteurs élevages associés à la fréquence des mâles entiers odorants à l'abattoir à partir de données récentes (2022-2023). L'étude permet de hiérarchiser

les principaux facteurs de risque pour les carcasses : l'âge, le M3, le G3 et le poids. De plus, les élevages qui tirent rapidement parti du progrès génétique grâce à l'achat de reproducteurs, qui maîtrisent le rationnement des porcs ou qui s'engagent dans une démarche de réduction des antibiotiques, sont moins susceptibles d'avoir des porcs mâles entiers odorants. La gestion efficace de ces facteurs de risque au sein des exploitations, combinée aux efforts coordonnés de l'ensemble de la filière (sélection génétique, formulation de l'aliment, *etc...*) permet de poursuivre la réduction de la prévalence des mâles entiers odorants.

Dans ce contexte, les avantages associés aux mâles entiers, tels que l'amélioration de l'IC, du TMP, du bien-être animal et de l'éleveur (suppression de l'intervention liée à la castration) font que le taux d'odorants n'est plus considéré comme un désavantage pour ceux qui le maîtrisent.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aluwe M., Millet S., Skrlep M., Candek-Potokar M., Zakowska-Biemans S., Kostyra E., Van Den Broeke A., 2020. Évaluation de la qualité de la viande des mâles entiers, castrés et immunocastrés. Journées Rech. Porcine, 52, 61-62.
- ANMV, 2011. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2010. 57 pages.
- Guatteo R., Levionnois O., Fournier D., Guémené D., Latouche K., Letierrier C., Mormède P., Prunier A., Servière J., Terlouw C., Le Neindre P., 2012. Minimising pain in farm animals: the 3S approach – 'Suppress, Substitute, Soothe'. *Animal*, 6, 1261-1274.
- Nucleus, 2019. Piétrain INO : diminution du risque d'odeurs sexuelles. Consultable sur <https://www.nucleus-sa.com/actualites/692-pietrain-ino-diminution-du-risque-dodeurs-sexuelles.html>
- Mathur P.K., Napel J., Bloemhof S., Heres L., Knol E., Mulder H., 2012. A human nose scoring system for boar taint and its relationship with androstenone and skatole. *Meat Sci.*, 91, 414-422.
- Mathur P.K., ten Napel J., Crump R.E., Mulder H.A., Knol E.F., 2013. Genetic relationship between boar taint compounds, human nose scores, and reproduction traits in pigs. *J. Anim. Sci.*, 91, 4080-4089.
- Parois S., Zemb O., Prunier A., 2017. Influence des conditions de logement sur la production et le stockage du scatol et de l'indole chez le porc mâle entier. Journées Rech. Porcine, 49, 163-168.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRAE Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Prunier A., Roy H., 2015. Influence du mode de logement et d'alimentation sur la teneur en composés odorants de la bardière de porcs mâles entiers. Journées Rech. Porcine, 47, 51-52.
- Quiniou N., Chevillon P., 2015. Performances de croissance et risques d'odeurs de verrat de porcs mâles entiers selon les apports alimentaires en acides aminés essentiels ou en protéines. Journées Rech. Porcine, 47, 69-74.
- Quiniou N., Courboulay V., Goues T., Le Roux A., Chevillon P., 2013. Incidence des conditions d'élevage sur les performances de croissance, les caractéristiques de carcasse et le risque d'odeur des porcs mâles entiers. Journées Rech. Porcine, 45, 57-62.
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Riquet J., Rousseau S., Mercat M.J., Pailhoux E., Larzul C., 2016. Les anomalies congénitales héréditaires chez le porc. *INRA Prod. Anim.*, 29, 329-338.
- Robic A., Fève K., Riquet J., Prunier A., 2016. Transcript levels of genes implicated in steroidogenesis in the testes and fat tissue in relation to androstenone accumulation in fat of pubertal pigs. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 57, 1-9.
- Thomsen R., Edwards S.A., Jensen B.B., Rousing T., Sorensen J.T., 2015. Effect of faecal soiling on skatole and androstenone occurrence in organic entire male pigs. *Animal*, 9, 1587-1596.
- Uniporc, 2023. Poids chaud par année zone Uniporc Ouest. Consultable sur <https://www.uniporc.com/statistiques/>
- Wesoly R., Weiler U., 2012. Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. *Animals*, 2, 221-242.
- Zamaratskaia G., Squires E.J., 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*, 3, 1508-1521.



Etude génétique de l'utilisation d'un panel de nez humains comme phénotypes afin de discriminer l'odeur de verrat

Alice MARKEY (1), Christine GROSSE-BRINKHAUS (2), Daniel MÖRLEIN (3), Ernst THOLEN (2), Nicolas GENGLER (1)

(1) ULiège - GxABT, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique

(2) Institut des Sciences Animales, Université de Bonn, 53115, Bonn, Allemagne

(3) Département des Sciences Animales, Université de Göttingen, Kellnerweg 6, 37077 Göttingen, Allemagne

alice.markey@uliege.be

Etude génétique de l'utilisation d'un panel de nez humains comme phénotypes afin de discriminer l'odeur de verrat

L'odeur de verrat est une mauvaise saveur perçue lors de la cuisson de la viande de certains mâles entiers. Elle est définie comme fécale et urinaire en association à l'accumulation de scatole (SCA) et d'androsténone (AND) dans la graisse. À la suite de l'intention d'arrêter la castration à vif des porcelets en Europe, la sélection génétique d'individus à faible risque d'odeur a été considérée comme une alternative. Cependant, une question se pose toujours : quel phénotype permet de classer les carcasses ? Si la méthode du nez humain est une référence, sa répétabilité entre opérateurs et l'héritabilité (h^2) de leurs mesures posent débat. La plupart des abattoirs effectuent la discrimination par une méthode où un opérateur chauffe le gras sur la ligne d'abattage et sent si une mauvaise odeur en émane. Hors ligne d'abattage, cette méthode peut être exécutée par un ou plusieurs évaluateurs. En laboratoire, l'odeur de verrat est détectée par des méthodes directes comme le dosage ciblé de composés par HPLC-MS ou indirectes basées sur des profils de composés. Dans cette étude, le scatole et l'androsténone ont été mesurés sur des échantillons de graisse dorsale de carcasses de mâles entiers Pi×F1 ($n = 1016$) et ont été sentis et classés (scores 0-5) par un panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS). Les composantes de la variance ont été estimées en utilisant un maximum de vraisemblance restreint (REML) et des modèles linéaires mixtes ($h^2_{SCA} = 0,52$, $h^2_{AND} = 0,52$ et $h^2_{SENS} 0,06-0,30$). Les corrélations génétiques sont en moyenne de modérées à élevées ($r_{SCA-AND} = 0,46$, $r_{AND-SENS} = 0,60$, $r_{SCA-SENS} = 0,91$, $r_{SENS} 0,11-0,91$). Les résultats montrent que certains caractères SENS ont une héritabilité modérée (jusqu'à 0,30) et des corrélations génétiques SENS-SCA-AND élevées, indiquant que ces classifications par des évaluateurs entraînés pourraient être utilisées en sélection génétique.

Genetic study of the use of a human nose panel as phenotypes to detect boar taint

Boar taint is an unpleasant flavour perceived when the meat of certain uncastrated male pigs is cooked. It is described as "faecal" and "urinary", associated with the accumulation of skatole (SKA) and androstenone (AND) in fat. Given the intention to stop surgical castration of pigs in the European Union, genetic selection of individuals with a low risk of odour is seen as an alternative. However, the question remains: what phenotype can be used to classify carcasses? While the human nose method is a reference, its repeatability among operators and heritability of their measures are subjects of debate. Out from the slaughter line, this method can be performed by one or more trained assessors. In the laboratory, boar taint is detected using direct methods (e.g. measuring specific compounds using HPLC-MS) or indirect methods based on compound profiles. In this study, SKA and AND were measured in carcass backfat samples from uncastrated Pi×F1 males ($n=1016$) that were also evaluated (scores 0-5) by a human sensory panel scoring system (SENS). Variance components were estimated using restricted maximum likelihood (REML) and mixed linear models ($h^2_{SKA} = 0.52$, $h^2_{AND} = 0.52$ and $h^2_{SENS} = 0.06-0.30$). Mean genetic correlations were moderate to high ($r_{SKA-AND} = 0.46$, $r_{AND-SENS} = 0.60$, $r_{SKA-SENS} = 0.91$, $r_{SENS} = 0.11-0.91$). The results show that some SENS traits has moderate heritability (up to 0.30) and high genetic correlations between SENS-SKA-AND, implying that classifications by trained assessors could be used as a selection variable in a genetic model.

INTRODUCTION

La castration à vif des porcelets est reconnue comme une pratique douloureuse. Son interdiction sans gestion de la douleur commence à être appliquée en Europe occidentale. En Allemagne et en France, cette pratique est abolie depuis, respectivement, 2021 et 2022 (Brinke *et al.*, 2022; Larzul *et al.*, 2022). La non-pratique de la castration engendre, chez certains mâles entiers, la production de l'odeur de verrat, principalement provoquée par l'accumulation de scatole et d'androsténone dans le gras. Ce défaut d'odeur peut être senti par les consommateurs lors de la cuisson de la viande (Duarte *et al.*, 2021). Une solution peut être d'utiliser la sélection génétique pour assurer un risque réduit de transmission de l'odeur à la descendance.

Les modèles de sélection génétique s'établissent généralement sur les concentrations de scatole et d'androsténone dans le gras mesurées en laboratoire, compte tenu de leurs héritabilités de moyennes à élevées (Duarte *et al.*, 2021). Cependant, un phénotype pris en grand nombre, à faible coût et rapidement est la discrimination réalisée par la méthode du « nez humain » en abattoir. Compte tenu des impératifs d'analyses de routine, l'hypothèse d'utiliser les mesures effectuées par des nez humains comme phénotypes fiables dans un modèle génétique de sélection contre l'odeur de verrat est envisagée.

Cette étude a été menée dans l'objectif de déterminer si l'utilisation d'une échelle de scores d'attribution à l'odeur de verrat peut permettre de réaliser une estimation fiable des valeurs d'élevage du risque de l'odeur de verrat. De plus, l'utilisation d'un seul panéliste a été évaluée ainsi que la contribution de groupes de panélistes. Enfin, l'indépendance de la mesure de scatole et de l'androsténone du point de vue environnemental a été estimée pour chaque panéliste.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

Des mâles entiers ($n = 1016$) issus d'une lignée paternelle Piétrain croisés à des truies commerciales croisées (Pi×F1) ont été élevés dans trois stations de testage de performance en Allemagne. Les gras dorsaux ont été prélevés lors de l'abattage. Les échantillons, divisés en deux sous-échantillons, ont été stockés à -18°C avant d'être analysés.

1.2. Mesures

Le set de données provient de l'étude menée par Mörlein *et al.* (2016), et les méthodes de mesure y sont détaillées.

1.2.1. Analyses chimiques

La scatole (3-méthylindole) et l'androsténone (5 α -androst-16-en-3-one) ont été quantifiés par dilution isotopique stable - microextraction en phase solide dans l'espace de tête - chromatographie en phase gazeuse - spectrométrie de masse (SIDA-HS-SPME-GC-MS). Cette méthode a été développée par Fischer *et al.* (2011).

1.2.2. Evaluation sensorielle

L'évaluation sensorielle a été réalisée par un panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS). La méthode a été détaillée par Mörlein *et al.* (2016). Un panel composé de 10 évaluateurs a réalisé les mesures d'odeur de verrat sur les échantillons. Ces évaluateurs ont été sélectionnés sur la base de leurs performances olfactives individuelles pour détecter le

scatole et l'androsténone, et ensuite formés à détecter ces composés sur de la graisse. Ces derniers ont également été entraînés à reconnaître des niveaux de scatole et androsténone. L'évaluation sensorielle consistait en la classification d'échantillons chauffés dans un four à micro-ondes (450 W) pendant 80 secondes par les 10 évaluateurs, sur base d'une échelle de six points. La déviation perçue depuis un échantillon standard nul (0) était évaluée sur une échelle de 0 à 5. Huit évaluateurs ont réalisé les mesures sur tous les échantillons, deux d'entre eux ont évalué un sous-ensemble de 856 échantillons.

1.3. Analyses statistiques

1.3.1. Transformations de données

Les transformations de données et les analyses statistiques ont été réalisées par le programme RStudio (RStudio Team, 2020).

Les variables scatole et androsténone ont été transformées par la fonction logarithme après un test de Shapiro-Wilk. Les scores des SENS ont été transformés en « Snell Scores » selon une procédure d'approximation se basant sur Snell (1964) et Mujibi et Crews (2009). Le principe a été de remplacer les SENS, c'est à dire les numéros d'ordre de 6 catégories (0 à 5) par des scores représentant les 6 classes d'observations. Pour les 4 classes intermédiaires (catégories 1 à 4), le « Snell Score » représentant chaque classe a été estimé à partir des fréquences cumulées des bornes de la classe transformées en z-scores puis moyennés. Pour les classes extrêmes, les SENS ont été remplacés par des approximations estimées en fonction des bornes connues et de la proportion couverte par la classe extrême (Mujibi et Crews, 2009). Dans la suite du document quand la terminologie SENS sera utilisée, il est sous-entendu qu'il s'agit de Snell Scores provenant de cette transformation effectuée sur les scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation.

1.3.2. Modèle génétique

Les composantes de (co)variance ont été estimées par la suite de programmes BLUPF90 (Miszta *et al.*, 2018). Les paramètres génétiques (héritabilité (h^2) et corrélations génétiques (r_G)) ont été calculés en utilisant le maximum de vraisemblance restreint et des modèles linéaires mixtes. Les erreurs standards ont été calculées selon Meyer et Houle (2013). Le modèle multivarié ci-dessous a permis d'estimer les composantes de (co)variance :

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{b}^* + \mathbf{Z}\mathbf{u}^* + \mathbf{e}^*$$

où \mathbf{y} est le vecteur contenant les phénotypes (log(scatole), log(androsténone) et Snell(SENS)), \mathbf{b} est le vecteur d'effets fixes (station de testage et mois d'abattage) et de la régression appliquée sur le poids à l'abattage ($94,9 \pm 4,8$ kg), \mathbf{u}^* est le vecteur des effets aléatoires génétiques additifs comprenant un pedigree de 1934 animaux, \mathbf{e}^* est le vecteur des résidus ; \mathbf{X} et \mathbf{Z} sont les matrices d'incidences des effets fixes et aléatoires, respectivement. Les effets génétiques additifs et résiduels sont distribués selon des distributions gaussiennes multivariées : $\mathbf{u}^* \sim \mathcal{N}(0, \mathbf{A} \otimes \mathbf{G}^*)$ et $\mathbf{e}^* \sim \mathcal{N}(0, \mathbf{I} \otimes \mathbf{R}^*)$ où \mathbf{A} est la matrice de parenté additive de dimension identique au nombre d'animaux dans le pedigree, \mathbf{I} est une matrice identité de dimension égale au nombre d'enregistrements multivariés, \mathbf{G}^* et \mathbf{R}^* sont des matrices de (co-)variances élémentaires génétiques et résiduelles entre caractères analysés.

1.3.3. Fonctions de covariable

Les paramètres génétiques moyens et les groupements par SENS ont été calculés par des fonctions de covariable avec le logiciel de calcul numérique GNU Octave (Eaton *et al.*, 2020).

Les paramètres de toutes les combinaisons de deux et trois panélistes et la moyenne de tous les panélistes ont été calculés. Seuls les résultats des groupements ayant une héritabilité supérieure à celle de la moyenne ont été rapportés.

1.3.4. Modèle récursif

Afin d'évaluer l'indépendance des valeurs olfactives attribuées aux échantillons par rapport à la perception du scatole et de l'androsténone par les évaluateurs, un modèle récursif a été appliqué selon la méthode présentée par Varona et González-Recio (2023), en appliquant une transformation aux matrices génétiques (G^*) et résiduelles (R^*), obtenue en 1.3.2., pour décrire le modèle récursif et ainsi obtenir a posteriori les composantes de covariance associées au modèle récursif.

La méthode s'est appliquée comme suit :

1. Estimation du modèle multivarié (1.3.2.).
2. Calcul des coefficients d'ajustement (Λ) des SENS par rapport aux mesures de scatole et d'androsténone. Λ est une matrice 12 × 12 des paramètres du modèle récursif.
3. Application des Λ sur les matrices de variances estimées multivariées ($R = \Lambda R^* \Lambda'$ et $G = \Lambda G^* \Lambda'$) afin de d'estimer les composantes de covariance associées au modèle récursif.

Les pourcentages de variation entre variances phénotypiques (VP), génétiques (VG) et résiduelles (VR) obtenues avec le modèle multivarié (MM) et le modèle récursif (MR) ont été calculés comme suit :

$$\%VP = \frac{VP_{MM} - VP_{MR}}{VP_{MM}} * 100$$

$$\%VG = \frac{VG_{MM} - VG_{MR}}{VG_{MM}} * 100$$

$$\%VR = \frac{VR_{MM} - VR_{MR}}{VR_{MM}} * 100$$

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Composantes de (co-)variance

Les héritabilités estimées, présentées en Tableau 1, pour le scatole et l'androsténone ($h^2 = 0,52$) sont élevées comme relaté par exemple par Duarte *et al.* (2021).

Tableau 1 – Estimations des héritabilités (h^2) et erreurs standards du scatole (SCA), de l'androsténone (AND) et scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS) pour chaque panéliste (1-10)

| | h^2 | | Erreur standard |
|---------|-------|---|-----------------|
| SCA | 0,52 | ± | 0,07 |
| AND | 0,52 | ± | 0,08 |
| SENS 1 | 0,11 | ± | 0,02 |
| SENS 2 | 0,16 | ± | 0,05 |
| SENS 3 | 0,07 | ± | 0,02 |
| SENS 4 | 0,24 | ± | 0,05 |
| SENS 5 | 0,11 | ± | 0,03 |
| SENS 6 | 0,06 | ± | 0,02 |
| SENS 7 | 0,30 | ± | 0,06 |
| SENS 8 | 0,08 | ± | 0,03 |
| SENS 9 | 0,23 | ± | 0,05 |
| SENS 10 | 0,12 | ± | 0,03 |

Les héritabilités des scores attribuées par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS) varient de faibles à modérées (de 0,06 à 0,30). Aucune héritabilité n'avait été reportée précédemment sur un système d'évaluation sensorielle regroupant une échelle de 0 à 5. Cependant, selon d'autres systèmes de notation, les héritabilités de « nez humains » (échelle 0-4) ont été estimées entre 0,12 et 0,19 par Windig *et al.* (2012). Le paramètre d'héritabilité va permettre d'avoir une idée de la répétibilité d'attribution du score par un panéliste à travers les familles. Par exemple, les panélistes 4, 7 et 9 attribuent de manière plus assurée et répétée les SENS que les panélistes 8 et 3.

Les corrélations phénotypiques (r_p) et génétiques estimées (r_g) du scatole, de l'androsténone et des SENS sont reportées dans le Tableau 2.

Les corrélations phénotypique et génétique entre le scatole et l'androsténone sont de 0,38 et 0,46, valeurs similaires à ce que reporte Windig *et al.* (2012).

Tableau 2 – Estimations des corrélations génétiques (au-dessus de la diagonale) et phénotypiques (en-dessous) du scatole (SCA), de l'androsténone (AND) et des scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS) pour chaque panéliste (1-10)

| | SENS | | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | SCA | AND | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| SCA | | 0,46 | 0,85 | 0,47 | 0,82 | 0,83 | 0,80 | 0,89 | 0,71 | 0,36 | 0,86 | 0,61 |
| AND | 0,38 | | 0,52 | 0,44 | 0,30 | 0,52 | 0,60 | 0,58 | 0,50 | 0,24 | 0,53 | 0,54 |
| 1 | 0,36 | 0,21 | | 0,57 | 0,58 | 0,70 | 0,58 | 0,70 | 0,64 | 0,19 | 0,77 | 0,47 |
| 2 | 0,26 | 0,26 | 0,30 | | 0,64 | 0,35 | 0,53 | 0,61 | 0,39 | 0,36 | 0,57 | 0,58 |
| 3 | 0,24 | 0,12 | 0,19 | 0,19 | | 0,81 | 0,71 | 0,74 | 0,51 | 0,38 | 0,79 | 0,66 |
| 4 | 0,38 | 0,27 | 0,26 | 0,30 | 0,16 | | 0,62 | 0,60 | 0,58 | 0,16 | 0,83 | 0,58 |
| 5 | 0,39 | 0,30 | 0,27 | 0,25 | 0,15 | 0,26 | | 0,91 | 0,64 | 0,19 | 0,85 | 0,46 |
| 6 | 0,24 | 0,17 | 0,21 | 0,20 | 0,12 | 0,23 | 0,18 | | 0,75 | 0,52 | 0,79 | 0,68 |
| 7 | 0,43 | 0,30 | 0,32 | 0,25 | 0,14 | 0,35 | 0,31 | 0,23 | | 0,47 | 0,78 | 0,72 |
| 8 | 0,07 | 0,09 | 0,41 | 0,06 | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,03 | 0,13 | | 0,11 | 0,72 |
| 9 | 0,45 | 0,26 | 0,20 | 0,19 | 0,07 | 0,23 | 0,23 | 0,17 | 0,29 | 0,04 | | 0,53 |
| 10 | 0,26 | 0,22 | 0,27 | 0,32 | 0,17 | 0,23 | 0,24 | 0,16 | 0,23 | 0,05 | 0,18 | |

Les corrélations phénotypiques entre SENS et le scatole sont comprises entre 0,07 et 0,45 et celles entre SENS et l'androsténone sont comprises entre 0,09 et 0,30. Ces valeurs montrent que bien que les panélistes aient été sélectionnés sur la base des mêmes compétences, leur assignation des scores par rapport au scatole et à l'androsténone est variable en fonction de chaque individu.

Les corrélations phénotypiques entre caractères SENS sont comprises entre 0,03 et 0,41. Sans surprise, les résultats sont variables. Cependant, la question de leur similarité peut se poser compte tenu certaines valeurs plus élevées entre SENS.

Les corrélations génétiques entre SENS et le scatole sont comprises entre 0,36 et 0,89 et celles entre SENS et l'androsténone sont comprises entre 0,24 et 0,60. Ces résultats montrent un lien très fort avec le scatole (p. ex. les panélistes 6 ($r_g = 0,89$) et 9 ($r_g = 0,86$)) et un lien plus modéré avec l'androsténone (p.ex. les panélistes 5 ($r_g=0,60$) et 6 ($r_g=0,58$)). Les corrélations génétiques entre SENS varient entre 0,11 et 0,91. Il est possible donc d'émettre l'hypothèse que les

membres du panel, bien que formés de manière approfondie, ont détecté différemment les composés en fonction de leur sensibilité et de leur spécificité. Génétiquement parlant, l'attribution des scores de certains panélistes est plus similaire que celle d'autres.

D'après le Tableau 2, le panéliste 7 qui a produit la plus haute héritabilité ($h^2=0,30$, Tableau 1) et des corrélations phénotypiques et génétiques comprises parmi les plus élevées avec le scatole et l'androsténone ($r_{GSCA} = 0,71$; $r_{GAND} = 0,50$; $r_{PSCA}=0,43$; $r_{PAND}=0,30$) par rapport au panéliste 8 qui a eu un h^2 très faible ($h^2=0,08$) et des corrélations très faibles par rapport à la moyenne ($r_{GSCA}=0,36$; $r_{GAND}=0,24$; $r_{PSCA}=0,07$; $r_{PAND}=0,09$). À long terme, ces résultats montrent que les estimations de h^2 et les corrélations avec le scatole et l'androsténone peuvent aider à valider les capacités de discrimination des panélistes formés.

2.2. Moyennes et groupements par fonctions de covariable

Tableau 3 – Estimations des héritabilités (diagonale), corrélations phénotypiques (en-dessous) et génétiques (au-dessus) du scatole (SCA), de l'androsténone (AND) et de la moyenne des scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS)

| | SCA | AND | Moyenne SENS |
|--------------|------|------|--------------|
| SCA | 0,52 | 0,46 | 0,91 |
| AND | 0,38 | 0,52 | 0,60 |
| Moyenne SENS | 0,58 | 0,41 | 0,31 |

L'utilisation de la moyenne des SENS augmente l'estimation de l'héritabilité (0,31) (Tableau 3) comparée à celle des SENS individuels ($h^2 \sim 0,06-0,30$) (Tableau 1). Les corrélations génétiques montrent un lien très fort avec le scatole ($r_G=0,91$) et plus modéré avec l'androsténone ($r_G=0,60$) ce qui signifie que l'utilisation de la moyenne de SENS a entraîné une réponse très forte pour le scatole et, dans une moindre mesure, pour l'androsténone. Les résultats obtenus ici ont révélé que l'utilisation de la moyenne des SENS d'un groupe d'évaluateurs donne, comme attendu, des estimations plus élevées de h^2 et que les corrélations avec l'odeur de verrat sont plus fiables que les SENS individuels. Cependant, la valeur maximale des

héritabilités des SENS individuels est proche de la moyenne, ce qui suggère que l'utilisation d'un panéliste ou d'un groupement de panélistes pour leur complémentarité pourrait être une stratégie afin d'utiliser les SENS de manière plus précise.

Des fonctions de covariable ont également été utilisées pour réaliser des groupements de panélistes et étudier leur complémentarité. Seuls les groupements avec une héritabilité plus élevée que la moyenne ont été gardés. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Tableau 4 – Estimations des héritabilités (h^2), corrélations génétiques (r_G) et phénotypiques (r_P) pour les groupements des scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS) de 2 ou 3 panélistes (1-10) avec le scatole (SCA) et l'androsténone (AND)

| Groupe de SENS | h^2 | r_{PSCA} | r_{PAND} | r_{GSCA} | r_{GAND} |
|----------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| 4 7 9 | 0,40 | 0,58 | 0,38 | 0,88 | 0,57 |
| - 4 9 | 0,35 | 0,53 | 0,34 | 0,88 | 0,55 |
| - 7 9 | 0,35 | 0,54 | 0,34 | 0,84 | 0,55 |
| 3 4 9 | 0,34 | 0,54 | 0,33 | 0,89 | 0,51 |
| 1 4 9 | 0,34 | 0,57 | 0,36 | 0,91 | 0,57 |
| 7 9 10 | 0,34 | 0,55 | 0,37 | 0,84 | 0,58 |
| 4 5 9 | 0,34 | 0,58 | 0,39 | 0,90 | 0,58 |
| 2 7 9 | 0,33 | 0,54 | 0,38 | 0,82 | 0,58 |
| 5 7 9 | 0,33 | 0,58 | 0,39 | 0,86 | 0,58 |
| 4 9 10 | 0,33 | 0,54 | 0,37 | 0,89 | 0,59 |
| 1 7 9 | 0,33 | 0,57 | 0,36 | 0,88 | 0,57 |
| 2 4 9 | 0,32 | 0,52 | 0,37 | 0,86 | 0,58 |
| 3 7 9 | 0,32 | 0,55 | 0,33 | 0,88 | 0,52 |

Ce calcul confirme que les panélistes 4, 7 et 9 seraient choisis pour phénotyper les gras dans un objectif de calcul de valeurs d'élevage fiables. La combinaison optimale en termes d'héritabilité est la moyenne des SENS des panélistes 4, 7 et 9 compte tenu sa haute héritabilité et ses valeurs de corrélations proches de celles de la moyenne.

Dans l'hypothèse d'un choix de panélistes, les 4, 7 et 9 seraient les meilleurs pour obtenir des SENS utiles pour la sélection génétique. Cependant, dans une réalité économique, l'utilisation de trois personnes peut être un frein. C'est pourquoi un équilibre doit être trouvé entre le nombre de panélistes et la qualité de la détection dans l'objectif d'obtenir des valeurs d'élevage fiables.

Tableau 5 – Estimations des corrélations génétiques (au-dessus de la diagonale) et phénotypiques (en-dessous) des scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation (SENS) pour chaque panéliste (1-10) corrigés pour le scatole (SCA) et l'androsténone (AND) selon le modèle récursif

| | | SENS | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SCA | AND | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| SCA | | | 0,46 | 0,23 | -0,05 | 0,38 | 0,69 | -0,32 | 0,68 | 0,39 | 0,33 | 0,60 | 0,11 |
| AND | | 0,38 | | 0,03 | -0,11 | -0,25 | 0,29 | -0,41 | 0,20 | 0,23 | 0,02 | 0,33 | 0,09 |
| 1 | | 0,03 | 0,00 | | 0,28 | -0,16 | 0,09 | -0,47 | -0,10 | 0,09 | -0,18 | 0,20 | -0,21 |
| 2 | | -0,01 | -0,03 | 0,21 | | 0,49 | -0,16 | 0,22 | 0,27 | -0,03 | 0,20 | 0,20 | 0,34 |
| 3 | | 0,05 | -0,03 | 0,11 | 0,13 | | 0,55 | 0,20 | 0,37 | -0,01 | 0,32 | 0,42 | 0,37 |
| 4 | | 0,20 | 0,08 | 0,13 | 0,20 | 0,08 | | -0,40 | 0,09 | 0,20 | 0,03 | 0,63 | 0,12 |
| 5 | | -0,05 | -0,06 | 0,13 | 0,15 | 0,06 | 0,09 | | 0,25 | -0,09 | -0,27 | 0,12 | -0,29 |
| 6 | | 0,07 | 0,02 | 0,13 | 0,13 | 0,07 | 0,16 | 0,08 | | 0,45 | 0,55 | 0,39 | 0,26 |
| 7 | | 0,12 | 0,07 | 0,18 | 0,13 | 0,04 | 0,23 | 0,14 | 0,14 | | 0,38 | 0,55 | 0,46 |
| 8 | | 0,07 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,11 | | -0,18 | 0,84 |
| 9 | | 0,14 | 0,08 | 0,04 | 0,06 | -0,04 | 0,09 | 0,04 | 0,07 | 0,13 | 0,01 | | -0,02 |
| 10 | | 0,02 | 0,02 | 0,19 | 0,25 | 0,11 | 0,13 | 0,13 | 0,10 | 0,11 | 0,03 | 0,07 | |

2.3. Modèle récursif

Cette étude a été réalisée pour déterminer si les panélistes attribuent les SENS de manière similaire en excluant la perception du scatole et de l'androsténone. En effet, le modèle récursif permet de modéliser les effets génétiques tout en maintenant les caractéristiques causales (scatole et androsténone) constantes au niveau environnemental. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5.

Les corrélations phénotypiques, obtenues après application du modèle récursif, sont toutes réduites (de -0,05 à 0,21) et sont presque nulles, ce qui signifie que, au plan phénotypique, les SENS attribués l'étaient en fonction du scatole et de l'androsténone. Pour les corrélations génétiques (de -0,47 à 0,84), certaines sont toujours très élevées comme pour les panélistes 6 ($r_{GSCA}=0,68$; $r_{GAND}=0,20$) et 9 ($r_{GSCA}=0,60$; $r_{GAND}=0,33$). Ces résultats signifient que, probablement, ces panélistes sentent un composé qui est corrélé au scatole ou à l'androsténone (p. ex., indole).

Une corrélation génétique qui retient particulièrement l'attention est celle entre les panélistes 8 et 10 qui s'élève à 0,84. Ces SENS se classent de manière très similaire indépendamment du scatole et de l'androsténone, qui pourrait dire que ces panélistes détectent un ou plusieurs autre(s) composé(s) de façon similaire et qui est en outre partiellement héritable (Tableau 6). Ces panélistes sont probablement sensibles similairement à certains composés, non inclus dans l'étude, mais qui ne sont pas corrélés au scatole et à l'androsténone, et classent en fonction de ces derniers. Finalement, certaines corrélations sont devenues négatives, jusqu'à -0,47 ce qui signifie que des panélistes comme le 1 et le 5 renvoient génétiquement dans la direction opposée après correction pour l'influence environnementale du scatole et de l'androsténone.

Afin d'évaluer la variabilité avec et sans contribution du scatole et de l'androsténone, les variances et l'héritabilité des SENS sont présentés ci-dessous.

Tableau 6 – Pourcentage de variation des variances phénotypiques (VP), génétiques (VG) et résiduelles (VR), et héritabilité (h^2) des scores attribués par le panel sensoriel humain utilisant un système de notation pour chaque panéliste (SENS 1-10), entre le modèle multivarié (MM) et le modèle récursif (MR)

| SENS | %VP | %VG | %VR | h^2 (MM) | h^2 (MR) |
|------|-------|-------|-------|------------|------------|
| 1 | 13,28 | 72,57 | 5,98 | 0,11 | 0,03 |
| 2 | 9,61 | 27,86 | 6,05 | 0,16 | 0,13 |
| 3 | 5,28 | 50,09 | 2,15 | 0,07 | 0,03 |
| 4 | 13,21 | 43,69 | 3,36 | 0,24 | 0,16 |
| 5 | 17,17 | 63,58 | 11,66 | 0,11 | 0,05 |
| 6 | 5,86 | 66,96 | 1,75 | 0,06 | 0,02 |
| 7 | 19,10 | 46,60 | 7,46 | 0,30 | 0,20 |
| 8 | 0,56 | 1,50 | 0,48 | 0,08 | 0,08 |
| 9 | 19,32 | 62,06 | 6,50 | 0,23 | 0,11 |
| 10 | 8,51 | 45,08 | 3,76 | 0,12 | 0,07 |

Ces résultats permettent d'évaluer la part des variances SENS expliquées ou non par le scatole et l'androsténone. Généralement, environ 50 % ou plus de la variance génétique s'explique par le scatole et l'androsténone à l'exception des

panélistes 2 et, remarquablement, 8. Ce dernier n'attribue pas les SENS en fonction du scatole et de l'androsténone (%VP=0,56 % ; %VG=1,50 % ; %VR=0,48 %). A l'inverse, la variance génétique du panéliste 1 varie de 72,6 % et implique que l'attribution des scores est majoritairement réalisée en fonction du scatole et de l'androsténone. En effet, ses corrélations génétiques avec le scatole et l'androsténone estimées par le modèle multivarié ($r_{GSCA}=0,85$ et $r_{GAND}=0,52$; Tableau 2) étaient déjà relativement élevées. Les résultats du modèle récursif, à travers les variances expliquées, permettent donc de confirmer l'utilité des SENS du panéliste 1, malgré une héritabilité moyenne, pour discriminer les échantillons de gras selon les composés pour lesquels il a été entraîné.

Les héritabilités estimées ont été réduites de 0,06 – 0,30 à 0,02 – 0,20 signifiant que malgré la non-contribution du scatole et de l'androsténone, certains panélistes comme le 7 détectent toujours une contribution héritable.

CONCLUSION

Dans le cadre d'un programme de sélection visant à réduire le risque de développement de l'odeur de verrat, une méthode plus fiable, pratiquement réalisable et peu coûteuse pourrait être le test de la descendance des verrats reproducteurs par l'utilisation d'une échelle de scores d'attribution à l'odeur de verrat. L'étude des SENS de 10 panélistes permet de démontrer que les panélistes, bien qu'entraînés pour les mêmes compétences, ont des réponses variables les uns par rapport aux autres. L'utilisation de plusieurs panélistes, comme observé à travers les scores moyennés des 10 panélistes testeurs, pourrait permettre d'assurer, à travers leur combinaison, des évaluations génétiques fiables. Cependant, dans une réalité économique, le choix ne peut se porter que sur un ou quelques panélistes montrant des performances proches de la moyenne validées par l'estimation de paramètres génétiques.

Enfin, l'étude de l'indépendance dans la mesure du scatole et de l'androsténone a révélé que certains panélistes semblent sentir des composés corrélés au scatole et à l'androsténone. De plus, certains panélistes sont davantage liés indépendamment du scatole et de l'androsténone et seraient capables de sentir d'autres composés d'une façon consistante à travers les familles génétiques.

La conclusion finale est que les scores SENS attribués par un seul panéliste sont des phénotypes potentiellement utilisables dans un modèle génétique. Cependant, leurs corrélations génétiques avec le scatole et l'androsténone, y compris à influence environnementale constante, et leur héritabilité doivent aussi être rigoureusement validées en plus de leur habilité phénotypique à détecter le scatole et l'androsténone.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Service Public de Wallonie (SPW) Agriculture de la Région Wallonne (RW) pour son soutien à travers le projet NoWallOdor (D65-1430) (Belgique). La mobilité scientifique à l'Université de Bonn, qui a permis ces recherches, a été financée par le Fonds de la Recherche Scientifique (FNRS), la Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB) et la RW. Les données étudiées ici appartiennent au projet Strat-E-Ger qui a été soutenu par des fonds du Ministère fédéral de l'alimentation et de l'agriculture (BMEL) via l'Office fédéral de l'agriculture et de l'alimentation (BLE) dans le cadre du programme de soutien à l'innovation, subvention n° 313-06.01-28-1-68.024-11 (Allemagne).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brinke I., Große-Brinkhaus C., Roth K., Pröll-Cornelissen M.J., Schiefler I., Tholen E., 2022. Meta-analyses for boar taint compounds in two purebred maternal lines and Piétrain-sired crosses. In Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP), Rotterdam, the Netherlands, pp. 3302-3305.
- Duarte D.A.S., Schroyen M., Mota R.R., Vanderick S., Gengler N., 2021. Recent genetic advances on boar taint reduction as an alternative to castration: a review. *J. Appl. Genetics*, 62, 137-150.
- Eaton J.W., Bateman D., Hauberg S., Wehbring R., 2020. GNU Octave version 6.1.0 manual: a high-level interactive language for numerical computations. Consultable : <https://www.gnu.org/software/octave/doc/v6.3.0/>.
- Fischer J., Elsinghorst P. W., Bücking M., Tholen E., Petersen B., Wüst M., 2011. Development of a candidate reference method for the simultaneous quantitation of the boar taint compounds androstenone, 3 α -androstenol, 3 β -androstenol, skatole, and indole in pig fat by means of stable isotope dilution analysis–headspace solid-phase microextraction–gas chromatography/mass spectrometry. *Anal. Chem.*, 83, 6785-6791.
- Larzul C., Mercat M.-J., Hassenfratz C., Carillier-Jacquin C., Comte R., Blanchet B., Louveau I., Boulot S., Prunier A., 2022. Genetic determinism of boar taint in the French Landrace pig breed. In Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP), Rotterdam, the Netherlands, pp. 3245-3248.
- Meyer K., Houle D., 2013. Sampling based approximation of confidence intervals for functions of genetic covariance matrices. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet*, 20, 523-526.
- Misztal I., Tsuruta S., Lourenco D. A. L., Masuda Y., Aguilar I., Legarra A., Vitezica Z., 2018. Manual for BLUPF90 family programs. Consultable: <http://nce.ads.uga.edu/wiki/doku.php?id=documentation>.
- Mörlein D., Trautmann J., Gertheiss J., Meier-Dinkel L., Fischer J., Eynck H.-J., Heres L., Looft C., Tholen E., 2016. Interaction of skatole and androstenone in the olfactory perception of boar taint. *J. Agric. Food Chem.*, 64, 4556-4565.
- Mujibi F.D.N., Crews D.H., 2009. Genetic parameters for calving ease, gestation length, and birth weight in Charolais cattle. *J. Anim. Sci.*, 87, 2759-2766.
- RStudio Team, 2020. RStudio: Integrated development for R. RStudio. Consultable : <http://www.rstudio.com/>.
- Snell E.J., 1964. A scaling procedure for ordered categorical data. *Biometrics*, 20, 592.
- Varona L., González-Recio O., 2023. Invited review: Recursive models in animal breeding: Interpretation, limitations, and extensions. *J. Dairy Sci.*, 106, 2198-2212.
- Windig J.J., Mulder H. A., ten Napel J., Knol E. F., Mathur P. K., Crump R. E., 2012. Genetic parameters for androstenone, skatole, indole, and human nose scores as measures of boar taint and their relationship with finishing traits. *J. Anim. Sci.*, 90, 2120-2129.



Stratégies d'utilisation de l'efficacité digestive pour l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc

Vanille DÉRU (1,2), Marie-José MERCAT (3), David PICARD (3), Bruno LIGONESCHE (4), Loïc FLATRÈS-GRALL (5), Florence YTOURNEL (6), Florian HERRY (6), Joël BIDANEL (3), Maxime BANVILLE (3), Hélène GILBERT (2)

(1) Alliance R&D, 35651 Le Rheu, France

(2) INRAE, 31320 Auzeville-Tolosane, France

(3) IFIP- Institut du Porc, 35651 Le Rheu Cedex, France

(4) Nucléus SAS, 35650 Le Rheu, France

(5) Axiom, 37310 Azay-sur-Indre, France

(6) Choice Genetics, 35170 Bruz, France

vanille.deru@purpan.fr

Stratégies d'utilisation de l'efficacité digestive pour l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc

La poursuite de l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire (EA) est un enjeu crucial pour assurer la durabilité de la filière porcine. L'efficacité digestive (ED), estimée par les coefficients d'utilisation digestive (CUD) de l'azote, de la matière organique et de l'énergie a été proposée comme levier pour améliorer la composante digestive de l'EA. L'objectif de cette étude était de tester différentes options d'intégration des CUD dans les schémas de sélection de populations paternelles. Un schéma de sélection générique avec une population composée de 5000 mâles, dont 40 % avec des données d'EA et de 5000 femelles sans données d'EA a été simulé à l'aide des packages R AlphaSimR et blupADC. Les meilleurs mâles et femelles ont été sélectionnés sur huit générations. Différents scénarios ont été testés en faisant varier le nombre de porcs phénotypés pour l'EA et l'ED. Pour chaque scénario, les valeurs génétiques et le progrès génétique annuel (ΔG_a) ont été estimés puis comparés entre scénarios. Les paramètres génétiques et phénotypiques ont été initialisés d'après des données existantes. Lorsqu'un budget supplémentaire de 30 % était alloué au phénotypage des trois CUD ou à l'indice de consommation (IC), le ΔG_a pour l'EA était respectivement de +13 % ($P < 0,001$) ou +3 % ($P > 0,05$) par rapport au schéma générique. Le ΔG_a de l'IC n'était pas significativement augmenté si 3000 mâles au lieu de 1500 étaient phénotypés pour les CUD. Ainsi, si le coût par échantillon venait à diminuer il ne serait pas pertinent de phénotyper davantage d'individus pour ce caractère. Ces simulations contribueront ainsi à proposer de nouvelles stratégies pour augmenter le ΔG_a de l'EA dans les lignées paternelles porcines.

Strategies to use digestive efficiency to improve feed efficiency in pig

Genetic improvement in feed efficiency (FE) is crucial to the sustainability of the pig industry. Digestive efficiency (DE), estimated by the digestibility coefficient of nitrogen, organic matter and energy, has been proposed as a trait to improve the digestive component of FE. The aim of this study was to test different options for integrating DC into paternal population breeding schemes to improve FE. A baseline breeding scheme with an initial population of 5000 males, of which 40 % had FE data, and 5000 females without FE data, was simulated using the AlphaSimR and blupADC R packages. The best males and females were selected over eight generations. Various alternative scenarios were tested, varying the number of pigs phenotyped for FE and DE. For each scenario, yearly genetic progress (ΔG_y), genetic values and inbreeding coefficient were estimated and compared to those of the baseline scenario. Genetic and phenotypic parameters were initialised based on existing data and literature. When an additional budget of 30 % was allocated to phenotyping the three DCs or the feed conversion ratio (FCR), the ΔG_y for FE was +13 % or +3 %, respectively, compared to the baseline scenario. The ΔG_y for the FCR did not decrease significantly if 3000 instead of 1500 males were phenotyped for the DCs. Thus, if the cost of the sample were to decrease, it would not be relevant to phenotype more individuals for this trait. These simulations will contribute to the development of new strategies for increasing the ΔG_y of FE in pig sire lines.

INTRODUCTION

L'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire constitue un enjeu crucial pour assurer la durabilité des exploitations porcines en termes d'économie et d'environnement. Dans les systèmes modernes à forte intensité de capital, le coût de l'alimentation représente environ deux tiers du coût total de production pour les éleveurs de porcs (Patience *et al.*, 2015). De plus, une amélioration de l'efficacité alimentaire des porcs réduit la quantité de nutriments excrétés dans les fèces et les urines avec des effets positifs sur l'environnement. Ainsi, l'efficacité alimentaire est un caractère particulièrement pris en compte dans la plupart des programmes de sélection, avec une pondération de l'ordre de 30 à 40 % dans les objectifs de sélection des lignées paternelles (Verrier *et al.*, 2020). L'efficacité digestive, évaluée par les coefficients d'utilisation digestive (CUD) de l'azote (CUDN), de la matière organique (CUDMO) et de l'énergie (CUDE) a été identifiée comme un levier pour améliorer l'efficacité alimentaire. En effet, les CUD ont une héritabilité modérée à élevée (0,26-0,56) et des corrélations génétiques favorables avec l'efficacité alimentaire (< -0,23 avec l'indice de consommation (IC)) (Déru *et al.*, 2021). Ces résultats initiaux suggèrent que l'efficacité digestive peut être intéressante à intégrer dans les schémas de sélection pour affiner les décisions de sélection et améliorer le progrès génétique sur l'efficacité alimentaire. Jusqu'à présent, l'enregistrement individuel des CUD était complexe et coûteux notamment en raison du besoin de main d'œuvre. Cependant, grâce à des avancées méthodologiques récentes, il est désormais possible de prédire rapidement les CUD d'un animal à l'aide d'un spectromètre proche infrarouge portatif, directement dans l'élevage et de manière routinière (Projet Institut Carnot France Futur Elevage DigestOp). Ainsi, les données de phénotypage des CUD deviennent accessibles et pourraient être utilisées dans les schémas de sélection afin d'augmenter le progrès génétique sur l'efficacité alimentaire. Différents scénarios de sélection de lignées paternelles intégrant ou non des données de CUD ont été simulés pour quantifier leur potentiel pour l'amélioration de l'efficacité alimentaire. Cette étude s'est appuyée sur des simulations de schémas de sélection selon différents choix de paramètres concernant les mesures de CUD pour quantifier leur potentiel pour l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Simulations des schémas de sélection

Des schémas de sélection stochastiques ont été simulés à l'aide du package R AlphaSimR (Gaynor *et al.*, 2021).

1.1.1. Schéma de sélection générique

Dans un premier temps, l'objectif était de simuler un schéma de sélection générique pour une population paternelle représentatif des schémas de sélection utilisés au sein des entreprises de sélection françaises. Un cycle de simulation représentait six mois de fonctionnement du schéma de sélection. Seize cycles successifs ont été générés, ce qui équivaut à huit générations de sélection, puisqu'une génération était représentée par deux cycles, et une génération était l'équivalent d'une année complète. Chaque scénario a fait l'objet de cinquante répétitions de simulations pour garantir la robustesse des résultats.

Une population de fondateurs sélectionnée phénotypiquement sur l'âge à 100 kg (A100), l'épaisseur de lard dorsal (ELD) et l'épaisseur de muscle (X5) sur cinq générations a été simulée pour initialiser la population et créer une pression de sélection au démarrage du schéma de sélection proprement dit.

La dernière génération de fondateurs, ainsi que toutes les suivantes, produisaient 5000 jeunes mâles et 5500 jeunes femelles. L'ensemble des mâles avaient des données d'A100, d'ELD et de X5, et 40 % étaient élevés dans des cases avec des distributeurs automatiques de concentrés (DAC), permettant l'enregistrement de l'IC. Pour les femelles, 5000 avaient des données pour l'A100, l'ELD et le X5, et 500 étaient élevées en station de phénotypage avec abattage, et avaient des données d'IC, de rendement de la carcasse (RDT), de pH mesuré 24h après abattage (pH24) et de taux d'exsudat (TEX). Parmi les jeunes verrats et les femelles élevés sans DAC, 900 individus (450 mâles et 450 femelles) avaient des mesures de pH24 et de TEX. Les 1 % meilleurs mâles élevés sans DAC (n=30), les 2 % meilleurs mâles élevés avec DAC (n=40) et les 13 % meilleures femelles (n=570) étaient conservés à la fin de chaque cycle, contribuant au pool de 1668 reproducteurs (168 mâles et 1500 femelles) de chaque cycle de simulation.

Une évaluation génétique a été réalisée avec BLUPF90 (Misztal *et al.*, 2018) sous R grâce à l'interface blupADC (Mei *et al.*, 2021) à chaque cycle afin de sélectionner les individus avec les meilleurs index (cf paragraphe 2.2.2). L'index de sélection (H) a été construit sur la base des valeurs génétiques (VG) des porcs pour l'A100, l'ELD, le X5, l'IC, le RDT, le pH24 et le TEX :

$$H = -1,5 * VG_{A100} - 4 * VG_{ELD} + 5 * VG_{X5} - 225 * VG_{IC} + 8 * VG_{RDT} - 250 * VG_{pH24} - 4 * VG_{TEX}$$

1.1.2. Budget supplémentaire pour phénotyper l'efficacité digestive ou alimentaire

Le coût du phénotypage de l'ingéré, donc de l'IC d'un porc, a été estimé à 50 €, contre approximativement 25 € pour l'efficacité digestive. Ainsi, le coût du phénotypage de l'efficacité alimentaire du schéma générique (2000 mâles et 500 femelles au DAC) a été estimé à 125 000 € par génération. L'objectif était d'évaluer l'évolution du progrès génétique sur les caractères contenus dans l'objectif de sélection avec un budget de phénotypage supplémentaire de 30 % (+ 37 500 €), orienté vers l'efficacité digestive (les CUD) ou alimentaire (l'IC) en ciblant uniquement les mâles dans un premier temps. Le budget supplémentaire de 30 % a été arbitrairement fixé, car il semblait suffisamment élevé pour observer des progrès génétiques concernant l'efficacité alimentaire et digestive. Cinq scénarios alternatifs ont ainsi été construits. Les quatre premiers avaient pour objectif d'utiliser les mesures de CUD de manière distincte (scénarios +30%_CUDN, +30%_CUDMO ou +30%_CUDE), ou combinée (+30%_3CUD). Ainsi, 1500 mâles étaient phénotypés sur le ou les CUD, mais non phénotypés sur l'ingéré, en plus des 2000 mâles déjà phénotypés sur l'IC. Ces scénarios ont été comparés à un cinquième scénario dans lequel le budget supplémentaire était alloué au phénotypage de l'IC (+30%_IC), soit 750 mâles supplémentaires phénotypés sur ce caractère.

Les mêmes scénarios ont été testés avec deux coûts par échantillon différents : 15 €, correspondant à 2500 porcs mâles supplémentaires phénotypés pour le ou les CUD, et 12 €, pour 3000 mâles phénotypés sur le ou les CUD (i.e. tous les mâles candidats à la sélection).

1.1.3. Impact du sexe des individus phénotypés sur le progrès génétique annuel de l'indice de consommation

L'impact du sexe des animaux supplémentaires phénotypés sur le progrès génétique de l'IC a été étudié. Pour cela, le scénario +30%_CUDN a été comparé à un nouveau scénario dans lequel l'effort de phénotypage supplémentaire était appliqué à 1500 femelles (+30%_CUDN_F). De même, un scénario avec 750 femelles (+30%_IC_F) phénotypées de manière aléatoire sur l'IC a été évalué en complément du scénario +30%_IC.

1.1.4. Impact de l'apparentement entre individus sur le progrès génétique annuel de l'indice de consommation

L'impact de l'apparentement génétique entre les individus déjà phénotypés et ceux nouvellement phénotypés a été estimé dans le scénario +30%_CUDN. Pour cela, le scénario +30%_CUDN a été comparé à un scénario dans lequel les nouveaux individus phénotypés ont été choisis dans les familles de pères les moins phénotypés sur l'IC (+30%_CUDN_ELOIGNE).

1.1.5. Indicateurs estimés pour chacun des scénarios

Pour chaque scénario, le progrès génétique entre chaque génération (ΔG_n) a été estimé comme la différence entre la moyenne des valeurs génétiques des porcs de la génération n par rapport à celle de la génération $n-1$. Le progrès génétique annuel (ΔG_a) a été estimé comme la moyenne de ΔG_n .

Afin d'estimer l'efficacité de la sélection, le différentiel de sélection, *i.e.* la différence entre la valeur génétique moyenne des individus sélectionnés et celle de la population totale, a été calculé pour chaque génération.

1.1.6. Comparaison des scénarios

Le ΔG_a pour chacun des caractères a été comparé entre les différents scénarios grâce à un test de comparaison de moyennes deux à deux avec la fonction `pairwise.t.test()` et une correction de Bonferroni sous R (R Core Team, 2021).

1.2. Paramètres des simulations

1.2.1. Animaux

Les composantes de variance des caractères d'intérêt pour les simulations des schémas de sélection ont été obtenues à partir de données existantes. Elles s'appuyaient sur des porcs de race Large White élevés à la station de phénotypage INRAE – France Génétique Porc du Rheu (UEPR, INRA, 2018. Unité expérimentale Porcs Rennes, France, doi : 10.15454/1.557241481185847E12), mesurés pour les CUD à partir de 2017. Afin de disposer de données complémentaires, les données de leurs collatéraux et de leurs parents sur deux générations ont été également prises en compte pour les autres caractères.

1.2.2. Caractères de l'index de sélection

Les caractères d'intérêt intégrés dans les simulations des schémas de sélection étaient ceux utilisés en 2017 dans les index de sélection des lignées paternelles des trois entreprises de sélection françaises partenaires du projet (ES) (Axiom, Choice Genetics France et Nucléus) : l'IC, l'A100, l'ELD, le X5, le RDT, le pH24, ainsi que le TEX.

Les données d'A100, d'ELD et de X5 étaient disponibles pour les porcs Large White élevés en ferme, soit 77 955, 77 130 et 14 293 animaux, respectivement.

Les données d'IC, de RDT et de pH24 étaient disponibles pour les porcs Large White élevés à la station de phénotypage INRA-France Génétique Porc du Rheu (UEPR, INRA, 2018. Unité expérimentale Porcs Rennes, France, doi : 10.15454/1.557241481185847E12) pour 2 110, 2 154 et 3 440 porcs, respectivement. Aucune donnée n'était disponible pour le TEX car cette variable n'est pas mesurée dans cette population Large White.

1.2.3. Mesures de la digestibilité

Les CUD de l'énergie, la matière organique et l'azote ont été prédits pour chaque porc par spectrométrie dans le proche infrarouge (Labussière *et al.*, 2019). Les données utilisées ont été présentées dans Carillier-Jacquin *et al.* (2023). Après tri du jeu de données, 1 190 porcs Large White avaient des données de CUDN, CUDE et CUDMO.

1.2.4. Analyses phénotypiques et génétiques

Afin d'initialiser les simulations, la moyenne, l'héritabilité, la variance génétique et phénotypique de chacun des caractères, ainsi que les corrélations génétiques entre les caractères étaient nécessaires.

La moyenne de chacun des caractères a été estimée à partir des données présentées précédemment.

L'héritabilité et les variances génétique et phénotypique de chacun des caractères ont ensuite été estimées grâce à un modèle linéaire mixte unicaractère (AsReml, Gilmour *et al.*, 2009) : $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + (\mathbf{W}\mathbf{p}) + \mathbf{e}$, avec \mathbf{y} étant le vecteur contenant les performances, $\mathbf{\beta}$ le vecteur contenant l'effet fixe de la bande pour l'IC, le RDT, le pH24 et les trois CUD, de la bande*sexe pour l'A100, l'ELD et le X5, du poids de début de contrôle pour l'IC, du poids et l'âge à l'abattage pour le RDT, du poids chaud pour le pH24. $\mathbf{u} \sim N(0, \mathbf{v}(\mathbf{u})\mathbf{A})$ est le vecteur des effets génétiques additifs pour le caractère considéré, avec \mathbf{A} la matrice d'apparentement pedigree. $\mathbf{p} \sim N(0, \mathbf{v}(\mathbf{p})\mathbf{I})$ l'effet de la portée de naissance pour l'A100, ELD et X5, avec $\mathbf{v}(\mathbf{p})$ la variance de l'effet portée et \mathbf{I} la matrice identité. \mathbf{X} , \mathbf{Z} et \mathbf{W} sont les matrices d'incidence des effets fixes, des effets génétiques et case intra bande. $\mathbf{e} \sim N(0, \mathbf{v}(\mathbf{e})\mathbf{I})$ est le vecteur des effets résiduels, avec $\mathbf{v}(\mathbf{e})$ la variance résiduelle.

Des analyses bicaractères ont été réalisées avec les mêmes modèles afin d'estimer les corrélations génétiques entre les caractères. La matrice de corrélations génétiques obtenue entre les caractères n'étant pas définie positive, la plus proche matrice définie positive a été déterminée avec la fonction `nearPD()` du package Matrix sous R (R Core Team, 2021) qui utilise l'algorithme de Higham (2002), garantissant ainsi que les éléments diagonaux de la matrice étaient fixés à 1, tandis que les autres éléments de la matrice se situaient entre -1 et 1. En l'absence de données pour le TEX, les paramètres phénotypiques et génétiques estimés pour la population collective Piétrain en 2017 ont été retenus.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Paramètres génétiques et phénotypiques des caractères

Les valeurs d'héritabilité, de corrélations génétiques et phénotypiques estimées pour initialiser les simulations sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Héritabilités (diagonale), corrélations génétiques (au-dessus de la diagonale) et corrélations phénotypiques (en-dessous de la diagonale) estimées et utilisées pour initialiser les simulations dans les différents scénarios

| | A100 | IC | ELD | RDT | X5 | pH24 | TEX ¹ | CUDE | CUDN | CUDMO |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| A100 | 0,61 | 0,21 | 0,41 | 0,07 | 0,33 | -0,34 | 0,01 | -0,03 | 0,09 | -0,14 |
| IC | -0,08 | 0,52 | 0,22 | 0,10 | 0,00 | 0,16 | -0,23 | -0,39 | -0,48 | -0,38 |
| ELD | 0,27 | 0,41 | 0,43 | -0,13 | 0,13 | 0,17 | -0,11 | -0,36 | -0,38 | -0,34 |
| RDT | -0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,38 | 0,47 | -0,37 | 0,01 | -0,24 | -0,22 | 0,20 |
| X5 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | -0,17 | 0,43 | -0,16 | -0,01 | -0,11 | -0,02 | -0,11 |
| pH24 | 0,05 | 0,00 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | -0,49 | -0,21 | 0,09 | -0,24 |
| TEX ¹ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CUDE | 0,16 | -0,04 | 0,27 | 0,00 | 0,24 | 0,06 | 0,00 | 0,32 | 0,99 | 0,99 |
| CUDN | 0,15 | 0,05 | 0,27 | -0,04 | 0,14 | -0,02 | 0,00 | 0,76 | 0,32 | 0,98 |
| CUDMO | 0,21 | -0,05 | 0,38 | -0,01 | 0,24 | 0,08 | 0,00 | 0,98 | 0,75 | 0,35 |

¹En l'absence de données pour le TEX, les paramètres phénotypiques et génétiques estimés pour la population collective Piétrain en 2017 ont été retenus, et les corrélations fixées à 0 lorsque l'information n'était pas disponible

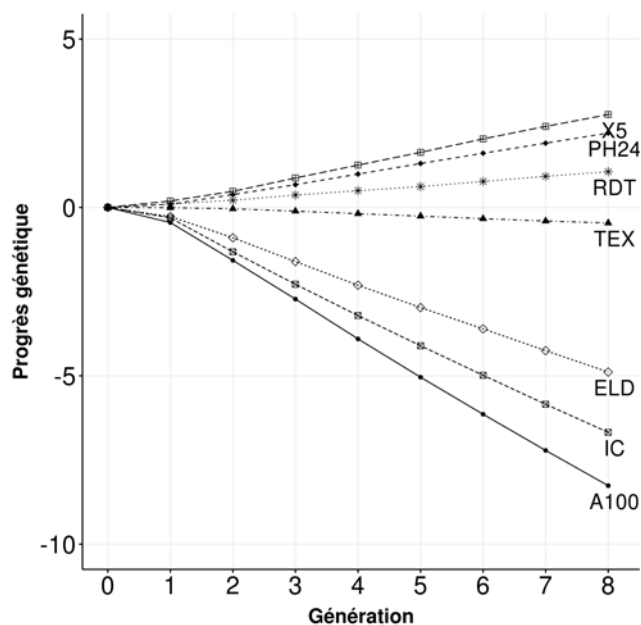
²A100 = âge à 100 kg ; IC = indice de consommation ; ELD = épaisseur de lard dorsal ; RDT = rendement de carcasse ; X5 = taux de muscle ; pH24 = pH 24h après l'abattage ; TEX = taux d'exsudat ; CUDE, CUDMO et CUDN = coefficient d'utilisation digestive de l'énergie, de la matière organique et de l'azote, respectivement

2.2. Évolutions génétiques dans le schéma générique

2.2.1. Progrès génétique des caractères contenus dans l'objectif de sélection

L'évolution du ΔG entre les générations zéro et huit des caractères contenus dans l'objectif de sélection est présentée dans la Figure 1. Les valeurs de ΔG_a de l'ensemble des caractères étudiés sont présentées dans le Tableau 2.

Figure 1 – Évolution du progrès génétique durant les huit générations de sélection dans le schéma générique, en valeur d'écart-types génétiques pour chaque caractère de l'index



A100 = âge à 100kg ; IC = indice de consommation ; ELD = épaisseur de lard dorsal ; TEX = taux d'exsudat ; RDT = rendement de carcasse ; pH24 = pH 24h après l'abattage ; X5 = taux de muscle

Sur huit générations, l'évolution du ΔG (et du ΔG_a) était favorable pour l'A100, l'IC et l'ELD, avec des cumuls respectifs de -8,26, ($\Delta G_a = -0,87$) -6,68 ($\Delta G_a = -0,71$) et -4,89 ($\Delta G_a = -0,51$) écarts-types génétiques à la 8^{ème} génération.

Cette évolution favorable était attendue en raison de la pondération élevée de ces caractères dans l'objectif de sélection, et des corrélations génétiques favorables entre ces trois variables ($r_g(A100,ELD) = 0,41$, $r_g(A100,IC) = 0,21$ et $r_g(ELD,IC) = 0,22$). Les caractères liés à la conformation de la carcasse (X5 et RDT) ont également un ΔG favorable entre les générations 0 et 8, avec +2,76 et +1,06 écarts-types génétiques à la 8^e génération, et un ΔG_a de +0,29 et +0,11 unité d'écart-type génétique, respectivement. Le ΔG du TEX est resté proche de zéro pendant huit générations ($\Delta G = -0,46$ à la 8^{ème} génération, et $\Delta G_a = -0,05$). Cette amplitude de ΔG pour le TEX était attendue sachant que le TEX est le caractère avec la plus faible pondération dans l'objectif de sélection et a des corrélations génétiques plutôt faibles ou défavorables avec les caractères qui ont le ΔG_a le plus favorable ($r_g(A100,TEX) = 0,01$, $r_g(ELD,TEX) = -0,11$, $r_g(IC,TEX) = -0,23$). Le ΔG du pH24 présentait une évolution légèrement défavorable sur huit générations, avec un ΔG de +2,24 à la 8^e génération et un ΔG_a de 0,24. Cette évolution était cohérente avec les corrélations génétiques observées entre les caractères, ainsi qu'avec des résultats antérieurs obtenus en interne dans les entreprises de sélection. Ainsi, pour les simulations du schéma générique le gain génétique est favorable au fil des générations pour les caractères de croissance, d'efficacité alimentaire et de conformation de carcasse (A100, IC, ELD, RDT, X5), et proche de 0 (TEX et pH24) pour les caractères de qualité de viande, conformément aux résultats antérieurs obtenus en populations paternelles.

2.2.2. Progrès génétique annuel des coefficients d'utilisation digestive

Le ΔG_a pour les trois CUD était positif et élevé, avec des valeurs proches pour les trois CUD (0,30-0,35). Du fait de corrélations génétiques fortes entre les CUD ($r_g > 0,98$), un ΔG_a similaire entre les trois CUD était attendu. Ce résultat confirme ainsi l'existence d'une sélection indirecte sur l'efficacité digestive dans le schéma générique, en grande partie attribuable à la corrélation génétique favorable entre l'IC et les trois CUD ($r_g < -0,23$) ; comme déjà suggéré dans la littérature (Déru *et al.*, 2021).

2.3. Scénarios avec du phénotypage supplémentaire sur l'efficacité digestive ou alimentaire

Tableau 2 – Progrès génétique annuel de différents scénarios, en unités d'écart-types génétiques, pour les caractères contenus dans l'objectif de sélection et les trois coefficients d'utilisation digestive

| | Schéma générique | +30%_CUDN | +30%_CUDE | +30%_CUDMO | +30%_3CUD | +30%_IC |
|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| A100 | -0,87 ^a | -0,91 ^b | -0,94 ^c | -0,91 ^b | -0,80 ^d | -0,87 ^a |
| IC | -0,71 ^a | -0,67 ^b | -0,57 ^c | -0,68 ^b | -0,80 ^d | -0,73 ^a |
| ELD | -0,51 ^a | -0,49 ^b | -0,52 ^a | -0,44 ^c | -0,46 ^c | -0,52 ^a |
| RDT | 0,11 ^a | 0,13 ^b | 0,18 ^c | 0,17 ^c | 0,12 ^{a,b} | 0,12 ^a |
| X5 | 0,29 ^a | 0,17 ^b | 0,22 ^c | 0,18 ^b | 0,19 ^b | 0,18 ^b |
| pH24 | 0,23 ^a | 0,19 ^b | 0,21 ^{a,b} | 0,20 ^b | 0,09 ^c | 0,15 ^d |
| TEX | -0,05 ^a | -0,02 ^b | -0,03 ^b | -0,01 ^b | 0,05 ^c | 0,02 ^d |
| CUDE | 0,30 ^a | 0,33 ^b | 0,25 ^c | 0,23 ^c | 0,31 ^b | 0,33 ^b |
| CUDN | 0,30 ^a | 0,32 ^b | 0,24 ^c | 0,23 ^c | 0,32 ^b | 0,33 ^b |
| CUDMO | 0,35 ^a | 0,38 ^b | 0,31 ^c | 0,29 ^c | 0,35 ^a | 0,38 ^b |

¹Toutes les erreurs standards étaient de 0,01, non présentées

²Des lettres différentes sur une même ligne correspondent à une différence significative entre les scénarios selon un test t de comparaison de moyenne ($P < 0,05$)

³+30%_CUDN, +30%_CUDE, +30%_CUDMO, +30%_3CUD, +30%_IC = budget supplémentaire de 30 % alloué au phénotypage du CUD de l'azote, de l'énergie et de la matière organique séparément, ensemble, ou pour l'IC, respectivement.

⁴A100 = âge à 100kg ; IC = indice de consommation ; ELD = épaisseur de lard dorsal ; RDT = rendement de carcasse ; X5 = taux de muscle ; pH24 = pH 24h après l'abattage ; TEX = taux d'exsudat ; CUDE, CUDMO et CUDN = coefficient d'utilisation digestive de l'énergie, de la matière organique et de l'azote, respectivement

Le progrès génétique annuel de chacun des caractères d'intérêt est présenté dans le Tableau 2 pour différents scénarios testés.

2.3.1. Comparaison du progrès génétique annuel des caractères de l'objectif de sélection selon les scénarios

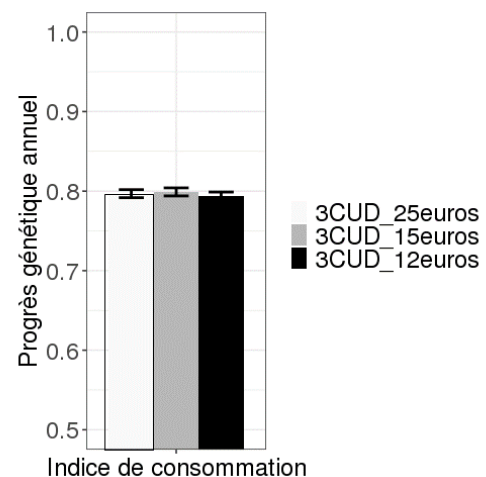
En comparaison au schéma générique, le ΔG_a de l'IC diminuait de 5 %, 19 % et 6 % dans les scénarios +30%_CUDN, +30%_CUDMO et +30%_CUDE, respectivement ($P < 0,01$). Ainsi, ajouter l'information phénotypique d'un seul CUD ne permet pas d'améliorer le ΔG_a sur l'IC. En revanche, dans ces trois scénarios, le ΔG_a était soit plus favorable soit identique au schéma générique pour l'A100 et le RDT. D'autres caractères avaient des ΔG_a défavorables en comparaison au schéma générique, comme le X5 dans les trois scénarios, ainsi que l'ELD, le pH24 et le TEX dans les scénarios +30%_CUDN et +30%_CUDMO.

Pour le scénario +30%_3CUD, le ΔG_a de l'IC augmentait de +13 % par rapport au schéma générique, ce qui était significativement supérieur à l'augmentation de seulement +3 % observée dans le scénario +30%_IC. En revanche, les ΔG_a d'autres caractères comme l'A100, l'ELD, le X5 et le TEX étaient dégradés par rapport au schéma générique. Dans le scénario +30%_IC, les ΔG_a de l'IC, l'A100, l'ELD et le RDT n'étaient pas significativement améliorés en comparaison au schéma générique et une dégradation significative du ΔG_a du X5 et du pH24 était observée.

En conclusion, l'obtention d'une information précise en phénotypant des individus supplémentaires pour les trois CUD (scénario +30%_3CUD), caractères hautement corrélés entre eux d'un point de vue génétique, fournit une information répétée sur l'efficacité digestive et permet une amélioration significative du ΔG_a pour l'IC, contrairement au phénotypage d'un seul des CUD ou de l'IC. Le scénario +30 %_3CUD semble donc prometteur pour améliorer le ΔG sur l'efficacité alimentaire. Toutefois, il convient de noter qu'avec les pondérations actuelles ce scénario peut avoir des conséquences défavorables sur d'autres caractères en raison des jeux de corrélations entre les variables.

2.3.2. Progrès génétique annuel des caractères de l'objectif de sélection dans le scénario +30%_3CUD en fonction du prix par échantillon

Figure 2 – Impact du coût de la mesure pour la digestibilité (25 €, 15 €, 12 €) sur le progrès génétique annuel de l'indice de consommation, représenté en valeur absolue de l'unité d'écart-type génétique.



3CUD_25euros = scénario avec 1500 porcs mâles phénotypés sur les trois CUD ; 3CUD_15euros = scénario avec 2000 porcs mâles phénotypés sur les trois CUD ; 3CUD_12euros = scénario avec 2500 porcs mâles phénotypés sur les trois CUD

La figure 2 présente le ΔG_a de l'IC en fonction du prix de l'échantillon pour la mesure de digestibilité (12, 15 ou 25 €), pour le scénario +30%_3CUD. La baisse de 25 € à 12 € du coût de la mesure et l'augmentation associée du nombre d'individus phénotypés (à coût total constant) n'avait pas un effet significatif sur le ΔG_a de l'IC et des autres caractères ($P > 0,05$). La cause de cette absence d'amélioration peut être liée au fait qu'avec 1500 mâles phénotypés pour l'IC et 1500 mâles phénotypés pour les trois CUD, un phénotypage supplémentaire n'apporte pas d'information, qui plus est lorsque l'ensemble des familles est déjà bien représenté. Une modélisation d'un schéma de sélection paternel avait été réalisée au sein du projet ANR MicroFeed (Bouquet et Gilbert, 2022), et celle-ci avait mis en évidence qu'il était rentable de mesurer un proxy de l'efficacité alimentaire si le coût par échantillon était compris entre 5 et 15 €. Ainsi, si le coût par échantillon de digestibilité venait à baisser, il ne semblerait pas

nécessaire de phénotyper plus d'individus pour avoir un ΔG_a sur l'IC. En revanche, cela aurait pour impact une diminution du budget de phénotypage pour ce caractère.

2.3.3. Impact du sexe des porcs phénotypés sur le progrès génétique de l'indice de consommation

Aucune différence significative du ΔG_a et différentiel de sélection pour l'IC n'a été observée entre les scénarios +30%pheno_CUDN et +30%pheno_CUDN_F ($P < 0,001$). En revanche, le ΔG_a de l'IC et le différentiel de sélection était significativement supérieur dans le scénario +30%pheno_IC ($\Delta G_a = -0,73$ et SelDiff = $-0,063 \pm 0,009$) en comparaison au scénario +30%pheno_IC_F ($\Delta G_a = -0,70$ et SelDiff = $-0,061 \pm 0,009$) ($P < 0,001$). Ces résultats confirment que l'écart entre les valeurs génétiques pour l'IC des individus sélectionnés et de la population globale pour chaque génération était plus important dans le scénario +30%pheno_IC que +30%pheno_IC_F. Cela suggère également que l'efficacité de la sélection sur l'IC est plus importante quand des mâles supplémentaires sont phénotypés sur l'IC plutôt que des femelles.

2.3.4. Impact de l'apparentement entre individus sur le progrès génétique annuel de l'indice de consommation

Le ΔG_a de l'IC n'était pas significativement différent entre les scénarios +30%_CUDN et +30%_CUDN_ELOIGNE ($P < 0,001$). Les familles des pères étant déjà bien représentées avec 70 % des mâles phénotypés sur l'IC ou le CUDN, l'intérêt de choisir des nouveaux individus à phénotyper parmi les familles des pères les moins phénotypés sur l'IC semble limité. Ainsi, choisir de manière aléatoire les individus phénotypés pour l'efficacité digestive est la manière la plus simple de sélectionner les animaux et en plus cela n'impacte pas le ΔG_a de l'IC, quand une proportion significative de la population est déjà mesurée pour l'IC.

CONCLUSION

Les résultats déjà présentés dans la littérature suggéraient que la digestibilité pouvait être un caractère intéressant à intégrer dans les schémas de sélection pour améliorer l'efficacité

alimentaire car présentant une héritabilité modérée à élevée et favorablement corrélé avec l'IC.

Compte tenu de nos premiers résultats par simulation sur l'intégration de l'efficacité digestive dans les schémas de sélection des lignées paternelles, accorder un budget supplémentaire de 30 % pour phénotyper les porcs sur les trois CUD est prometteur car cela permet d'augmenter le ΔG_a de l'IC de +13 % en comparaison au schéma générique. En revanche, un impact défavorable sur le ΔG_a d'autres caractères contenus dans l'objectif de sélection comme l'A100, l'ELD, le X5 et le TEX a été constaté. Le prix de l'échantillon de digestibilité est actuellement de 20-25 €. Avec les améliorations de phénotypage de ce caractère qui sont en cours grâce au Projet Institut Carnot France Futur Elevage DigestOp, le coût de celui-ci pourrait diminuer et il sera encore plus économique de phénotyper des individus pour les trois CUD. L'intérêt de phénotyper plus de 1500 individus pour les trois CUD, ainsi que des individus moins apparentés à ceux déjà phénotypés sur l'IC semble limité car aucune amélioration du progrès génétique annuel de l'IC n'a été observée dans ces deux conditions. De la même manière, ces premiers résultats montrent que phénotyper des femelles sur les CUD ne semble pas être plus prometteur que de phénotyper des mâles.

Par la suite, des simulations supplémentaires au sein du scénario +30%_3CUD seront effectuées en jouant sur les pondérations associées à chaque caractère de l'index. L'objectif serait de trouver les pondérations idéales pour ne pas dégrader le progrès génétique annuel des caractères constituant l'objectif de sélection tout en améliorant le progrès génétique annuel sur l'IC. Des analyses de sensibilité seront également réalisées au sein du schéma générique afin d'évaluer la robustesse des simulations aux évolutions des paramètres génétiques des caractères liés à l'ED ou à l'EA.

REMERCIEMENTS

Ce projet bénéficie d'un soutien d'Alliance R&D, association regroupant les entreprises de sélection Axiom, Nucléus, Choice Genetics France et l'IFIP-Institut du Porc

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Carillier-Jacquín C., Ganier P., Bidanel J., Bouquet A., Hassenfratz C., Blanchet B., Déru V., Labussière E., Gilbert H., 2023. Influence de l'âge sur les paramètres génétiques des coefficients d'utilisation digestive. Journées Rech. Porcine, 55, 345-346.
- Déru V., Bouquet A., Labussière E., Ganier P., Blanchet B., Carillier-Jacquín C., Gilbert H., 2021. Genetics of digestive efficiency in growing pigs fed a conventional or a high-fibre diet. J. Anim. Breed. Genet., 138, 246-258.
- Gaynor R. C., Gorjanc G., Hickey J.M., 2021. AlphaSimR: an R package for breeding program simulations. G3, 11, jkaa017.
- Gilbert H., 2015. Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance : opportunités et challenges. Journées Rech. Porcine, 47, 19-30.
- Gilbert H., Bouquet A., 2022. Modélisation de stratégies pour améliorer la sélection de l'efficacité alimentaire en cas d'interactions GxE. Journées Rech. Porcine, 54, 33-34.
- Gilmour A.R., Jøgel B.J., Cullis B.R., Thompson R., 2009. ASReml User Guide.
- Higham N., 2002. Computing the nearest correlation matrix – a problem for finance. IMA J. Num. Anal., 22, 329-343.
- Labussière E., Ganier P., Condé A., Janvier E., Van Milgen J., 2019. Development of a NIRS method to assess the digestive ability in growing pigs. 70th annual meeting of the european federation of animal science, Ghent, Belgium, p. 604.
- Misztal I., Tsuruta S., Lourenco D.A.L., Masuda Y., Aguilar I., Legarra A., Vitezica Z., 2018. Manual for BLUPF90 family programs. University of Georgia.
- Mei Q., Fu C., Li J., Zhao S., Xiang T., 2021. blupADC: An R package and shiny toolkit for comprehensive genetic data analysis in animal and plant breeding. bioRxiv.
- Patience J.F., Rossoni-Serão M.C., Gutiérrez N.A., 2015. A review of feed efficiency in swine: biology and application. J. Anim. Sci. Biotechnol., 6.
- R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria
- Phocas F., 2020. Chapitre 4 – La définition des objectifs de sélection. In : Verrier E., Milan D., Rogel-Gaillard C., Génétique des animaux d'élevage – diversité et adaptation dans un monde changeant, 55-69, Editions Quae.



Les variations de rythmes alimentaires journaliers pourraient jouer un rôle dans la variabilité génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance

*Hélène GILBERT (1), Lawal AGBOOLA (1), Aline FOURY (2), Florence GONDRET (3),
Marie-Pierre MOISAN (2)*

(1) GenPhySE, INRAE, 31320 Castanet-Tolosan, France

(2) NutriNeuro, INRAE, 33076 Bordeaux, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

helene.gilbert@inrae.fr

Avec la collaboration de Yvon BILLON et Stéphane FERCHAUD sur les élevages UE GenESI du Magneraud et de Rouillé qui ont coordonné l'acquisition des données

Les variations de rythmes alimentaires journaliers pourraient jouer un rôle dans la variabilité génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance

L'efficacité alimentaire est un levier de la durabilité des élevages. Chez le porc, différentes efficacités alimentaires ont été associées à des comportements alimentaires différents (temps d'ingestion). Chez l'homme et les rongeurs, il est essentiel d'aligner les prises alimentaires sur les cycles jour/nuit pour optimiser le métabolisme énergétique et la composition corporelle, piliers de l'efficacité alimentaire. Dans notre étude, les données temporelles de consommation alimentaire de 3 824 porcs de deux lignées divergentes pour la consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR) ont été enregistrées. Le rythme alimentaire était principalement réparti au cours de la journée avec deux pics. Des différences significatives de consommation sont identifiées entre lignées, les porcs de la lignée plus efficace mangeant proportionnellement plus pendant les pics ($> +80$ g/j, $P < 0,001$) et moins dans les intervalles entre pics (-128 g/j, $P < 0,001$) que les porcs de la lignée moins efficace. Ces caractères ont des héritabilités modérées ($> 0,30 \pm 0,04$) et présentent des corrélations génétiques significatives avec l'ingestion journalière et la CMJR. Les variants de séquence détectés chez les fondateurs des deux lignées ont ensuite été imputés à tous les porcs reproducteurs des lignées. Les évolutions de fréquences alléliques en réponse à la sélection ont été testées séparément dans chaque lignée pour les variants des dix gènes d'horloge principaux régulant le rythme circadien. Des évolutions significatives sont mises en évidence pour les gènes ARNTL et CLOCK dans la lignée moins efficace ($P < 0,05$ au niveau du génome). Ces résultats indiquent que la variabilité génétique de l'efficacité alimentaire chez les porcs pourrait être liée à des modifications de rythmes circadiens.

Changes in daily feeding rhythms could influence the genetics of feed efficiency in growing pigs

Feed efficiency is a driver for sustainable production. In pigs, contrasted feed efficiencies are associated with differences in feeding behaviour (feeding time). Studies in humans and rodents have shown that aligning feed intakes with day/night cycles is essential to optimise energy metabolism and body composition, which drive feed efficiency. In this study, temporal feed intake data for 3824 pigs from two divergent lines selected for residual feed intake (RFI) were recorded. Feeding rhythm was distributed mainly during the day with two peaks. Significant differences were observed between lines: pigs from the more efficient line ate more during the peaks ($> +80$ g/d, $P < 0.001$) and less between peaks (-128 g/d, $P < 0.001$) than those from the less efficient line. These traits had moderate heritability estimates ($> 0.30 \pm 0.04$) and significant genetic correlations with daily feed intake and RFI. The sequence variants detected in the founders of the two lines were imputed to all breeding pigs of the lines. Allele frequencies were calculated for the genomic variants segregating in the 10 core-clock genes regulating circadian rhythm. Changes in allele frequencies with selection were tested separately in the lines. Significant responses to selection were revealed in the ARNTL and CLOCK genes in the less efficient line ($P < 0.05$ genome-wide level). These results indicate that the genetics of feed efficiency in pigs could be related to changes in circadian rhythms.

INTRODUCTION

Les rythmes circadiens sont au cœur des régulations physiologiques des bactéries, des animaux et des humains, influençant le métabolisme, le comportement et l'ensemble des fonctions (Panda, 2016 ; Potter *et al.*, 2016). Par exemple, il a été montré que le métabolisme énergétique est plus efficace le matin que durant l'après-midi chez les animaux diurnes. Chez le porc, la perturbation des rythmes circadiens, naturelle ou imposée par des contraintes extérieures, affecte le métabolisme énergétique, les animaux à rythme perturbé ayant notamment une rétention accrue d'énergie sous forme de gras (van Erp *et al.*, 2020). Ces rythmes circadiens sont régulés par des horloges biologiques. L'horloge principale est localisée dans les noyaux suprachiasmatiques du cerveau. Elle est synchronisée par la lumière naturelle et régule les horloges biologiques de tous les autres organes, selon des oscillations moléculaires endogènes autonomes, déterminées par un ensemble limité de gènes appelés gènes de l'horloge (Takahashi *et al.*, 2008).

L'objectif de cette étude est d'évaluer si des variations naturelles du rythme circadien, identifiées à travers des variations du rythme alimentaire, sont associées chez le porc à des variations de l'efficacité alimentaire. Les études précédentes ont révélé des différences de métabolisme énergétique en fonction du potentiel génétique des porcs pour l'efficacité alimentaire, ainsi que des différences de fréquence de repas et de vitesse d'ingestion. Ainsi, dans deux lignées divergentes sélectionnées pour la consommation moyenne journalière résiduelle (CMJR), une mesure de l'efficacité alimentaire, les porcs avec une faible CMJR, c'est à dire les plus efficaces, mangeaient moins, étaient plus maigres, avaient un métabolisme énergétique plus oxydatif, et faisaient moins de repas dans la journée (Gilbert *et al.*, 2017). Dans la présente étude, les changements de rythmes alimentaires tout au long de la journée et de la nuit ont été évalués en réponse à la sélection pour la CMJR dans ces deux lignées divergentes, et les composantes de variance des caractéristiques du rythme alimentaire ont été estimées pour connaître leur lien avec l'efficacité alimentaire. Finalement, les évolutions au cours de la sélection des fréquences alléliques des gènes de l'horloge ont été testées dans ces lignées.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

Les données de 3 993 porcs des générations G0 (première génération de sélection) à G9 (dixième génération de sélection) de deux lignées divergentes pour la CMJR ont été utilisées. Ces lignées sont sélectionnées à INRAE depuis 1999 (Gilbert, 2015) dans l'élevage expérimental GenESI (Surgères, France, <https://doi.org/10.15454/1.5572415481185847E12>), comme décrit dans Gilbert *et al.* (2017). Les porcs étaient élevés dans des loges de 12 porcs, par sexe et lignée. Des mesures de performance ont été réalisées entre 10 semaines d'âge et l'abattage : pesées en début et fin de test, ingéré journalier grâce à un distributeur automatique de concentré (DAC ACEMA 64, ACEMO Skiold, Pontivy, France). Des épaisseurs de lard dorsal ont été mesurées par ultra-sons en fin de test en six points de part et d'autre de la colonne vertébrale, au niveau du cou, du dos et des reins, et la moyenne a été calculée (ELD).

Les porcs avaient un accès libre à l'eau et à un aliment granulé commercial de type croissance, contenant en moyenne 10 MJ d'énergie nette et 160 g de protéines par kg pendant le test. Le gain moyen quotidien (GMQ) et la consommation moyenne journalière (CMJ) pendant la croissance ont été calculés, ainsi que le poids métabolique moyen (PMM, Noblet *et al.*, 1999). La consommation moyenne journalière résiduelle a alors été estimée comme la résiduelle de la régression linéaire multiple de la CMJ sur le GMQ, le PMM et l'ELD. La CMJR est ainsi la différence entre l'ingéré mesuré et l'ingéré prédit pour les besoins de production et d'entretien des porcs : une CMJR négative correspond à des porcs qui ingèrent moins d'aliment que prédit, donc efficaces (lignée CMJR⁻), alors qu'une CMJR positive correspond à des porcs qui ingèrent plus que prédit, donc peu efficaces (lignée CMJR⁺). A chaque génération, 96 porcs mâles par lignée ont été mesurés pour la CMJR, et les six meilleurs de chaque lignée ont été retenus pour produire la génération suivante. Il n'y avait pas de pression de sélection sur la voie femelle ; environ 40 femelles étaient gardées par lignée et une cochette remplaçait sa mère.

1.2. Nettoyage des données et rythme alimentaire

Les données élémentaires considérées étaient les 7 066 642 visites aux DAC enregistrées sur les animaux. Préalablement à l'analyse, les visites sans ingestion ont été enlevées du jeu de données, ainsi que celles des porcs ayant moins de 65 jours d'enregistrement, conduisant à l'exploitation de 6 494 097 visites pour un total final de 3 824 porcs. A partir de ces données, pour décrire la distribution du rythme alimentaire sur une période de 24h, la quantité moyenne ingérée par heure a été calculée pour chaque porc, soit 24 caractères. De plus, les quantités moyennes ingérées durant la journée (de 6h à 21h) et durant la nuit (de 21h à 6h) ont été calculées. Finalement, constatant que le rythme alimentaire des porcs était distribué selon deux pics dans la journée, la moyenne des ingérés pendant le premier pic (6h-10h) et pendant le deuxième pic (15h-21h) a été calculée pour chaque porc, ainsi que la moyenne de l'ingéré entre les pics (10h-15h). Avant analyses statistiques, les données déviant de plus de 4 écarts-types par rapport à la moyenne de chaque caractère ont été éliminées.

1.3. Données moléculaires

Tous les reproducteurs des deux lignées ont été génotypés avec une puce contenant environ 60 000 marqueurs. En complément, les 20 animaux G0 ayant le plus contribué aux générations de sélection ont été séquencés à une profondeur moyenne de 25X (Illumina short-read WGS), et ces individus ainsi que 12 autres contributeurs majeurs de la G0, ont été génotypés à l'aide de la puce 650K (Affymetrix Axiom Porcine Array). Les séquences ont été analysées à l'aide du workflow nf-core/sarek afin d'aligner les séquences sur le génome porcine de référence (Sscrofa11.1) et de répertorier l'ensemble des variants. Au total 20 494 824 SNP ont été identifiés, puis filtrés. Afin d'obtenir des génotypes pour l'ensemble des individus à toutes ces positions, une imputation séquentielle a été réalisée (imputation de 650K marqueurs à partir des génotypes 60K, puis imputation de 15 847 620 SNP à partir des 650K génotypes imputés) à l'aide du logiciel Flimpute (Sargolzaei *et al.*, 2014). La qualité de l'imputation a été estimée à 0,94, par calcul de la corrélation entre vrais génotypes et génotypes imputés. Les génotypes des 6 556 SNP localisés dans les 10 gènes de l'horloge ont ensuite été extraits pour l'ensemble des reproducteurs des deux lignées.

1.4. Analyses statistiques

1.4.1. Différences de rythmes alimentaires entre lignées

Pour estimer l'effet de la sélection sur les caractéristiques du rythme alimentaire, des modèles linéaires ont été successivement appliqués (logiciel R, v3.6.2) à tous les caractères calculés. Dans un premier temps, les effets fixes de la bande intra génération, du sexe, de la lignée et de la loge ont été utilisés, ainsi que l'interaction lignée x génération. Ensuite, la CMJ a été ajoutée en covariable pour ajuster les caractères pour les différences d'ingéré entre animaux.

1.4.2. Estimation de paramètres génétiques pour les caractères

Des modèles linéaires mixtes univariés avec les effets fixes bande, sexe et loge, et l'effet génétique additif aléatoire, avec une distribution normale de moyenne nulle et de variance-covariance $A v_g$, où A est la matrice de parenté d'après le pedigree et v_g la variance génétique, ont été appliqués à tous les caractères pour estimer leurs composantes de variance. Des modèles bivariés ont ensuite été utilisés pour estimer leur corrélation génétique avec la CMJR. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel ASReml (Gilmour *et al.*, 1995)

1.4.3. Evolution des fréquences alléliques avec la sélection

Pour chacun des 6 556 SNP des gènes étudiés, les fréquences alléliques dans chaque lignée et génération ont été calculées à l'aide du logiciel PLINK (www.cog-genomics.org/plink/1.9/, (Chang *et al.*, 2015)). Intra-lignée, une régression du nombre de générations de sélection sur la fréquence de l'allèle mineur a ensuite été appliquée à chaque SNP pour détecter les changements significatifs de fréquence allélique au cours de la sélection (logiciel R, v3.6.2). Afin de tenir compte du fait que le génome contient plusieurs millions de SNP et que des tests multiples sont appliqués, un seuil de statistique de test a été calculé en ajustant pour le nombre de tests indépendants correspondant (Gao, 2011, package R SimpleM), conduisant à un seuil de 7,22 pour le $-\log_{10}$ de la p-valeur de chaque régression.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Ingéré moyen par heure

La distribution de l'ingéré moyen par heure dans la journée pour chaque lignée est représentée sur la figure 1, toutes générations confondues et pour la dernière génération. Le patron général de distribution des ingérés comporte deux pics d'ingestion dans la journée, autour de 8h du matin et de 18h, et un ingéré nocturne faible. Lors de l'analyse de toutes les générations confondues, des différences d'ingéré entre lignées sont détectées durant la nuit, entre 22h et 6h du matin ($P < 0,001$), et du 9h du matin à 16h ($P < 0,01$), la lignée CMJR⁻ consommant moins que la CMJR⁺. En revanche, les ingérés étaient similaires dans les deux lignées au milieu du premier pic, et la lignée CMJR⁻ ingérait plus de 17h à 20h ($P < 0,001$). En se concentrant sur la dernière génération de sélection, ces différences étaient plus prononcées numériquement, et la lignée CMJR⁻ ingérait aussi plus entre 7 et 9h le matin ($P < 0,01$).

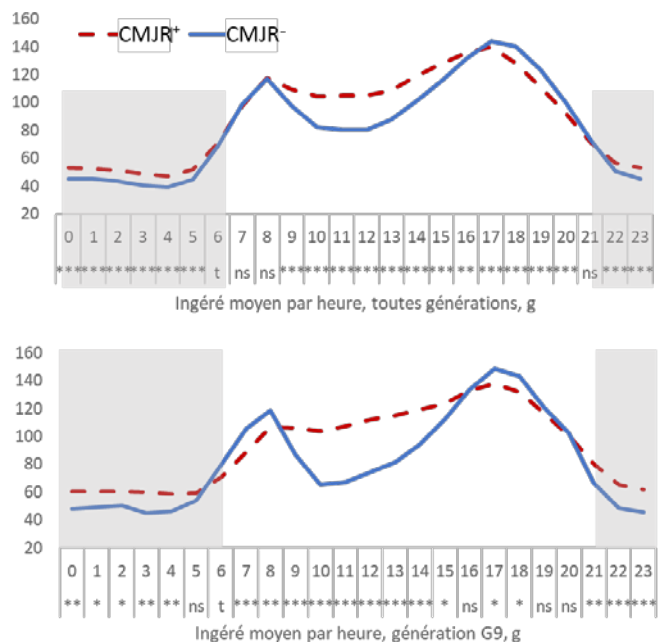


Figure 1 – Distribution de l'ingéré moyen par heure par lignée pour toutes les générations confondues (en haut) et pour la dernière génération de sélection (en bas).

Les niveaux de signification des différences entre lignées pour chaque heure sont indiqués sous l'axe des abscisses. $t = P < 0,10$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$.

2.2. Distribution de l'ingéré moyen diurne et nocturne

Le tableau 1 rapporte les estimations des moindres carrés pour chaque combinaison lignée x génération pour les ingérés diurnes et nocturnes, non ajustés ou ajustés de la CMJ. Pour les deux périodes, les modèles sans ajustement montrent des différences significatives d'ingéré à partir des générations G3 (période diurne) ou G4 (période nocturne), avec des ingérés moins élevés dans la lignée CMJR⁻. Cependant, après ajustement pour la CMJ, ces différences étaient réduites et non significatives jusqu'à la G6. Elles étaient significatives à partir de la génération G7, avec des ingérés plus élevés dans la lignée CMJR⁻ le jour, et réduits la nuit ($P < 0,01$) par rapport à l'autre lignée. Ces différences suggèrent que durant les premières générations de sélection, l'essentiel des différences d'ingéré jour/nuit entre lignées étaient liées aux différences de CMJ entre lignées, et que les différences de distribution de l'ingéré entre le jour et la nuit ont augmenté progressivement entre lignées, jusqu'à devenir significatives à partir de la génération G7, la lignée moins efficace ingérant proportionnellement un peu plus la nuit.

2.3. Distribution de l'ingéré moyen diurne

Le tableau 2 rapporte les estimations des moindres carrés pour chaque combinaison lignée x génération pour les ingérés durant les pics (6h-10h et 15h-21h) et entre les pics, non ajustés ou ajustés de la CMJ.

Tableau 1 – Ingéré moyen durant la journée et durant la nuit¹ pour chaque combinaison lignée (CMJR⁻ ou CMJR⁺) et génération (G0 à G9) (en g/période)

| JOUR | non ajusté | | | ajusté | | |
|------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | CMJR ⁻ | CMJR ⁺ | p ² | CMJR ⁻ | CMJR ⁺ | p ² |
| G0 | 1636 (77) | 1551 (77) | ns | 1636 (42) | 1672 (42) | ns |
| G1 | 1665 (16) | 1649 (16) | ns | 1665 (9) | 1645 (8) | t |
| G2 | 1560 (16) | 1597 (16) | ns | 1618 (9) | 1647 (9) | * |
| G3 | 1591 (16) | 1638 (17) | * | 1598 (9) | 1600 (9) | ns |
| G4 | 1546 (15) | 1611 (16) | ** | 1616 (8) | 1593 (9) | t |
| G5 | 1564 (15) | 1708 (16) | *** | 1621 (8) | 1618 (9) | ns |
| G6 | 1573 (10) | 1724 (11) | *** | 1626 (6) | 1632 (6) | ns |
| G7 | 1531 (11) | 1701 (12) | *** | 1634 (6) | 1610 (6) | ** |
| G8 | 1619 (15) | 1727 (17) | *** | 1622 (8) | 1543 (9) | *** |
| G9 | 1522 (17) | 1672 (17) | *** | 1587 (10) | 1549 (10) | ** |
| NUIT | | | | | | |
| G0 | 424 (48) | 345 (48) | ns | 424 (42) | 388 (42) | ns |
| G1 | 395 (10) | 417 (10) | ns | 395 (9) | 416 (8) | t |
| G2 | 421 (10) | 395 (10) | t | 442 (9) | 413 (9) | * |
| G3 | 460 (10) | 475 (10) | ns | 462 (9) | 461 (9) | ns |
| G4 | 419 (10) | 474 (10) | *** | 444 (8) | 468 (9) | t |
| G5 | 419 (9) | 475 (10) | *** | 439 (8) | 443 (9) | ns |
| G6 | 415 (6) | 461 (7) | *** | 434 (6) | 428 (6) | ns |
| G7 | 390 (7) | 483 (7) | *** | 427 (6) | 450 (6) | ** |
| G8 | 437 (9) | 584 (11) | *** | 438 (8) | 517 (9) | *** |
| G9 | 449 (11) | 556 (11) | *** | 473 (10) | 511 (10) | ** |

¹Nuit = 21h à 6h ; Moindres carrés de l'effet lignée x génération dans un modèle linéaire contenant (ajusté) ou non (non ajusté) l'ingéré moyen journalier en covariable, erreur standard entre parenthèses

²P = p valeur de la différence entre lignées pour chaque génération ; ns = non significatif ; t = P < 0,10 ; * = P < 0,05 ; ** = P < 0,01 ; *** = P < 0,001

Durant les pics 1 et 2, les modèles sans ajustement des valeurs pour l'ingéré journalier ne conduisent pas à des différences significatives marquées entre lignées. En revanche, l'ajustement pour la CMJ met en évidence, à partir de la génération G7 (pic 1) ou G2 (pic 2) des ingérés plus élevés dans la lignée CMJR⁻ pendant les pics, atteignant plus de 80 g/pic/jour.

Un schéma différent émerge de l'analyse de l'ingéré entre les pics : le modèle sans ajustement pour la CMJ permet de mettre en évidence des différences significatives entre lignées dès la génération G2, avec la lignée CMJR⁻ qui ingère moins entre les pics que la lignée CMJR⁺ (-185 g/jour). Après ajustement pour la CMJ, cette différence persiste (P < 0,001) à partir de la génération G5, atteignant -128 g/jour en G9.

Ces analyses suggèrent des évolutions différentes de distribution de l'ingéré dans la journée en réponse à la sélection pour la CMJR : les animaux de la lignée efficace (CMJR⁻) ont des ingérés nocturnes proportionnellement réduits (23% de leur ingéré total, contre 25% pour les porcs CMJR⁺), et durant la journée ils consomment essentiellement lors des pics d'ingestion (80% d'ingéré diurne pour les CMJR⁻ contre 71% pour les CMJR⁺), mais moins entre les pics. Ces différences sont associées à des différences de comportement général, les animaux CMJR⁻ ayant une vitesse d'ingestion plus élevée en moyenne, des nombres de repas plus faibles, et une activité réduite (Meunier-Salaün *et al.*, 2014).

2.4. Estimation des composantes de variance

Les caractères considérés étaient héréditaires : les estimations d'héritabilité variaient entre 0,29 (erreur standard 0,09) pour

Tableau 2 – Ingéré moyen durant le premier pic (6h-10h), le

deuxième pic (15h-21h) et entre les pics¹ pour chaque combinaison lignée (CMJR⁻ ou CMJR⁺) et génération (G0 à G9) (en g/période)

| Pic | non ajusté | | | ajusté | | |
|------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | CMJR ⁻ | CMJR ⁺ | p ² | CMJR ⁻ | CMJR ⁺ | p ² |
| Pic 1 | | | | | | |
| G0 | 429 (42) | 327 (42) | T | 429 (39) | 358 (39) | ns |
| G1 | 397 (9) | 395 (8) | Ns | 397 (8) | 394 (8) | ns |
| G2 | 397 (9) | 421 (9) | T | 411 (8) | 433 (8) | t |
| G3 | 368 (9) | 406 (9) | ** | 370 (8) | 396 (8) | * |
| G4 | 344 (8) | 381 (9) | ** | 361 (8) | 377 (8) | ns |
| G5 | 381 (8) | 385 (9) | Ns | 395 (8) | 362 (8) | ** |
| G6 | 375 (6) | 407 (6) | *** | 389 (5) | 384 (6) | ns |
| G7 | 394 (6) | 407 (6) | ns | 419 (6) | 384 (6) | **** |
| G8 | 434 (8) | 398 (9) | ** | 435 (8) | 352 (9) | **** |
| G9 | 392 (10) | 366 (9) | t | 408 (9) | 335 (9) | **** |
| Pic 2 | | | | | | |
| G0 | 734 (57) | 717 (57) | ns | 734 (48) | 774 (48) | ns |
| G1 | 890 (12) | 868 (11) | ns | 890 (10) | 865 (10) | t |
| G2 | 839 (12) | 794 (12) | ** | 866 (10) | 818 (10) | *** |
| G3 | 817 (12) | 792 (12) | ns | 821 (10) | 774 (10) | ** |
| G4 | 777 (11) | 777 (12) | ns | 810 (10) | 768 (10) | ** |
| G5 | 809 (11) | 823 (12) | ns | 836 (9) | 779 (10) | **** |
| G6 | 857 (8) | 820 (8) | ** | 882 (6) | 777 (7) | **** |
| G7 | 809 (8) | 803 (9) | ns | 858 (7) | 760 (7) | **** |
| G8 | 853 (11) | 814 (13) | * | 855 (9) | 726 (11) | **** |
| G9 | 821 (13) | 821 (13) | ns | 852 (11) | 763 (11) | **** |
| Entre pics | | | | | | |
| G0 | 531 (46) | 551 (46) | ns | 531 (42) | 587 (42) | ns |
| G1 | 458 (9) | 469 (9) | ns | 458 (9) | 467 (8) | ns |
| G2 | 413 (10) | 457 (10) | ** | 431 (9) | 473 (9) | *** |
| G3 | 489 (9) | 513 (10) | t | 491 (9) | 502 (9) | ns |
| G4 | 478 (9) | 517 (10) | ** | 499 (8) | 512 (9) | ns |
| G5 | 452 (9) | 570 (10) | **** | 470 (8) | 543 (9) | **** |
| G6 | 414 (6) | 568 (7) | **** | 430 (6) | 541 (6) | **** |
| G7 | 396 (7) | 560 (7) | **** | 427 (6) | 533 (6) | **** |
| G8 | 406 (9) | 585 (10) | **** | 407 (8) | 529 (9) | **** |
| G9 | 375 (10) | 560 (10) | **** | 394 (9) | 523 (9) | **** |

¹Moindres carrés de l'effet lignée x génération dans un modèle linéaire contenant (ajusté) ou non (non ajusté) l'ingéré moyen journalier en covariable, erreur standard entre parenthèses

²P = p valeur de la différence entre lignées pour chaque génération ; ns = non significatif ; t = P < 0,10 ; * = P < 0,05 ; ** = P < 0,01 ; *** = P < 0,001 ; **** = P < 0,0001

l'ingéré du pic 2 et 0,47 (0,05) pour l'ingéré diurne ajusté de la CMJ. Les corrélations génétiques avec la CMJR étaient faibles (< 0,24 (0,13)) sauf pour l'ingéré entre les pics ajusté de la CMJ (0,46 (0,09)). Les corrélations génétiques avec la CMJ étaient plus élevées, entre 0,33 (0,10) pour l'ingéré du pic 2 et 0,46 (0,09) pour l'ingéré entre les pics.

Finalement, l'ingéré de la nuit était corrélé négativement à celui de la journée (-0,35 (0,09)), et les ingérés durant les pics et entre les pics étaient corrélés faiblement et négativement sans ajustement pour la CMJ, et plus fortement avec ajustement (de -0,23 (0,10) pour les ingérés entre le pic 1 et la période entre pics à -0,46 (0,08) pour les ingérés entre le pic 2 et la période entre pics).

Ces caractères sont donc héréditaires, comme cela a été montré précédemment pour les caractéristiques du rythme circadien chez l'homme (Vitaterna *et al.*, 2019), et sont corrélés modérément à l'ingéré et à la CMJR.

2.5. Evolution des fréquences alléliques dans les gènes de

l'horloge

La figure 2 synthétise les résultats des régressions pour détecter les SNP qui présentent un changement de fréquence allélique durant la sélection. Dans la lignée CMJR⁻, aucun SNP n'est détecté comme ayant un changement de fréquence allélique significatif. Dans la lignée CMJR⁺, des SNP ont changé de fréquences alléliques dans les gènes *Anrtl* et *Clock* ($P < 0,05$ à l'échelle du génome).

Ces deux gènes codent pour des facteurs de transcription qui interagissent pour former un complexe qui initie l'ensemble des horloges moléculaires, via l'activation de la transcription des gènes *Per* et *Cry*. Ceux-ci s'hétérodimérisent à leur tour, puis interagissent avec le complexe CLOCK:ARNTL pour inhiber sa transcription. Durant la nuit, le complexe PER:CRY est

progressivement dégradé, et le complexe CLOCK:ARNTL reprend alors son activité de transcription. Ces régulations passent en particulier par des modifications de statut des histones qui rendent ou non disponibles la chromatine au niveau de ces gènes (Takahashi *et al.*, 2008).

Des mutations dans ces gènes ou dans leur régulation ont été rapportées dans d'autres espèces, entraînant par exemple des modifications du rythme du sommeil chez la souris (Naylor *et al.*, 2000 ; Laposky *et al.*, 2005) et chez l'homme (Mishima *et al.*, 2005), mais aussi des modifications de régulation du métabolisme énergétique (voir la revue de Potter *et al.* (2016)), du comportement (Lee *et al.*, 2001) et du rythme journalier de transcription du génome (Panda, 2016).

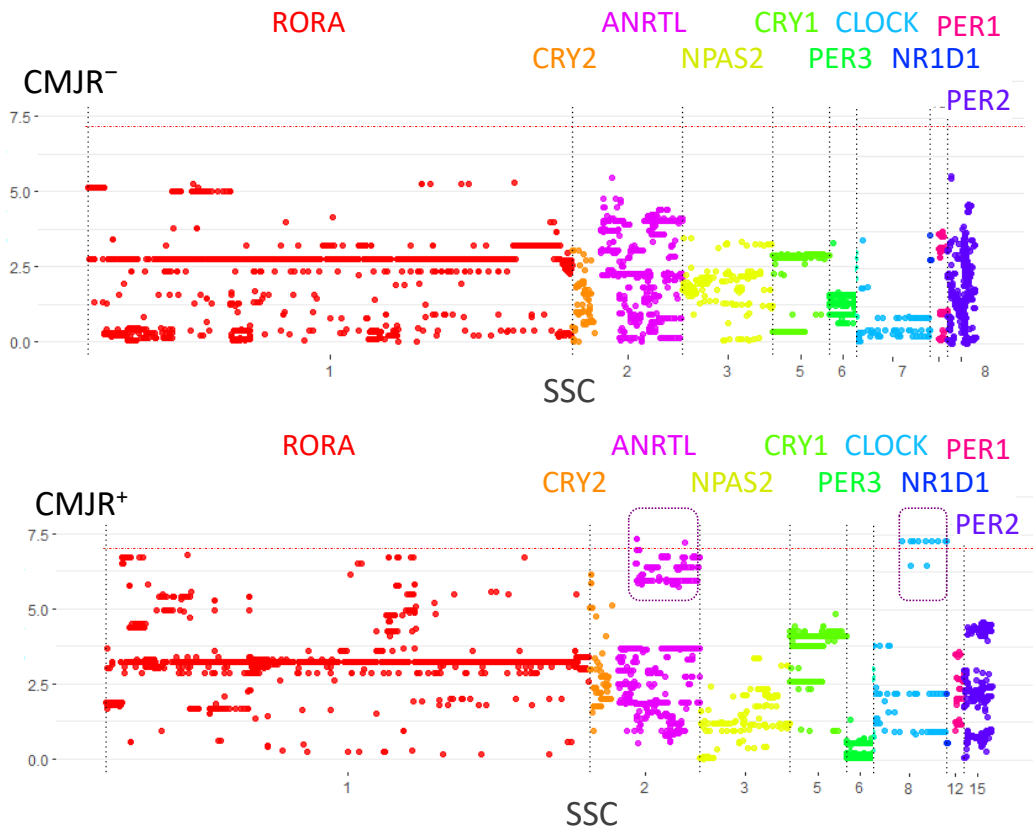


Figure 2 – $-\log_{10}(P \text{ valeur})$ de la régression du numéro de génération sur la fréquence allélique pour les 6556 SNP des gènes de l'horloge, dans la lignée CMJR⁻ (en haut) et CMJR⁺ (en bas). Chaque point représente un SNP, positionné selon sa position sur le gène, ordonnés selon le chromosome (SSC). La ligne pointillée rouge représente le seuil génomique ($-\log_{10}(P \text{ valeur}) = 7,22$). Les carrés pointillés soulignent les SNP significatifs.

2.6. Discussion générale

L'évolution de la distribution de l'ingestion alimentaire dans la journée en réponse à la sélection pour la CMJR, ainsi que les évolutions de fréquences alléliques dans les gènes de l'horloge, suggèrent que la sélection pour une meilleure efficacité alimentaire conduit à garder des animaux qui ont un rythme alimentaire très marqué, alors que la sélection pour une CMJR élevée conduit à garder des porcs dont le rythme alimentaire est perturbé ou plus lissé. Ces perturbations semblent liées à la sélection d'haplotypes particuliers dans les deux gènes *Anrtl* et *Clock*.

De façon notable, les modifications du métabolisme énergétique de porcs soumis à des rythmes alimentaires modifiés via une alimentation nocturne, par rapport à des porcs nourris durant la journée, ont conduit dans la littérature à des

modifications de métabolisme énergétique semblables à celles observées entre les lignées CMJR : les animaux à alimentation nocturne avaient en particulier un dépôt de gras accru après 7 jours de traitement (van Erp *et al.*, 2020). Il est donc possible que les différences de métabolisme énergétique rapportées dans des études précédentes entre ces lignées (Gilbert *et al.*, 2017) soient pour partie liées à leur différence de rythme alimentaire dans la journée, qui ont elles-aussi une base génétique.

Par ailleurs, les lignées diffèrent aussi pour leurs vitesses d'ingestion et leurs nombres de repas par jour, ce qui pourrait moduler le métabolisme énergétique (Quemeneur *et al.*, 2020).

Des études récentes ont aussi suggéré que les voies moléculaires impliquées dans la satiété diffèrent entre les lignées CMJR (Devailly *et al.*, 2022). Celles-ci peuvent être directement régulées par le rythme circadien, comme suggéré

chez l'homme pour le peptide insulinothéropé dépendant du glucose, le glucagon-like peptide-1 (Elliott *et al.*, 1993), et la gastrine (Iraki *et al.*, 1997).

Il est donc encore difficile avec les données actuelles de proposer un mécanisme qui clarifie les ressorts moléculaires des différences de rythmes alimentaires entre animaux divergents pour l'efficacité alimentaire.

Les prochaines études devront rechercher des variants génomiques candidats dans les haplotypes sélectionnés dans la lignée CMJR⁺, pour mieux décrire comment ils régulent l'ingestion des animaux et leur métabolisme énergétique.

Comprendre ces mécanismes et leurs implications permettrait de proposer des pistes pour ajuster le rythme de disponibilité de l'aliment en élevage de façon à optimiser leur métabolisme et leur efficacité alimentaire.

CONCLUSION

Cette étude a montré que la sélection sur l'efficacité alimentaire s'accompagne d'une modification des rythmes alimentaires. Elle suggère la sélection d'haplotypes spécifiques dans les deux gènes initiateurs des cycles circadiens. Ces rythmes alimentaires pourraient expliquer une partie du lien entre efficacité alimentaire et composition corporelle chez le porc en croissance, où les animaux plus efficaces ont tendance à être plus maigres. Des études complémentaires seront nécessaires pour décomposer plus finement les mécanismes moléculaires sous-jacents à cette relation. Cela pourrait conduire à proposer des stratégies nutritionnelles adaptées aux profils métaboliques recherchés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chang C.C., Chow C.C., Tellier L.C., Vattikuti S., Purcell S.M., Lee J.J., 2015. Second-generation PLINK: rising to the challenge of larger and richer datasets. *GigaScience*, 4, s13742-015-0047-8.
- Devailly G., Fève K., Saci S., Sarry J., Valière S., Lluch J., Bouchez O., Ravon L., Billon Y., Gilbert H., Beaumont M., Demars J., 2022. Stronger transcriptomic response to feed intake in the duodenum of pig with high feed efficiency from a divergent selection experiment. *bioRxiv*, 2022.11.03.515018.
- Elliott R.M., Morgan L.M., Tredger J.A., Deacon S., Wright J., Marks V., 1993. Glucagon-like peptide-1 (7-36)amide and glucose-dependent insulinotropic polypeptide secretion in response to nutrient ingestion in man: acute post-prandial and 24-h secretion patterns. *J. Endocrinol.*, 138, 159-166.
- Gao X., 2011. Multiple testing corrections for imputed SNPs. *Genet. Epidemiol.* 35, 154-158.
- Gilbert H., Billon Y., Brossard L., Faure J., Gatellier P., Gondret F., Labussière E., Lebreton B., Lefaucheur L., Le Floch N., Louveau I., Merlot E., Meunier-Salaün M.-C., Montagne L., Mormede P., Renaudeau D., Riquet J., Rogel-Gaillard C., van Milgen J., Vincent A., Noblet J., 2017. Review: divergent selection for residual feed intake in the growing pig. *Animal*, 11, 1427-1439.
- Gilbert H., 2015. Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance : opportunités et challenges. *Journées Rech. Porcine*, 47, 19-30.
- Gilmour A.R., Thompson R., Cullis B.R., 1995. Average Information REML: An efficient algorithm for variance parameter estimation in linear mixed models. *Biometrics*, 51, 1440-1450.
- Iraki L., Bogdan A., Hakkou F., Amrani N., Abkari A., Touitou Y., 1997. Ramadan diet restrictions modify the circadian time structure in humans. A study on plasma gastrin, insulin, glucose, and calcium and on gastric pH. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 82, 1261-1273.
- Laposky A., Easton A., Dugovic C., Walisser J., Bradfield C., Turek F., 2005. Deletion of the mammalian circadian clock gene *BMAL1/Mop3* alters baseline sleep architecture and the response to sleep deprivation. *Sleep*, 28, 395-409.
- Lee C., Etchegaray J.P., Cagampang F.R., Loudon A.S., Reppert S.M., 2001. Posttranslational mechanisms regulate the mammalian circadian clock. *Cell*, 107, 855-867.
- Meunier-Salaün M.C., Guérin C., Billon Y., Sellier P., Noblet J., Gilbert H., 2014. Divergent selection for residual feed intake in group-housed growing pigs: characteristics of physical and behavioural activity according to line and sex. *Animal*, 8, 1898-1906.
- Mishima K., Tozawa T., Satoh K., Saitoh H., Mishima Y., 2005. The 3111T/C polymorphism of *hClock* is associated with evening preference and delayed sleep timing in a Japanese population sample. *Am. J. Med. Genet. B. Neuropsychiatr. Genet.*, 133B, 101-104.
- Naylor E., Bergmann B.M., Krauski K., Zee P.C., Takahashi J.S., Vitaterna M.H., Turek F.W., 2000. The circadian clock mutation alters sleep homeostasis in the mouse. *J. Neurosci.*, 20, 8138-8143.
- Noblet J., Karege C., Dubois S., van Milgen J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.* 77, 1208-1216.
- Panda S., 2016. Circadian physiology of metabolism. *Science*, 354, 1008-1015.
- Potter G.D.M., Skene D.J., Arendt J., Cade J.E., Grant P.J., Hardie L.J., 2016. Circadian rhythm and sleep disruption: causes, metabolic consequences, and countermeasures. *Endocr. Rev.*, 37, 584-608.
- Quemener K., Montagne L., Le Gall M., Lechevestrier Y., Labussière E., 2020. Relation between feeding behaviour and energy metabolism in pigs fed diets enriched in dietary fibre and wheat aleurone. *Animal*, 14, 508-519.
- R Core Team, 2022. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Sargolzaei M., Chesnais J.P., Schenkel F.S., 2014. A new approach for efficient genotype imputation using information from relatives. *BMC Genomics*, 15, 478.
- Takahashi J.S., Hong H.-K., Ko C.H., McDearmon E.L., 2008. The genetics of mammalian circadian order and disorder: implications for physiology and disease. *Nat. Rev. Genet.*, 9, 764-775.
- van Erp R.J.J., de Vries S., van Kempen T.A.T.G., Den Hartog L.A., Gerrits W.J.J., 2020. Circadian misalignment imposed by nocturnal feeding tends to increase fat deposition in pigs. *Br. J. Nutr.*, 123, 529-536.
- Vitaterna M.H., Shimomura K., Jiang P., 2019. Genetics of circadian rhythms. *Neurol. Clin.*, 37, 487-504.

Développement d'un traitement automatisé des images afin d'estimer le taux de gras intramusculaire chez le porc

Kambiz KASHEFIFARD (1), Guillaume LENOIR (1), Clément RIBAS (1, 2), Loïc FLATRES-GRALL (1)

(1) Axiom, 37310 Azay-sur-Indre, France

(2) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

kkashefifard@axiom-genetics.com

Development of an automatic method to estimate the intramuscular fat content of fattening pigs

Selection for increasing the intramuscular fat content (IMF) of pigs is a mechanism to improve the organoleptic quality of pork. In vivo estimation of IMF is based on ultrasound images recorded on the loin. Historically, the IMF of these images was estimated manually by a technician using the BioSoft Toolbox for Swine (GIMr) (Biotronics, Inc.). The disadvantage of this method is that the time between the ultrasound measurement and receipt of the estimated IMF takes several days, making it impossible to use the phenotype directly when selecting pigs. To overcome this situation, an automatic method was developed. The objective of this project was to evaluate this method developed to automate image processing to estimate IMF (GIMa). A dataset based on images collected for 1957 Duroc pigs and collected from 2021-2023 was used. The first step of this method consists of automatically delineating the area of interest using a Canny filter. Then, a linear regression model that includes several variables is used to estimate the GIMa. The automated method made it possible to estimate IMF for all pigs in the dataset, whereas the reference method could estimate IMF for only 73.5 % of the pigs. The correlation coefficient between GIMr and GIMa was 0.78, and the rank correlation of pigs between GIMr and GIMa was 0.89. This study thus confirmed the benefit of the automated method, which reduced image-processing time.

INTRODUCTION

L'augmentation du taux de gras intramusculaire (GIM) de la viande de porc est un levier permettant d'améliorer ses qualités organoleptiques et de répondre aux attentes du marché (Gaudré *et al.*, 2018). Le phénotypage du GIM est réalisé lors du contrôle en ferme par l'enregistrement, à l'aide d'un échographe, de plusieurs images au niveau de la longe. Historiquement, ces images sont analysées à l'aide du logiciel Biosoft Swine Toolbox (Iowa, USA) et interprétées manuellement par un prestataire extérieur afin d'estimer la valeur de GIM de référence (GIMr) de chaque individu (Maignel *et al.*, 2009). Une méthode de traitement de ces images a été développée en 2021 afin d'estimer le GIM de manière automatisée (GIMa ; Flatrés-Grall *et al.*, 2022). L'objectif de ce projet est de valider, après deux années d'utilisation, cette méthode automatisée comparativement à la méthode de référence (GIMr).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Les données et les méthodes de traitement des images

Les prises d'images ont été réalisées entre 2021 et 2023 sur 1957 porcs mâles et femelles de race Duroc lors du contrôle en ferme à environ 100 kg de poids vif. Ces animaux ont été élevés dans deux élevages différents et sont issus de 35 bandes de contrôle. Dans le premier élevage (A), les images issues des cinq premières bandes ont été enregistrées, soit 232 mâles et 431 femelles Duroc. Par la suite, les mesures ont été réalisées dans un second élevage (B) uniquement sur des mâles Duroc (1294

individus). Sur chaque animal, entre six et 10 images ont été enregistrées entre les 10^{ème} et 11^{ème} vertèbres dorsales à l'aide d'un échographe Exago (IMV Imaging, France ; Figure 1.a). Le calcul du GIMr est réalisé chez un prestataire par un opérateur choisissant manuellement une zone de 1 cm² positionnée sur chacune des images selon le protocole proposé par Maignel *et al.* (2009). La valeur de GIMr de chacun des individus est estimée en calculant la moyenne de ses différentes images. En 2021, un outil basé sur une méthode dite d'intelligence artificielle a été mis en place pour traiter ces images de manière automatisée (Flatrés-Grall *et al.*, 2022).

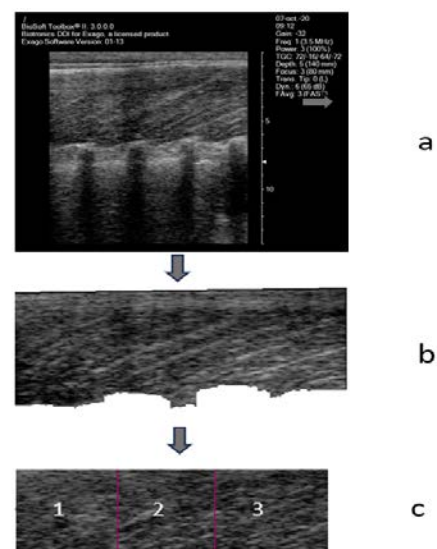


Figure 1 – Les étapes du traitement de l'image : a. Image prise par échographe ; b. Extraction de la zone musculaire ; c. La zone glissée est subdivisée en trois parties

Dans un premier temps, l'outil délimite et extrait la zone musculaire, entre la peau et les côtes. Ensuite, les parties hautes et basses de cette zone sont découpées par une ligne droite afin d'obtenir un rectangle (Figure 1b). Cette zone est partagée en trois carrés donnant une surface comparable à celle analysée dans la méthode de référence. Sur chaque image, 10 variables sont calculées à l'aide de la puissance spectrale de la transformée de Fourier (Izquierdo, 1996) et de la co-occurrence des niveaux de gris (Haralick *et al.*, 1973) et sont ensuite utilisées dans un modèle linéaire. Ce modèle de régression linéaire permet d'estimer le GIMa. Lors du développement de la méthode, le coefficient de corrélation de Pearson entre GIMr et GIMa était de 0,83 (Fatrès-Grall *et al.*, 2022).

1.2. Comparaison entre les variables GIMr et GIMa

Les images issues des animaux contrôlés entre 2021 et 2023 ont été traitées à la fois à l'aide de la méthode de référence (GIMr) et de la méthode automatisée (GIMa). La valeur de GIMr ou de GIMa peut ne pas être estimée si l'opérateur estime la qualité des images insatisfaisante ou si l'outil de traitement automatisé rejette toutes les images. Dans un premier temps, le nombre d'animaux ayant des valeurs estimées pour GIMr et GIMa a été comparé. Ensuite, à partir des individus bénéficiant à la fois d'une donnée de GIMr et de GIMa, une comparaison des deux méthodes a été réalisée. A l'aide du logiciel R, le coefficient de corrélation de Pearson entre les valeurs de GIM estimées à l'aide des deux méthodes a été calculé sur l'ensemble du jeu de données, ainsi qu'à l'échelle de chaque bande. Le coefficient de corrélation de Spearman basé sur le classement des individus intra bande pour chaque valeur de GIM a été calculé.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 1 – Nombre total d'animaux par élevage et par sexe

| | Sexe | GIMr | GIMa |
|-----------|------|------|------|
| Elevage A | F | 328 | 431 |
| Elevage A | M | 170 | 232 |
| Elevage B | M | 941 | 1294 |
| Total | | 1439 | 1957 |

Une valeur de GIMa a été estimée pour chacun des 1957 animaux du jeu de données (Tableau 1). La valeur de GIMr a pu être calculée pour seulement 1439 animaux du jeu de données, soit 73,5 % des animaux du jeu de données. La méthode automatisée attribue une valeur de GIM à 518 animaux de plus que la méthode manuelle. La comparaison montre que la méthode de traitement automatisée (GIMa) rejette moins d'images que la méthode manuelle (GIMr). Ce nombre

supérieur d'animaux disposant d'une valeur de GIM par la méthode automatisée s'observe dans toutes les bandes de contrôle (Figure 2).

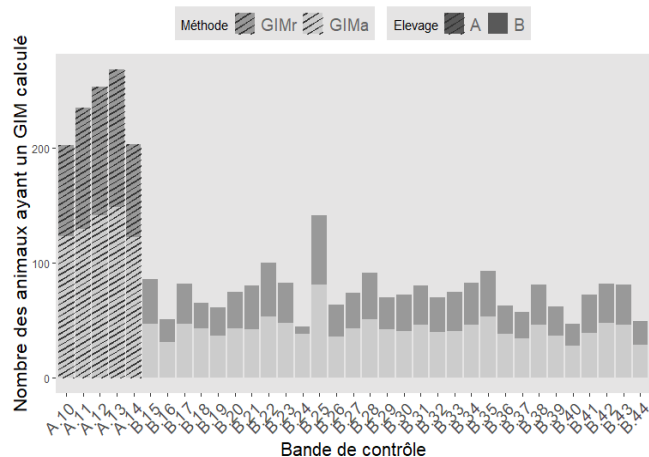


Figure 2 – Nombre d'animaux par élevage disposant d'une valeur de GIMr et de GIMa par bande de contrôle

Le coefficient de corrélation entre les valeurs GIMr et GIMa est de 0,78, soit une valeur légèrement inférieure à celle estimée par Fatrès-Grall *et al.* (2022). La fiabilité d'estimation de la méthode automatisée par rapport à la méthode de référence semble relativement stable deux années après son développement. La corrélation entre les valeurs a également été calculée pour chaque bande de contrôle. Sur les 35 bandes, le coefficient de corrélation le plus faible est de 0,57 et le plus élevé de 0,93. La sélection génétique est fondée sur le classement d'un individu dans une population donnée. Le classement d'un animal au sein d'une bande de contrôle a été calculé pour tous les animaux ayant les deux valeurs GIM. Un coefficient de corrélation de 0,89 entre les rangs obtenus montre que les deux méthodes permettent d'attribuer un rang proche aux animaux.

CONCLUSION

La corrélation entre les résultats obtenus par chacune des deux méthodes comparées montre que la méthode de traitement automatisé de l'image apporte a minima les mêmes informations pour l'évaluation génétique. Dans un certain nombre de cas, la méthode automatisée permet d'obtenir une valeur pour un plus grand nombre d'animaux. Elle permet un gain de temps par rapport à la période qui s'écoule entre l'envoi des images et le retour des résultats pour la méthode de référence. Son utilisation en routine dans un schéma de sélection donne la possibilité de sélectionner les animaux sur la valeur de leur GIM calculée et non plus uniquement sur les informations issues de leurs ascendants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fatrès-Grall L., Ribas C., Kashefifard K., Herbert C., Lenoir G., 2022. Development of an automatic method to estimate IMF for fattening pigs in breeding program. Conference "WCGALP", Rotterdam, Pays-Bas, 3327-3330.
- Gaudré D., Chevillon P., Loyatho L., Le Rossignol B., 2018. Production de viande persillée à partir de porcs Duroc sélectionnés. Journées Rech. Porcine, 50, 95-96.
- Haralick R. M., Shanmugan K., Dinstein I., 1973. Textural features for image classification. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 3, 610-621.
- Izquierdo C., 1996. The use of real-time ultrasound to predict genetic attributes of body composition traits in live beef cattle. Ph. D. dissertation. Iowa State Univ., Ames.
- Maignel L., Daigle J-P., Sullivan B., 2009. Utilisation de la technologie ultrasons pour la prédiction in vivo du pourcentage de gras intramusculaire de la longe et perspectives d'utilisation en amélioration génétique porcine. Journées Rech. Porcine, 41, 13-18.



Étude d'association génomique (GWAS) de caractères de croissance, carcasse et qualité de la viande dans une population Duroc française en sélection

Aurélien LE DREAU, Carolina GARCIA-BACCINO, Bruno LIGONESCHE

NUCLEUS SAS, 7 Rue des Orchidées, 35650 Le Rheu, France

a.ledreau@nucleus-sa.com

Genome-Wide Association Study (GWAS) of growth, carcass, and meat quality traits in a French Duroc population under selection

Some complex traits such as growth, carcass composition, and meat quality have a significant economic impact in the pig industry, which has generated interest in increasing understanding of the genetic determinism of these traits. The objective of this study was to investigate the genetic determinism of several economically important traits in a selected French Duroc population. A GWAS was conducted with 927 genotyped animals from 156 different sires to maximise genetic diversity. Sixteen traits were analysed, including three growth traits, seven carcass traits, and six meat quality traits. In total, 330 SNP-trait associations were identified, grouped into 112 regions across all traits. In several cases, multiple significant SNPs were found in the same region, and there were shared regions associated with multiple traits. Some of these regions had previously been reported for other populations. We also detected regions associated with the studied traits that had not been reported for Duroc before. The results of this study contribute to deeper understanding of the genetic determinism of growth, carcass composition, and meat quality traits in the studied population, which would later allow these traits to be included as selection criteria.

INTRODUCTION

Certains caractères de croissance, de composition de carcasse et de qualité de la viande ont un impact économique significatif dans la filière porcine. Cela suscite un intérêt important pour mieux comprendre le déterminisme génétique de ces caractères. Les études d'association génomiques (GWAS) ont permis de révéler des loci de caractères quantitatifs (QTL) pour divers caractères d'intérêt dans différentes populations des porcs (Sanchez *et al.*, 2014). L'objectif de ce travail est d'étudier le déterminisme génétique de caractères d'importance économique tels que la croissance, la carcasse et la qualité de la viande sur une population Duroc français en sélection. Ce travail est la suite d'une étude réalisée en 2021 avec un nombre limité d'animaux Duroc. Dans cette étude, nous avons cherché à doubler le nombre d'animaux avec génotypes et phénotypes dans le but d'augmenter la puissance de l'analyse et détecter un plus grand nombre d'associations potentielles.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux, phénotypes et génotypes

Nous disposons d'un total de 927 animaux issus de 156 pères différents, afin de maximiser la diversité génétique. Dans le cadre de cette étude, nous avons mesuré les performances des animaux pour un total de 16 caractères. Trois de ces caractères concernaient la croissance: gain moyen quotidien (GMQ) naissance-sevrage, GMQ sevrage-contrôle de

performances (soit du sevrage jusqu'à 145 jours d'âge) et l'âge à 100 kg (A100). Sept des 16 caractères concernaient la composition de la carcasse : le taux de muscle des pièces (TMP) et ses quatre composantes, les épaisseurs de gras G3 et G4 et de muscle M3 et M4, l'épaisseur de la noix de côtelette (X5100) et l'épaisseur de lard (L100), tous deux standardisés pour un poids de 100 kg. Enfin, les six derniers caractères concernaient la qualité de la viande : le taux d'exsudat, le gras intramusculaire (GIM) et les pH mesurés à 6 h et 24 h sur le jambon et la longe (pH6J, pH6L, pH24J et pH24L). Les moyennes et écart-types pour les 16 caractères étudiés sont présentés dans le tableau 1. Les animaux ont été génotypés par le laboratoire Labogena via la puce Illumina PorcineSNP60. Le contrôle qualité et l'édition des données génomiques ont été réalisés avec le logiciel PLINK (Purcell *et al.*, 2007). Nous avons considéré uniquement les marqueurs présents sur les autosomes. Les SNP génotypés pour moins de 95% d'individus, avec une MAF (Minimum Allele frequency) < 5% et ne respectant pas l'équilibre d'Hardy-Weinberg ont été exclus de l'analyse. Les animaux ayant moins de 90% de SNP génotypés ont été éliminés. Ce sont donc 42 024 SNP et 921 animaux qui ont été conservés pour l'analyse.

1.2. Analyses d'association

Chaque caractère a été ajusté pour les effets d'environnement par un modèle linéaire spécifique (Tableau 1). Les résidus des modèles ont ensuite été utilisés pour l'analyse d'association. Les associations entre chaque SNP et les caractères d'intérêt ont été étudiés avec des modèles linéaires mixtes univariés à l'aide du logiciel GEMMA (Zhou et Stephens, 2012).

Tableau 1 - Modèles d'analyse, moyennes et écart-types des caractères étudiées

| Caractères | | Modèle | Moyenne (écart-type) |
|-------------------------|------------------------------------|--|--|
| Qualité de la viande | pH6L - pH6J - pH24L - pH24J | $y = \text{sexe} + \text{date tuerie} $ | 6,33 (0,26); 6,09 (0,25); 5,79 (0,20); 5,74 (0,19) |
| | GIM, (%) | $y = \text{sexe} + \text{poids contrôle} + \text{technicien/bande}$ | 2,27 (0,86) |
| | Taux d'exsudat, (%) | $y = \text{bande} + \text{poids échantillon} + \text{date tuerie} $ | 0,03 (0,02) |
| Composition de carcasse | TMP, (%) - G3 - M3 - G4 - M4, (mm) | $y = \text{sexe} + \text{bande} + \text{poids chaud}$ | 59,85 (2,27); 15,06 (3,92); 74,32 (6,86); 24,59 (3,89); 57,49 (5,54) |
| | L100 - X5100, (mm) | $y = \text{sexe} + \text{bande}$ | 11,03 (1,73); 59,68 (8,45) |
| Croissance | A100, (j) | $y = \text{sexe} + \text{bande}$ | 140,60 (9,90) |
| | GMQ naissance-sevrage, (g/j) | $y = \text{bande} + \text{poids naissance}$ | 0,25 (0,06) |
| | GMQ sevrage-contrôle, (g/j) | $y = \text{sexe} + \text{bande} + \text{poids sevrage}$ | 0,81 (0,08) |

Note : [...], effet aléatoire

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les SNPs avec une p-value inférieure à $5 \cdot 10^{-4}$ ont été considérés significatifs, comme proposé par Sanchez *et al.*, (2014). Nous avons gagné en puissance par rapport à l'étude de Tosser *et al.* (2021) grâce à l'augmentation des effectifs, ce qui a permis de détecter 330 associations SNP-caractère. Dans plusieurs cas, divers SNPs appartiennent à la même région et il existe des régions partagées pour plusieurs caractères. C'est le cas, d'une région de 0,75 Mb sur SSC15 qui compte 26 SNP associés à l'exsudat, le pH24J et le pH24L.

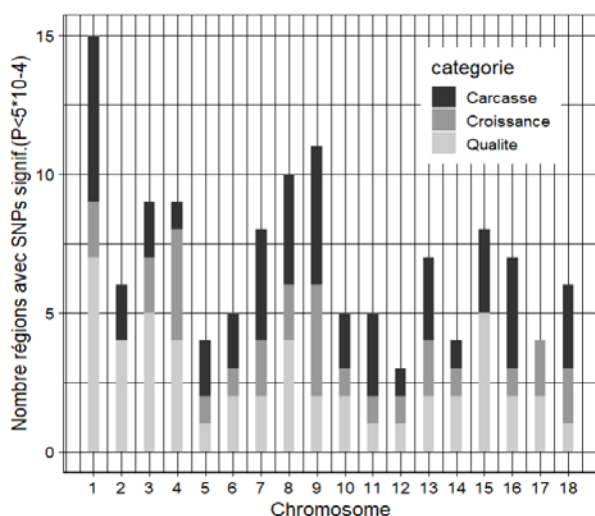


Figure 1 - Distribution des régions d'intérêt par chromosome

Nous avons ensuite défini des régions d'intérêt en considérant des segments de 1 Mb centrés autour de chaque

SNP, comme proposé par Zhang *et al.* (2016). Nous avons obtenu 112 régions distribuées à travers tout le génome (Figure 1). Ces régions ont ensuite fait l'objet d'études plus approfondies. Les résultats ont été comparés avec les régions rapportées dans la littérature et des gènes dans ces régions ont été identifiés. Parmi les gènes identifiés, nous pouvons notamment citer le gène AAC3 sur le SSC14 dans une des régions liées à l'A100 et le gène SH3GL2 sur le SSC1 lié au TMP, qui sont potentiellement liés à l'obésité (Kogelman *et al.*, 2014). Plusieurs régions identifiées dans cette étude ont été également mises en évidence dans une population Large White française ; à savoir : sur le SSC1 pour l'exsudat et pH, sur le SSC3 pour le GMQ, sur le SSC7 et SSC16 pour le TMP et sur le SSC14 pour le L100 (Sanchez *et al.*, 2014). Dans la région du SSC15 liée à la qualité de la viande, Zhuang *et al.* (2022) ont signalé la présence du gène TNS1, liée au développement musculaire (Zhuang *et al.*, 2022).

CONCLUSION

Nous avons mis en évidence des régions génomiques associées à la croissance, la composition de carcasse et la qualité de la viande dans une population Duroc française en sélection. Certaines régions identifiées correspondent à des segments déjà rapportés dans d'autres populations et nous avons identifié d'autres régions jamais mises en évidence dans les populations Duroc.

Nos résultats contribuent à mieux comprendre le déterminisme génétique de ces caractères, et pourraient à l'avenir être pris en compte en sélection.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kogelman L.J.A , Pant S.D., Fredholm M., Kadarmideen H.N. 2014. Systems genetics of obesity in an F2 pig model by genome-wide association, genetic network, and pathway analyses. *Front. Genet.*, 5, 214.
- Purcell S., Neale B., Todd-Brown K., Thomas L., Ferreira M. A. R., Bender D., Maller J., Sklar P., de Bakker P. I. W., Daly M. J., PSham. C., 2007. PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *American journal of human genetics*, 81, 559-575.
- Sanchez M.-P., Tribout T., Iannuccelli N. , Bouffaud M., Servin B., Tenghe A., Dehais P., Muller N., Pilar Del Schneider M., Mercat M.-J., Rogel-Gaillard C., Milan D., Bidanel J.-P., Gilbert H., 2014. A genome-wide association study of production traits in a commercial population of Large White pigs: evidence of haplotypes affecting meat quality. *Genet. Sel. Evol.*, 46, 12
- Tosser É, Ganteil A., Le Dreau A., Ligonesche B., 2021. Analyse d'association tout génome de phénotypes liés à la croissance et à la qualité de viande dans une population Duroc en sélection. *J. Rech. Porc.*, 53, 57-58.
- Zhang W., Yang B., Zhang J., Cui L., Ma J., Chen C., Ai H., Xiao H., Ren J., Huang L., 2016. Genome-wide association studies for fatty acid metabolic traits in five divergent pig populations. *Sci. Rep.*, 6, 24718.
- Zhou X., Stephens, M., 2012. Genome-wide efficient mixed-model analysis for association studies. *Nat. Genet.*, 44, 821-824.
- Zhuang Z., Wu J., Xu C., Ruan D., Qiu Y., Zhou S., Ding R., Quan J., Yang M., Zheng E., Wu Z., Yang J., 2022. The genetic architecture of meat quality traits in a crossbred commercial pig population. *Foods*, 11 (19), 3143.



Potentiel d'amélioration de l'efficacité digestive dans les trois grandes races porcines françaises

Céline CARILLIER-JACQUIN (1), Sonja ALLEN (1), Philippe GANIER (2), Joël BIDANEL (3), Claire HASSENFRAZ (4), Benoît BLANCHET (5), Vanille DÉRU (1), Hélène GILBERT (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, 31320, Castanet-Tolosan, France

(2) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

(3) France Génétique Porc, 35651 Le Rheu Cedex, France

(4) IFIP-Institut du Porc, 35651 Le Rheu Cedex, France

(5) UE3P, INRAE, Domaine de la prise, 35590 Saint-Gilles, France

celine.carillier-jacquin@inrae.fr

Potential for improving the digestive efficiency of the three major French pig breeds

Digestive efficiency of energy, organic matter and nitrogen, predicted by near-infrared spectrometry (NIRS), is a new indicator of interest for pig breeding schemes, making it possible to target the digestive component of feed efficiency. The objective of this study was to estimate genetic parameters of digestive efficiency coefficients (DC) for the three pig breeds that contribute the most to the terminal cross-bred pigs produced in France: Large White and Landrace for the dam lines, and Piétrain for the sire line. A simplified method was developed for on-farm use. Faecal samples were collected at 21 weeks of age at INRAE's Le Rheu testing station, frozen on site, and DCs for organic matter, energy, and nitrogen were predicted using a portable NIRS device immediately after defrosting. Genetic parameters (i.e. genetic variance, phenotypic variance and heritability) of DCs, as well as their genetic correlations with usual production traits (i.e. feed intake, growth rate, and backfat thickness) were estimated. The heritability of DCs were moderate in all three breeds (0.16 ± 0.16 to 0.26 ± 0.11), which is consistent with estimates reported in the literature using sample drying and a laboratory NIRS, which predicts using a wider range of wavelengths. The trends in genetic correlations with production traits were similar in the three breeds: favourable with feed intake, unfavourable with growth rate, and close to zero with carcass-composition traits (i.e. backfat thickness).

INTRODUCTION

L'efficacité alimentaire est un caractère d'intérêt majeur pour limiter les impacts environnementaux et l'importance du coût de l'aliment dans le coût de production (Gilbert *et al.*, 2017). Des développements méthodologiques récents à l'aide de spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) ont rendu la mesure de l'efficacité digestive, composante de l'efficacité alimentaire, accessible pour un plus grand nombre d'animaux dans des conditions d'élevage. Les mesures étaient auparavant faites en cages de digestibilité sur de petits lots, après dessiccation des échantillons. Grâce à des prédictions de digestibilité faites à partir de fèces prélevées à 16 semaines d'âge, une variabilité génétique suffisante pour envisager une sélection a été rapportée en race Large White (Déru *et al.*, 2021). Des études montrent une variabilité de la digestibilité selon la race (Carmelo *et al.*, 2020), mais cette variabilité n'a pas encore été étudiée en Landrace et Piétrain. L'objectif de cette étude était d'estimer les paramètres génétiques de l'efficacité digestive estimé à partir de prélèvements à 21 semaines d'âge, ainsi que ses corrélations génétiques avec certains caractères de production en race Large White, Landrace et Piétrain. Matériel et méthodes

1.1. Données

A la station de phénotypage INRAE-France Génétique Porc du Rheu (UE3P, INRAE, 2018. Unité expérimentale Porcs Rennes, France, <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>), 629 porcs Large White et 514 porcs Landrace, mâles entiers, ainsi que 558 femelles Piétrain, ont été nourris avec un aliment conventionnel (9,6 MJ énergie nette /kg et 10,5g/kg de lysine digestible en phase de croissance). Les coefficients d'utilisation digestive (CUD) individuels de l'énergie, de la matière organique et de l'azote ont été prédits à partir des données spectrales obtenues par SPIR à partir d'échantillons congelés de fèces prélevés à 21 semaines d'âge.

La méthodologie utilisée précédemment (Déru *et al.*, 2021) a évolué pour utiliser des échantillons juste décongelés et un appareil SPIR portable (Flame-Nir, Ocean Optics) à plus faible gamme de longueurs d'ondes que l'appareil de laboratoire précédemment utilisé, afin de produire des prédictions directement en élevage. Les caractères de production retenus dans cette étude étaient le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) entre 35 et 115 kg, et l'épaisseur de lard dorsal à 100 kg (ELD), mesurés sur l'ensemble des apparentés des porcs avec CUD ($n > 2000/\text{race}$).

1.2. Estimation des paramètres génétiques

Les CUD ont été analysés à l'aide de modèles linéaires mixtes prenant en compte les effets fixes de la bande et du génotype halothane pour les animaux Piétrain, et l'effet effet aléatoire de l'animal. Des modèles bicaractères combinant les CUD et les

caractères de production ont été utilisés, afin d'estimer les corrélations génétiques entre les caractères. La matrice de parenté prenait en compte le pédigrée sur dix générations. Les composantes de variance et leurs erreurs standards ont été estimées par la méthode du maximum de vraisemblance restreinte à l'aide du logiciel blupf90+ (Misztal *et al.*, 2020).

Tableau 1 – Héritabilités (h^2) et variances phénotypiques (σ^2_p) (erreur standard) des coefficients d'utilisation digestive (CUD) de l'énergie (E), de la matière organique (MO) et de l'azote (N) chez les porcs Landrace, Large White et Piétrain

| | Landrace | | Large White | | Piétrain | |
|-----------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | h^2 | σ^2_p | h^2 | σ^2_p | h^2 | σ^2_p |
| CUD E, % | 0,17 (0,18) | 2,90 (0,17) | 0,23 (0,10) | 4,06 (1,30) | 0,22 (0,12) | 2,31 (0,15) |
| CUD MO, % | 0,16 (0,18) | 2,72 (0,16) | 0,26 (0,11) | 3,84 (0,98) | 0,25 (0,12) | 2,18 (0,14) |
| CUD N, % | 0,17 (0,16) | 5,01 (0,31) | 0,19 (0,10) | 5,96 (1,87) | 0,16 (0,16) | 5,95 (0,37) |

Tableau 2 – Corrélations génétiques (erreur standard) des coefficients d'utilisation digestive (CUD) de l'énergie (E), de la matière organique (MO) et de l'azote (N) avec le gain moyen quotidien (GMQ), l'indice de consommation (IC) et l'épaisseur de lard dorsal (ELD) chez les porcs Landrace, Large White et Piétrain

| | Landrace | | | Large White | | | Piétrain | | |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | GMQ | IC | ELD | GMQ | IC | ELD | GMQ | IC | ELD |
| CUD E | -0,19 (0,08) | -0,27 (0,15) | -0,12 (0,13) | -0,24 (0,08) | -0,47 (0,13) | -0,20 (0,14) | -0,34 (0,07) | -0,21 (0,05) | -0,18 (0,13) |
| CUD N | -0,32 (0,14) | -0,45 (0,11) | -0,30 (0,12) | -0,20 (0,12) | -0,49 (0,12) | -0,23 (0,15) | -0,54 (0,10) | -0,57 (0,09) | -0,31 (0,14) |

2. RESULTATS

Les héritabilités estimées étaient proches dans les 3 races (Tableau 1), entre $0,17 \pm 0,18$ et $0,23 \pm 0,10$ pour le CUD de l'énergie ; entre $0,16 \pm 0,18$ et $0,26 \pm 0,11$ pour le CUD de la matière organique et entre $0,16 \pm 0,16$ et $0,22 \pm 0,12$ pour le CUD de l'azote. Les héritabilités les plus faibles étaient obtenues pour les animaux de race Landrace, ce qui peut être expliqué entre autres par le fait que ces porcs sont issus d'une moins grande diversité génétique que ceux des autres races (37 pères différents en Landrace, 75 en Piétrain et 77 en Large White). Les variances étaient globalement aussi plus faibles pour ces animaux. Les corrélations génétiques entre les CUD et les caractères de production étaient toutes négatives (Tableau 2), entre $-0,12 \pm 0,13$ et $-0,57 \pm 0,09$, et non significativement différentes entre races. Les estimations de corrélations génétiques du CUD de la matière organique avec les caractères de production étaient similaires à celles obtenues avec le CUD de l'énergie.

Les paramètres estimés étaient proches de ceux obtenus dans une précédente étude en race Large White (Déru *et al.*, 2021). Cependant, les variances génétiques obtenues étaient inférieures, probablement en lien avec l'âge de prélèvement à 21 semaines au lieu de 16 semaines (Carillier-Jacquain *et al.*, 2023).

CONCLUSION

Les résultats montrent des héritabilités des CUD à 21 semaines plus faibles qu'à 16 semaines, et qui semblent similaires pour les 3 races étudiées. Ces estimations suggèrent une possibilité de sélectionner génétiquement pour ce caractère quelle que soit la race considérée. Les corrélations génétiques légèrement défavorables avec le GMQ nécessitent de plus amples analyses afin d'identifier s'il existe des antagonismes génétiques entre digestibilité et vitesse de croissance, qui seraient à prendre en compte dans l'établissement d'index de sélection. Une prochaine étude vise à étudier les stratégies pour incorporer ces mesures en sélection dans les différentes races (Déru *et al.*, 2024).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Carillier-Jacquain C., Ganier P., Bidanel J., Bouquet A., Hassenfratz *et al.*, 2023. Influence de l'âge sur les paramètres génétiques des coefficients d'utilisation digestive chez le porc en engraissement, Journées Rech. Porcine, 55, 345-346.
- Carmelo V., Banerjee P., da Silva Diniz W.J. *et al.*, 2020. Metabolomic networks and pathways associated with feed efficiency and related-traits in Duroc and Landrace pigs. Sci. Rep. 10, 255.
- Déru V., Mercat M.J., Picard D., Ligonesche B., Flatrès-Grall L., Ytournal F., Herry F., Bidanel J., Banville M., Gilbert H., 2024. Stratégies d'utilisation de l'efficacité digestive pour l'amélioration génétique de l'efficacité alimentaire chez le porc, Journées Rech. Porcine, 56, 25-30.
- Déru V., Bouquet A., Labussière E., Ganier P., Blanchet B., Carillier-Jacquain C., Gilbert H., 2021. Genetics of digestive efficiency in growing pigs fed a conventional or a high-fibre diet, J. Anim. Breed. Genet., 138, 246-258.
- Gilbert H., Billon Y., Brossard L., Faure J., Gatellier P., Gondret F., Labussière E., Lebreton B., Lefaucher L., Le Floch N., Louveau I., Merlot E., Meunier-Salaün M.C., Montagne L., Mormede P., Renaudeau D., Riquet J., Rogel-Gaillard C., Van Milgen J., Vincent A., Noblet J., 2017. Review: divergent selection for residual feed intake in the growing pig. Animal, 11, 1427-1439.
- Labussière E., Ganier P., Condé A., Janvier E., Van Milgen J., 2019. Development of a NIRS method to assess the digestive ability in growing pigs. Proc. Conference "70th annual meeting of the European federation of animal science", Ghent, Belgium, pp. 604.
- Misztal I., Lourenco D., Legarra A., 2020. Current status of genomic evaluation. J. Anim. Sci., 98, 1-14



Influence de la proportion d'animaux phénotypés sur le progrès génétique d'un caractère enregistré dans des élevages de production

Tomasi TUSINGWIIRE (1), Céline CARILLIER-JACQUIN (1), Arnaud BUCHET (2), Bruno LIGONESCHE (3), Pauline BRENAUT (4), Catherine LARZUL (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, 31320, Castanet-Tolosan, France

(2) Cooperl, 7, rue de la Jeannaie - B.P. 60328, 22 403 Lamballe-Armor Cedex, France

(3) Nucleus, 7 Rue des Orchidées, 35650 Le Rheu, France

(4) IFIP-Institut du Porc, 35651 Le Rheu Cedex, France

celine.carillier-jacquin@inrae.fr

Effect of the proportion of phenotyped and genotyped animals on the genetic progress of a trait recorded on production farms

Pig health is a major concern for society in terms of animal welfare, reducing antibiotic use, as raising pigs without antibiotics can be challenging due to high disease incidences and compromised performance. The aim of this study was to simulate a breeding scheme to investigate whether it is possible to select for a health trait recorded only for crossbred animals. The simulated scenarios differed in the percentage of 1000 crossbred animals with known pedigrees that were genotyped and phenotyped (i.e. 10 %, 25 %, 50 %, 75 % and 100 %). Purebred animals were selected based on either (i) Genomic estimated breeding values (GEBV) for crossbred performance when considering trait 2 (health trait) only or (ii) an index that equalled the sum of the GEBV for crossbred performance for trait 1 (average daily gain) and trait 2. As expected, the cumulative genetic gain and accuracy of GEBV increased as the percentage of crossbred animals with phenotypes and genotypes included in genetic evaluations increased. When evaluating trait 2 only, the maximum genetic gain achieved in generation 10 ranged from 1.17 to 2.89. When trait 2 was evaluated with trait 1, the maximum genetic gain attained in generation 10 was 1.75 with 100% of crossbred animals considered. The next step will be to extend this study to a three-way crossbreeding scheme that will mimic a real-world swine-breeding program. If a trait, such as a health trait, is difficult or impossible to record for purebreds, crossbred phenotypes from commercial farms can be used to improve this trait in purebreds.

INTRODUCTION

La santé animale est une préoccupation majeure de la société, tant en termes de bien-être animal que de limitation de l'usage des antibiotiques. Depuis plus de 10 ans, la réduction de l'usage des antibiotiques en élevage porcin est un succès avéré. Cette réussite résulte de la mise en œuvre de nombreux leviers (Roguet et Hémonic, 2022) qui peut être complétée par une démarche d'amélioration génétique de la santé des porcs en élevage. Cependant, la collecte et la valorisation de performances en sélection est le plus souvent réalisée sur des animaux de races pures, élevés dans des élevages à haut statut sanitaire. Ce contexte limite les occurrences d'animaux malades. Une voie d'approche consiste à utiliser les mesures enregistrées sur des porcs croisés, collectées dans des fermes commerciales (Cheng *et al.*, 2022). Afin de valider cette approche pour la sélection porcine, nous avons simulé un programme de sélection incluant ce type de mesures c'est-à-dire un caractère enregistré uniquement sur des animaux croisés, caractérisé par une faible héritabilité.

1. MATERIEL ET METHODES

Architecture des populations sélectionnées

Une population historique de 2 000 individus a été simulée de manière stochastique à l'aide d'AlphaSimR (Gaynor *et al.*, 2021). Le génome simulé comportait 18 paires de chromosomes, chacun comportant 400 QTL (Quantitative Trait Locus) non chevauchants et 4 000 marqueurs SNP (Single Nucleotide Polymorphism) distribués de manière aléatoire. Deux caractères ont été simulés : l'un imitant le gain de poids moyen quotidien (caractère 1 – C1) avec une héritabilité (h^2) de 0,3 et l'autre imitant un caractère de santé comme le nombre de traitements antibiotiques par truie (caractère 2 – C2) avec une h^2 de 0,1. Pour simuler les deux populations récentes de race pure (races A et B), deux échantillons aléatoires de 100 femelles et 100 mâles ont été prélevés dans la population historique commune aux deux races et accouplés au hasard pendant 50 générations supplémentaires. Un programme de croisement a ensuite été simulé avec 10 générations de sélection. Pour les animaux croisés, la race A a servi de race paternelle et la race B de race maternelle afin de simuler un croisement de type Landrace X Large White.

1.1. Scénarios simulés

Afin de simuler un caractère de santé, nous avons considéré que les animaux purs n'étaient jamais phénotypés pour C2 en raison

de la faible occurrence des traitements antibiotiques dans ces populations). La corrélation génétique entre la performance en pur et en croisement pour C1 est considérée comme égale à 1, ce qui correspond au cas idéal avec la meilleure réponse possible à la sélection. Chez les croisés, la corrélation entre les deux caractères (entre 0,41 et 0,59 selon le replica et la population considérée) est obtenue par co-ségrégation des effets QTL. Pour simuler différents scénarios, nous avons fait varier la proportion d'animaux croisés génotypés et phénotypés. Pour chacun de ces scénarios, l'ensemble des animaux considérés dans les évaluations sont génotypés et phénotypés. En effet, en pratique les généalogies des animaux croisés ne sont pas toujours connues et le génotypage est nécessaire pour réaliser des évaluations génétiques sur ces animaux. A chaque génération, sur 1000 animaux croisés disponibles, nous avons considéré successivement 0, 10, 25, 50, 75 et 100 % des données à utiliser pour l'évaluation des races parentales. La sélection des animaux de race pure était basée soit sur les valeurs génomiques (GEBV) estimées à chaque génération pour les performances en croisés sur C2 seul, soit sur la somme des GEBV de C1 et C2 pour simuler une sélection sur index combiné accordant la même importance à la croissance qu'à la santé. La comparaison des scénarios s'est basée sur les gains génétiques cumulés sur 10 générations de sélection (G1 à G10).

1.2. Estimation des valeurs génomiques

Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un modèle linéaire GBLUP single step, bicaractères (C1 pour la performance en pure et C1 pour la performance en croisement) ou tricaractères (modèles précédents en ajoutant C2 pour la performance en croisement). Les estimations ont été réalisées grâce au logiciel blupf90+ (Miszta *et al.*, 2014).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 1 représente la moyenne des GEBV (μ_{GEBV}) de C2 et C1, ce qui correspond au gain génétique cumulé sur 10 générations, dans le cas des différents scénarios pour la race A. Les résultats de la race B sont très similaires à ceux obtenus pour la race A.

Comme attendu, le gain génétique cumulé (figure 1) croît avec l'augmentation de la proportion d'animaux croisés phénotypés et génotypés inclus dans les évaluations génétiques. La moyenne des GEBV est, par exemple, presque triplée lorsque le nombre d'individus croisés dans les évaluations passent de 10 à 100% (de 1,17 à 2,89 en G10) lorsque C2 (santé) est le seul à être sélectionné. Quand l'effort de sélection inclut également C1, le gain génétique obtenu pour C2 est moins important (1,75 en G10 pour 100% d'individus croisés, permettant de conclure qu'un minimum de 50% des individus croisés phénotypés et génotypés semblerait nécessaire pour atteindre un gain génétique acceptable sur ce caractère).

Le gain génétique observé sur C1 est plus élevé, que ce soit pour la performance en pur ou en croisement, du fait de la plus forte

héritabilité. L'augmentation de gain génétique avec l'ajout de phénotypes de croisés reste marginale pour la performance en pur. Cela s'explique par le fait que tous les animaux purs sont déjà phénotypés pour ce caractère.

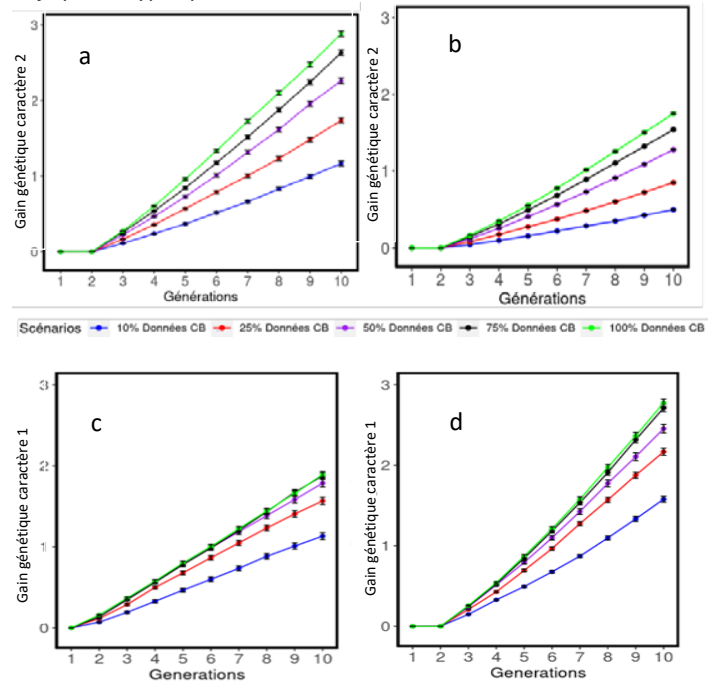


Figure 1 – Valeurs génétiques estimées moyennes /génération (μ_{GEBV}) pour les caractères 1 (C1) et 2 (C2) obtenues pour différents scénarios incluant de 10 à 100% d'animaux croisés (CB) dans les évaluations : (a) μ_{GEBV} (C2) lorsque seul C1 est sélectionné, (b) μ_{GEBV} (C2) lorsque C1 et C2 sont sélectionnés simultanément, et pour C1 : μ_{GEBV} (C1) pour la performance en pur (c) et μ_{GEBV} (C1) pour la performance en croisement (d)

CONCLUSION

Les résultats de simulation ont montré qu'un gain génétique pour des caractères de santé est possible notamment si un effort de phénotypage et génotypage des animaux croisés était réalisé. Si un caractère tel que la santé ne peut pas ou est difficile à enregistrer ou encore est rarement observé en races pures, des phénotypes mesurés sur des animaux croisés peuvent être utilisés pour sélectionner ce caractère dans les races parentales et ainsi améliorer les performances des animaux croisés. Ce travail de simulation bien qu'optimiste (corrélation pur-croisés égale à 1, ensemble des animaux génotypés) a permis de mettre en place un outil permettant de simuler des populations croisées avec une grande flexibilité sur les modèles d'évaluations génétiques possibles. La poursuite de ce travail inclut donc la complexification des scénarios afin de se rapprocher de la réalité de la sélection porcine. De plus, une collecte de données est en cours pour explorer ce type de sélection pour un caractère de santé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cheng J., Lim K.S., Putz A. M., Wolc A., Harding J. C. S., Dyck M. K., Fortin F., Plastow G. S., Dekkers J. C. M., 2022. Genetic analysis of disease resilience of wean-to-finish pigs under a natural disease challenge model using reaction norms. *Genet. Sel. Evol.*, 54, 1–21.
- Gaynor C. R., Gorjanc G., Hickey J. M., 2021. AlphaSimR: An R package for breeding program simulations. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 11(2).
- Miszta I., Tsuruta S., Lourenco D.A.L., Aguilar I., Legarra A., Vitezica Z., 2014. Manual for BLUPF90 family of programs. http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all2.pdf
- R Core Team, 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Roguet C., Hémonic A., 2022. Les filières « porcs élevés sans antibiotiques » en France : caractéristiques, atouts, limites et perspectives. *Projet européen ROADMAP. Journées. Rech. Porcine*, 54, 321-3262.



Survie au froid et pathogénicité des souches de *Yersinia enterocolitica* BT4 isolées chez le porc et génétiquement proches ou non de souches isolées chez l'homme

Martine DENIS (1), Emmanuelle HOUARD (1), Adiel OUEDRAOGO (1), Léonie LE BERRE (1), Carole FEURER (2),
Javier PIZARRO-CERDA (3), Cyril SAVIN (3), Anne-Sophie LE GUERN (3)

(1) Anses, 22440 Ploufragan, France

(2) IFIP-Institut du Porc, 35650 Le Rheu, France

(3) Institut Pasteur (IP) CNR de la peste et autres yersiniose, 75015 Paris, France

martine.denis@anses.fr

Cold survival and pathogenicity of *Yersinia enterocolitica* BT4 strains isolated from pigs and genetically close or not to strains isolated from human cases

The aim of this study was to test the cold survival and pathogenicity of *Yersinia enterocolitica* BT4 strains isolated from pigs and genetically close or not to strains isolated from human cases, to assess their ability to pass through the food chain alive and infect humans. BT4 strains (n=50) of porcine origin (Anses and IFIP's collections) and BT4 strains of human cases (n=50, CNR's collection) isolated in 2010 in France were sequenced. cgMLST, based on 1727 genes, was used to compare strains. Porcine strains and human strains in clusters were considered to be genetically closely related. Four porcine strains were selected: two closely related to human strains (P+H+), and two not (allelic difference > 9) (P+H-). The survival of these strains at 4°C was tested in BHI culture medium (5 Log₁₀CFU/ml) and on ham (4.5 Log₁₀CFU/cm²) for 10-11 days. Their pathogenicity was assessed using *in vitro* assays on human intestinal *Caco-2* cells (10⁵ cells/ml of *Caco-2* cells for 10⁷ bacteria/ml). During the survival test at 4°C, an increase of 4 Log₁₀CFU/ml in BHI and of 1.5-2.0 Log₁₀CFU/cm² on ham was observed for all strains. The P+H+ and P+H- strains did not differ significantly for the tests in BHI or on ham (P-value > 0.05). Adhesion and invasion on *Caco-2* cells ranged from 65-90 % and 0.55-3.60 %, respectively. The P+H+ and P+H- strains did not differ significantly in pathogenicity. This study showed that the ability to survive and grow in cold conditions is not restricted to strains capable of infecting humans and that these strains had the same capacity to infect humans.

INTRODUCTION

En 2021, la yersiniose était toujours la troisième zoonose humaine la plus fréquemment identifiée en Europe (EFSA et ECDC, 2022). Les porcs sont décrits comme une source de *Y. enterocolitica* pathogènes pour l'homme. Une enquête française menée sur 2010-2011 en abattoir a montré que 13,7 % des porcs et que 74,3 % des lots de porcs étaient positifs en *Y. enterocolitica* pathogènes (Fondrevéz *et al.*, 2014). Au sein des 827 souches conservées lors de cette enquête, 91,9 % avaient le biotype BT4. Ce BT4 est le plus prévalent dans les cas de yersiniose humaine en France (66,8 %) (Le Guern *et al.*, 2016). Pour que *Y. enterocolitica* puisse résister à la chaîne du froid et infecter l'homme, elle doit 1) survivre à la température de réfrigération, et 2) avoir les gènes pour exprimer sa pathogénicité. Le but de cette étude était de tester la survie au froid et la pathogénicité de quatre souches de *Y. enterocolitica* BT4 isolées de porcs et génétiquement proches ou non de souches isolées de cas humains.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Sélection des souches de *Y. enterocolitica* BT4

Cinquante souches d'origine porcine (collections de l'Anses et de l'IFIP) et 50 souches d'origine humaine (collection du Centre Nationale de Référence) isolées en 2010 en France ont été

séquencées par la plateforme de séquençage de l'institut Pasteur. La cgMLST (core genome Multi Locus Sequence Typing) basée sur 1 727 gènes a été utilisée comme outil de typage moléculaire. Les souches porcines et humaines présentant un maximum de cinq différences alléliques ont été considérées comme génétiquement proches et forment un cluster. Parmi ces souches, quatre souches d'origine porcine ayant le plasmide de virulence pYV ont été sélectionnées : deux souches groupées chacune dans un cluster avec des souches humaines (identifiées P+H+), et deux souches génétiquement éloignées de souches humaines (différence allélique > 9) (identifiées P+H-).

1.2. Survie des souches au froid

La survie des souches à 4°C a été testée pendant 11 jours dans un milieu de culture BHI (Brain Heart Infusion) avec un inoculum de 5 Log₁₀ CFU/ml et pendant 10 jours sur des tranches de jambon achetées en grande surface avec un inoculum de 4,5 Log₁₀ CFU/cm². Le test a été répété trois fois sur des jambons différents. Tous les deux ou trois jours, *Y. enterocolitica* a été dénombré sur la gélose PCA (Plate Count Agar) pour le test en BHI et sur la gélose sélective CIN (Cefsulodine, Irgasan, Novobiocine) pour le test sur le jambon.

1.3. Pouvoir pathogène des souches sur cellules *Caco-2*

Le pouvoir pathogène des souches a été évalué *in vitro* sur les cellules intestinales humaines *Caco-2* avec une MOI

(Multiplicité de l'infection) au 1/100^{ème} (10⁵ cellules/ml de cellules *Caco-2* pour 10⁷ bactéries/ml), et ce trois fois. Pour évaluer la pathogénicité des souches, les pourcentages de bactéries adhérentes et invasives sont pris en compte. Le protocole suivi est celui décrit par Esnault *et al.* (2015).

1.4. Statistiques

Les trois répétitions, les quatre souches et les deux groupes P+H/ P+H- des essais ont été comparés sous R avec le test de Kruskal-Wallis.

2. RESULTATS

2.1. Survie des souches au froid

Lors du test de survie à 4°C, une augmentation de 4 Log₁₀ CFU/ml en BHI et de 1,5 à 2 Log₁₀ CFU/cm² sur le jambon a été observée pour toutes les souches, avec un plateau atteint en 8 jours en BHI (Figure 1) et en 6 jours sur le jambon (Figure 2).

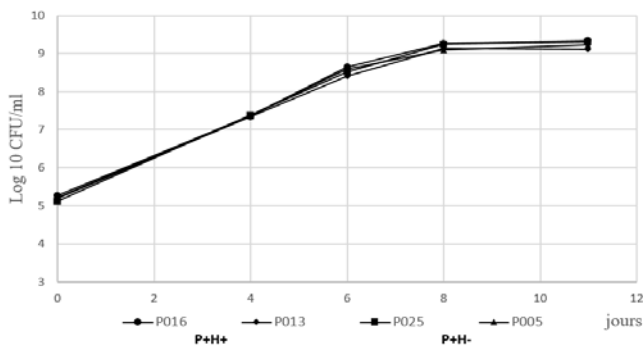


Figure 1 - Survie des souches porcines BT4 (souches codées P016 et P013 : P+H+ / souches codées P025 et P005 : P+H-) en milieu de culture BHI (Brain Heart Infusion) sur 11 jours à 4°C

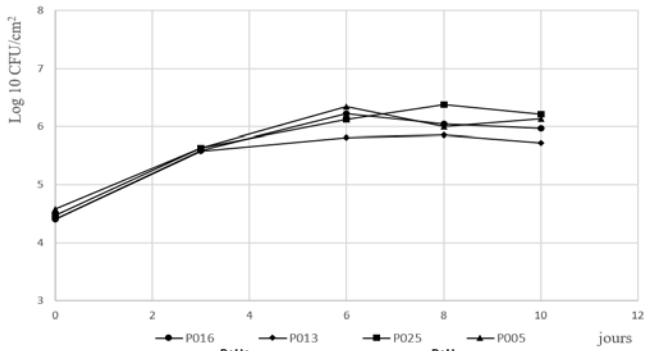


Figure 2 - Survie des souches porcines BT4 (souches P016 et P013 : P+H+ / souches P025 et P005 : P+H-) sur jambon sur 10 jours à 4°C

Il n'y a pas de différence significative entre les souches P+H+ et les souches P+H- ni pour l'essai en BHI ni pour l'essai sur jambon (test de Kruskal-Wallis, $P = 0,956$ et $P = 0,506$, respectivement).

2.2. Pouvoir pathogène des souches sur cellules *Caco-2*

Les souches avaient un pourcentage d'adhésion aux cellules *Caco-2* compris entre 65 et 90 %, et un pourcentage d'invasion dans les cellules *Caco-2* compris entre 0,55 et 3,60 % (Figure 3).

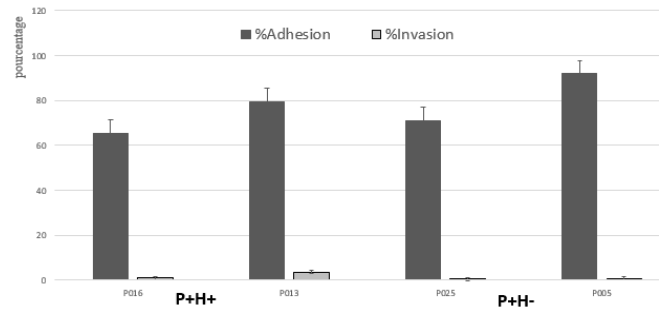


Figure 3 - Pourcentage d'adhésion et d'invasion sur *Caco-2* des quatre souches porcines BT4 (souches codées P016 et P013 : P+H+ / souches codées P025 et P005 : P+H-)

Il n'y a pas de différence significative entre les souches P+H+ et P+H-, que ce soit pour leur capacité à adhérer ou leur capacité à pénétrer les cellules *Caco-2* (test de Kruskal-Wallis, $P = 0,772$ et $P = 0,083$, respectivement).

3. DISCUSSION

La nature psychrotrophe de *Y. enterocolitica* a été confirmée par nos tests à 4°C en BHI et sur jambon. La bactérie est capable de croître à des températures de réfrigération. Il serait nécessaire de se rapprocher des conditions réelles de contamination de la viande pour mieux évaluer le danger. Dans l'étude de Van Damme *et al.* (2015), la quantité de *Y. enterocolitica* sur les carcasses de porcs est très faible (< à 20 UFC/100 cm²). Aucune différence n'a été observée entre les souches porcines appartenant au même cluster cgMLST que les souches humaines (P+H+) et celles n'y appartenant pas (P+H-). La capacité des souches de *Y. enterocolitica* à survivre au froid n'est donc pas spécifique aux souches capables d'infecter l'homme. La nature psychrotrophe de *Y. enterocolitica* reste un problème dans l'industrie alimentaire et pour les consommateurs, où la réfrigération est un outil de prévention des pathogènes. Toutes les souches avaient la même capacité à infecter les cellules *Caco-2*, ce qui indique qu'elles ont toutes le même niveau de pathogénicité.

CONCLUSION

Cette étude a montré que si certaines souches de *Y. enterocolitica* BT4 isolées chez le porc n'ont pas été identifiées comme génétiquement proches des souches humaines, elles sont néanmoins capables de survivre et se multiplier au froid et ont la capacité d'infecter l'homme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- EFSA and ECDC, 2022. The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. EFSA J., 20, e07666.
- Esnault E., Morin S., Bougeard S., Denis M., 2015. Porcine and human intestinal cells for profiling the capacity of colonization and infection of the foodborne pathogen *Yersinia enterocolitica*. Proceeding Safepork, Porto, Portugal, 7-10 September 2015, pp 99-102.
- Fondrevez M., Minvielle B., Labbé A., Houdayer C., Rose N., Esnault E., Denis M., 2014. Prevalence of pathogenic *Yersinia enterocolitica* in slaughter-aged pigs during a one-year survey, 2010-2011, France. Int. J. Food Microbiol., 174, 56-62.
- Le Guern A.S., Martin L., Savin C., Carniel E., 2016. Yersiniosis in France: overview and potential sources of infection. Int. J. Infect. Dis., 46, 1-7.
- Van Damme I., Berkvens D., Vanantwerpen G., Baré J., Houf K., Wauters G., De Zutter L., 2015. Contamination of freshly slaughtered pig carcasses with enteropathogenic *Yersinia* spp.: Distribution, quantification and identification of risk factors. Int. J. Food Microbiol., 204, 33-40.

Santé





Validation d'un outil non invasif pour collecter le contenu de l'intestin grêle chez les porcs en post-sevrage

Inés GARCÍA VIÑADO (1, 2), Federico CORREA (2), Paolo TREVISI (2), Giuseppe Bee (1), Catherine OLLAGNIER (1)

(1) Pig Research Unit, Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

(2) Department of Agricultural and Food Sciences (DISTAL), University of Bologna, 40127 Bologna, Italie

catherine.ollaquier@agroscope.admin.ch

Validation d'un outil non invasif pour collecter le contenu de l'intestin grêle chez les porcs en post-sevrage

Jusqu'à présent, les échantillons de selles étaient le seul moyen non invasif d'étudier le microbiome digestif, mais le microbiome intestinal diffère du microbiome fécal. Capsule for Sampling (CapSa) est une capsule ingérable transitant par le tractus digestif pour collecter le contenu de l'intestin grêle avant d'être excrétée avec les fèces. Dans cette étude, 14 porcs de race Grand Porc Blanc Suisse de moins de 12 kg (Catégorie XS) et 12 porcs de 12 à 20 kg (Catégorie S) ont reçu deux capsules chacun et ont été suivis pendant 3 jours, puis euthanasiés pour des prélèvements post-mortem. Toutes les CapSa ont pu être administrées aux cochons de la catégorie S, avec seulement 89,3 % de réussite dans la catégorie XS, et 97,7 % des capsules retrouvées dans l'estomac post-mortem. Dans la catégorie S, 63,4 % des capsules ont été récupérées dans les fèces dans les 48 heures. Au total, 68,75 % des capsules excrétées dans les 48 heures avaient un pH > 5,5 et ont été soumises à une analyse microbiome. La composition bactérienne des capsules a été comparée à celle des trois segments de l'intestin grêle, du gros intestin et des fèces du porc correspondant. Les résultats ont été analysés via un modèle PERMANOVA (Adonis) incluant le type d'échantillon comme facteur, avec des comparaisons deux à deux. La composition bactérienne des capsules était différente de celle du gros intestin et des fèces ($P < 0,01$), tandis qu'elle ne différait pas de celle du premier et deuxième segment de l'intestin grêle ($P > 0,05$). Cette étude démontre que CapSa échantillonne le microbiote intestinal de la partie supérieure de l'intestin grêle.

Validation of a non-invasive tool for collecting the contents of the small intestine in post-weaning pigs

To date, stool samples have been the only non-invasive means of studying the digestive microbiome, but the gut microbiome differs from the faecal microbiome. Capsule for Sampling (CapSa) is an ingestible capsule that passes through the digestive tract to collect the contents of the small intestine before being excreted with the faeces. In this study, 14 Large White Swiss pigs weighing less than 12 kg (Category XS) and 12 pigs weighing between 12 and 20 kg (Category S) each received two capsules and were monitored for 3 days, then euthanised for post-mortem sampling. All the CapSa could be administered to the S category pigs, with only 89.3 % success rate in the XS category, where 97.7% of the capsules were recovered from the post-mortem stomach. In the S category, 63.4 % of the capsules were found in the faeces within 48 hours. A total of 68.75 % of capsules excreted within 48 hours had a pH > 5.5 and were subjected to microbiome analysis. The bacterial composition of the capsules was compared with that of the three segments of the small intestine, the large intestine and the faeces of the corresponding pig. The results were analysed using a PERMANOVA model (Adonis) including sample type as a factor, with pairwise comparisons. The bacterial composition of the capsules differed from that of the large intestine and faeces ($P < 0.01$), while it did not differ from that of the first and second segments of the small intestine ($P > 0.05$). This study demonstrates that CapSa samples the intestinal microbiota of the upper part of the small intestine.

INTRODUCTION

L'inter-connexion entre le microbiote intestinal et la santé du porc n'est plus à démontrer (Schokker *et al.*, 2015 ; Jang *et al.*, 2020). En effet, les micro-organismes intestinaux jouent un rôle fondamental dans de nombreux processus physiologiques, comme l'immunité et la digestion des nutriments (Fouhse *et al.*, 2016 ; Luo *et al.*, 2022). Jusqu'à présent, la majorité des recherches se sont concentrées sur l'étude du microbiote fécal (Maltecca *et al.*, 2020). Cependant, le profil du microbiote fécal est très différent de celui des autres segments du tube digestif, comme celui de l'intestin grêle (Zhao *et al.*, 2015). Ainsi, la composition du microbiote change non seulement selon la localisation dans le tube digestif, mais également avec l'âge du porc (Slifierz *et al.*, 2015 ; Li *et al.*, 2020). Spécifiquement, les interactions hôte microbiote jouent un rôle clef au sein de l'intestin grêle, autant pour la digestion des nutriments que pour la programmation de l'immunité (Duarte, Kim, 2022). Pour bien comprendre l'interaction hôte-microbiote, il est essentiel d'étudier l'évolution spatiotemporelle du microbiote intestinal. Pour cela, la localisation de l'échantillonnage et la possibilité de le répéter sur le même individu sont des points cruciaux.

Il existe différentes méthodes d'échantillonnage du microbiote. L'échantillonnage post-mortem permet d'accéder à tous les segments du tube digestif, mais il est, par définition, très invasif et ne peut être répété qu'une seule fois sur le même individu. L'échantillonnage fécal est, à l'inverse, non-invasif, peut être répété plusieurs fois sur le même individu, mais ne représente que le microbiote fécal (Choudhury *et al.*, 2019). Entre les deux, l'endoscopie permet de prélever des échantillons du contenu intestinal ou de faire plusieurs biopsies sur le même individu, mais ne peut être pratiquée que sous anesthésie générale. Enfin, certaines études ont eu recours à des animaux canulés, afin de pouvoir effectuer des prélèvements répétés du contenu de l'intestin grêle. Pour des raisons éthiques et pratiques, ces deux dernières méthodes ne sont pas toujours aisément réalisables. Tang *et al.* (2020) ont souligné l'importance de découvrir des nouvelles méthodes d'échantillonnage permettant de prélever le contenu intestinal de manière répétée et sans être invasif. Dans cette quête, la clef du succès se trouve dans l'utilisation des voies digestives comme portes d'entrée et de sortie naturelles pour accéder au contenu digestif.

Récemment, de nouveaux dispositifs médicaux ingérables ont permis de prélever et d'étudier le microbiote intestinal chez l'homme (Rezaei Nejad *et al.*, 2019 ; Folz *et al.*, 2023 ; Shalon *et al.*, 2023), en transitant simplement par les voies digestives.

L'objectif de cette étude est de valider un nouveau prototype de capsule permettant d'échantillonner le microbiote intestinal de manière non invasive chez le porc.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Déclaration d'éthique

Toutes les procédures expérimentales ont été approuvées par l'Office vétérinaire cantonal de Fribourg (Suisse), sous le numéro de référence 2021-39-FR. Cette étude a été réalisée dans la porcherie de la station de recherche Agroscope - Posieux (Suisse).

1.2. Conception de l'étude

Au total, 26 porcs de race Grand Porc Blanc suisse de 6,4 à 20,0 kg de poids corporel ont été sélectionnés, dont 14 pesant moins de 12 kg (catégorie XS) et 12 pesant entre 12 et 20 kg (catégorie S) (Tableau 1). Chaque porc a reçu par intubation œsophagienne deux capsules le jour 0 (j0). Les capsules ont ensuite été recherchées dans les fèces dans les 3 jours après administration. Après 3 jours (j3), tous les porcs ont été euthanasiés, et l'ensemble de leur tractus digestif a été inspecté pour rechercher les capsules qui n'avaient pas été trouvées dans les fèces. Ensuite, des prélèvements du contenu digestif ont été réalisés dans les différents segments du tractus digestif.

Tableau 1 – Caractéristiques des porcs inclus dans l'étude

| Catégorie de poids | N= | Pds ± SD (kg) | %M | %F |
|--------------------|----|---------------|------|------|
| XS (< 12 kg) | 14 | 8,3 ± 1,6 | 50,0 | 50,0 |
| S (≥12-20 kg) | 12 | 14,4 ± 2,6 | 58,3 | 41,7 |

Pds = poids (kg) ; SD = Déviation Standard ; M = Mâles castrés ; F = Femelles

1.3. Description de la capsule (CapSa)

La capsule étudiée mesure 21,7 mm de long avec un diamètre de 7 mm, ce qui correspond à une capsule rigide de taille 0. La capsule s'ouvre, collecte l'échantillon et se ferme en fonction des propriétés physico-chimiques de l'environnement dans lequel elle se situe. Son déplacement le long du tube digestif est uniquement passif et sa vitesse de transit dépend entièrement du péristaltisme intestinal. La capsule peut collecter un maximum de 400 µL. La capsule a été conçue pour effectuer le processus suivant : après avoir été avalée, la capsule passe l'estomac, s'ouvre, collecte l'échantillon et se referme dans l'intestin grêle, puis transite le long du gros intestin avant d'être éliminée avec les fèces. Les résultats *in vitro* montrent que la capsule peut résister deux heures dans un milieu acido-aqueux (pH < 3), puis collecter l'échantillon dans l'heure suivant son transfert dans un milieu aqueux à pH = 7 (García-Viñado *et al.*, 2022).

1.4. Préparation des animaux et administration de la capsule

Les porcs ont été hébergés par quatre dans des cases spécialement aménagées pour la collection des capsules. Les cases étaient modifiées pour avoir une surface de caillebottis réduite avec des ajouements de taille inférieure au diamètre de la capsule. Ainsi les recherches de capsules ont pu être effectuées en tamisant les fèces avec de l'eau sur la surface de caillebottis.

L'aliment a été formulé selon les besoins calculés sur la base des recommandations d'Agroscope (Agroscope, 2005). L'eau était disponible *ad libitum* et distribuée par des pipettes.

Deux jours avant l'administration, plusieurs mesures ont été mises en place pour diminuer l'encombrement du tractus digestif et réduire le temps de transit. Les animaux ont été nourris avec de la soupe (1 kg d'aliment pour 2 L d'eau) et la paille a été retirée des cases. De plus, les animaux n'ont eu accès qu'à la moitié de leur ration à j-1, et l'aliment a été retiré dans les 12 heures avant administration de la capsule.

Afin d'augmenter la vidange gastrique et ainsi faciliter le transit de la capsule à travers l'estomac, du prucalopride a été administré oralement à la dose de 0,16 ± 0,015 mg/kg poids corporel (Resolor®, Takeda Pharma AG, Glattpark, Suisse), 40 minutes avant administration de la capsule. Le prucalopride est un agoniste sérotoninergique 5-HT₄, qui stimule le péristaltisme

gastro-intestinal et augmente ainsi la vidange gastrique (Briejer *et al.*, 2001; De Ponti, 2004; De Maeyer *et al.*, 2008; Camilleri, Atieh, 2021)

Les capsules (n=2/porc) ont été administrées par sondage oesophagien, alors que les porcs étaient maintenus dans un hamac adapté à leur poids. Un bolus de 10 mL de jus d'orange a ensuite été administré pour pousser la capsule dans l'estomac.

1.5. Récupération des capsules et traitement de l'échantillon

De j0 à j3, les cases ont été inspectées cinq fois par jour pour chercher les capsules expulsées dans les fèces.

Après récupération, les capsules ont été directement transportées au laboratoire. L'extérieur des capsules a été nettoyé avec de l'alcool à 70 % afin d'éviter toute contamination lors de l'ouverture. Le contenu a ensuite été extrait à l'aide d'une micropipette pour mesurer son volume, puis transféré dans un Eppendorf de 0,5 mL (Eppendorf SE, Hambourg, Allemagne). Ce dernier a été plongé dans l'azote liquide puis conservé à -80°C jusqu'à analyse. Le pH du contenu a été mesuré à l'aide de papier Litmus (Merck KGaA, Darmstadt, Allemagne) en nettoyant l'intérieur de la capsule après extraction du contenu.

1.6. Prélèvements post-mortem

Trois jours après administration de la capsule, tous les porcs ont été euthanasiés par électroanesthésie et saignés. Le tractus gastro-intestinal a été extrait et déroulé. L'intestin grêle a été divisé en trois segments de taille équivalente. Des échantillons des trois segments de l'intestin grêle, du contenu du gros intestin et des fèces ont été collectés dans des Eppendorf stériles de 2 mL (Eppendorf SE, Hambourg, Allemagne). Les Eppendorfs ont été directement plongés dans l'azote liquide et conservés à -80 °C jusqu'à analyse. Ensuite, l'ensemble du tractus digestif a été inspecté pour rechercher les capsules qui n'avaient pas encore été retrouvées jusque-là.

1.7. Analyse du microbiote

Seuls les échantillons des capsules dont le pH était supérieur à 5,5 et qui avaient été récupérés avant 48 h post administration ont été envoyés pour l'analyse du microbiome.

L'ADN bactérien a été extrait à l'aide du kit HostZERO Microbial DNA Kit (Zymo Research, Californie, États-Unis) en suivant les instructions du fabricant. La concentration et la pureté de l'ADN (rapport d'absorbance 260/280 et 260/230, respectivement) ont été vérifiées par spectrophotométrie sur NanoDrop (Fisher Scientific, 13 Schwerte, Allemagne). La région V3-V4 du gène de l'ARNr 16S (~ 460 pb) a été amplifiée par PCR en utilisant la Platinum™ Taq DNA Polymerase High Fidelity (Termo Fisher Scientific, Italie). Les amplicons ont été ensuite séquencés par Illumina MiSeq 300 × 2 pb avec le kit de réactifs MiSeq® V3-V4 sur la plateforme MiSeq-Illumina®. L'analyse du microbiote a été réalisée avec le pipeline DADA2 (Callahan *et al.*, 2016) selon la taxonomie de la base de données Silva, version 138 (Quast *et al.*, 2013).

1.8. Analyse statistique

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sous R (version 4.3.1, R core Team, 2022). Le pourcentage de capsules récupérées par catégorie de poids dans les fèces, dans l'estomac ou non trouvées a été calculé par rapport au nombre

total de capsules administrées dans cette catégorie de poids. Les pourcentages ont été analysés à l'aide d'une régression linéaire avec la catégorie de poids et le sexe comme effets fixes. Le temps de transit de la capsule a été calculé comme le temps écoulé entre l'administration de la gélule et sa récupération dans les fèces. Le pH et le volume de la capsule ont été analysés à l'aide d'une régression linéaire avec la catégorie de poids, le sexe et le temps de transit comme effets fixes. L'interaction entre le sexe et la catégorie de poids a toujours été testée et supprimée si elle n'était pas significative.

L'analyse statistique de la diversité alpha et bêta, ainsi que l'analyse taxonomique a été réalisée à l'aide de "phyloseq" (McMurdie, Holmes, 2013) v1.38, "vegan" v2.6 (Dixon, 2003) et "microbiomeutilities" v1.0.

Pour la diversité bêta, une matrice de dissimilarité utilisant les distances euclidiennes des données transformées en logarithme centré (clr) a été construite et les résultats ont été représentés à l'aide d'un diagramme d'Analyse en Coordonnées Principales (PCoA). Les différences ont été testées à l'aide d'un modèle PERMANOVA (Adonis) avec 9 999 permutations, en incluant le type d'échantillon comme facteur. Les contrastes par paire entre les types d'échantillons ont été réalisés à l'aide de la fonction pairwiseAdonis incluse dans le package "PairwiseAdonis" (Martinez Arbizu, 2020). Les valeurs *P* ont ensuite été ajustées pour les comparaisons multiples à l'aide de la correction de Bonferroni.

Pour toutes les analyses statistiques, une différence a été déclarée significative si la valeur *P* < 0,05 et une tendance a été considérée lorsque 0,05 < *P* < 0,10.

2. RESULTATS

2.1. Administration et récupération des capsules

L'administration des capsules a été possible pour tous les porcs, sauf pour deux porcs de moins de 12 kg pour lesquels l'intubation a été difficile.

La catégorie de poids a fortement impacté (*P* < 0,05) l'endroit où l'on a retrouvé la capsule après son administration. En effet, 97,7 % des capsules ont été retrouvées dans l'estomac chez les porcs de moins de 12 kg, et seulement 2,27 % dans les fèces (Tableau 2). Pour les porcs de 12 à 20 kg, 63,4 % ont été retrouvées dans les fèces et seulement 17,6 % dans l'estomac ; 18,9 % des capsules n'ayant pas été retrouvées chez ces porcs de catégorie S. Le sexe n'a pas eu d'impact sur le devenir de la capsule (*P* > 0,10). Le pourcentage de capsules non trouvées n'était pas affecté par la catégorie de poids.

Tableau 2 – Résultats de la récupération des capsules en fonction de la catégorie de poids

| | Catégorie de poids | | | |
|--|--------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | XS ¹ | S ² | SEM ³ | P ⁴ |
| % moyen ⁵ de capsules trouvées dans les fèces | 2,3 | 63,4 | 10,71 | <0,05 |
| % moyen ⁵ de capsules trouvées dans l'estomac | 97,7 | 17,6 | 9,31 | <0,05 |
| % moyen ⁵ de capsules non trouvées | 0,0 | 18,9 | 13,60 | 0,34 |

¹XS = Porcs < 12 kg ; ²S = Porcs entre 12 et 20 kg ; ³SEM = Erreur standard de la moyenne ; ⁴P = Valeur p de l'effet fixe ; ⁵Les % moyens sont calculés par les modèles linéaires.

La récupération des capsules dans les fèces s'est faite dans les 24 heures dans 62,5 % des cas (Figure 1). Dans la catégorie S,

50% des porcs ont expulsé les deux capsules administrées et seulement 16,7% (2 animaux) n'ont expulsé qu'une capsule sur deux. Le reste des capsules est resté introuvable ou a été récupéré post mortem.

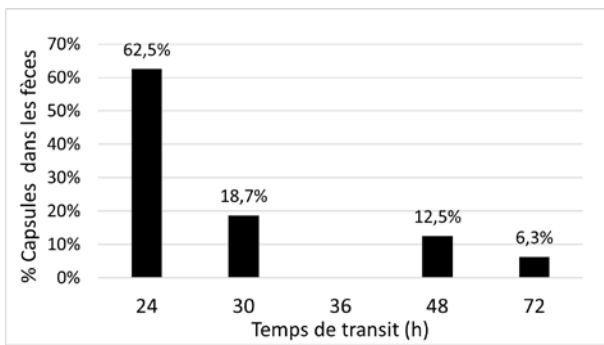


Figure 1 –Temps de transit (heures) des capsules trouvées dans les fèces après administration

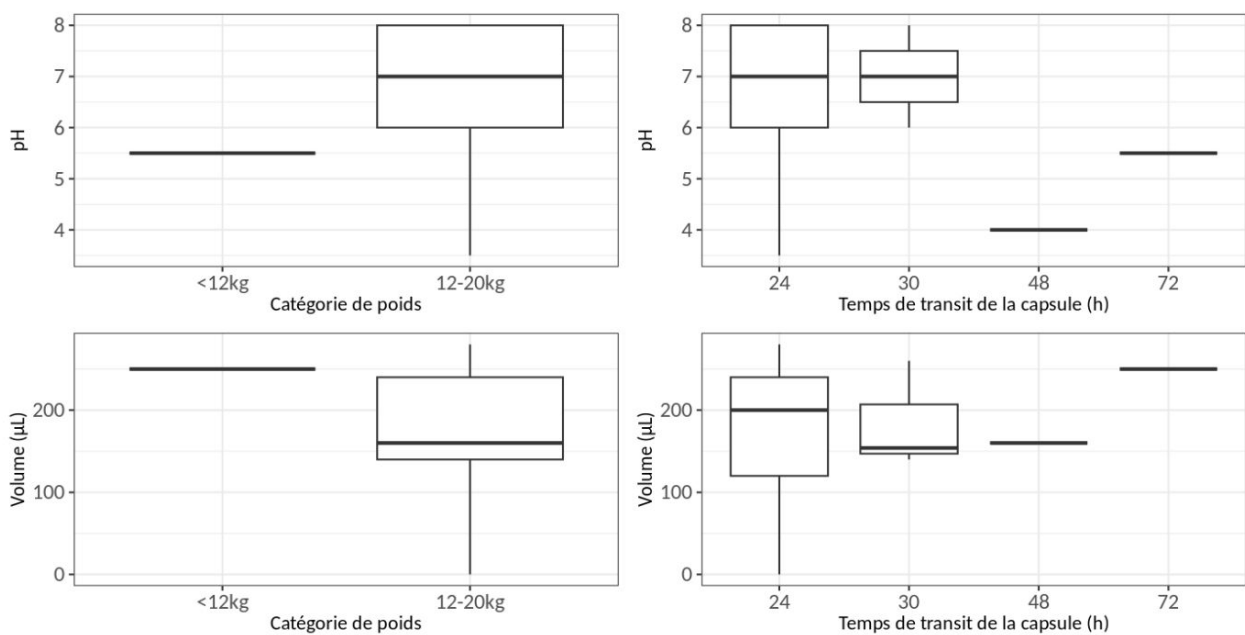


Figure 2 – pH et volume (µL) du contenu de la capsule en fonction du temps de transit (heures) et de la catégorie de poids des porcs.

2.2. Innocuité de la capsule

Tous les porcs sont restés en bonne santé pendant toute la durée de l'étude. Aucun dommage tissulaire lié à l'administration de la capsule et/ou au passage de la capsule n'a été observé macroscopiquement après l'euthanasie. Il n'y a pas eu d'impact sur le score fécal des déjections, ni des diarrhées associées à l'administration de la capsule. Toutes les capsules récupérées le jour de l'euthanasie ont été retrouvées dans l'estomac.

2.3. Analyse de microbiote

Au total, 11 capsules de huit porcs ont été envoyées pour l'analyse du microbiote. L'ADN bactérien a été extrait et amplifié avec succès sur ces 11 échantillons. Par contre, la procédure d'extraction de l'ADN n'a pas permis de produire suffisamment d'ADN pour effectuer le séquençage de l'ADN pour une capsule. L'analyse de la diversité β par PCoA a démontré un regroupement des microbiotes en fonction du

Qualités des capsules récupérées dans les fèces

Parmi les 16 capsules retrouvées dans les fèces, deux étaient cassées et 12 (75 %) avaient un pH > 5,5. Le pH des capsules n'était pas ($P > 0,05$) affecté par la catégorie de poids (Figure 2), mais par le sexe du cochon ($P = 0,048$) et par le temps de transit ($P = 0,038$). En effet, le pH de l'échantillon descend en dessous de six lorsque le temps de transit dépasse 48 heures.

Le volume des échantillons de digesta collectés n'a pas été affecté par la catégorie de poids, le sexe ou le temps de transit ($P > 0,05$).

Les 11 capsules extraites des fèces dans les 48 heures après l'administration et ayant un pH > 5,5 ont été considérées pour l'analyse du microbiote

type d'échantillon (Figure 3). Les microbiotes du gros intestin et des fèces sont regroupés dans un premier cluster, tandis que le microbiote des capsules et des trois segments de l'intestin grêle avaient tendance à en former un deuxième.

Le test Adonis a démontré que l'origine de l'échantillon impactait la composition bactérienne ($P = 0,001$). En outre, des comparaisons deux à deux ont été réalisées pour détecter les différences de composition bactérienne entre le contenu de la capsule, le contenu des trois segments intestinaux, le contenu du gros intestin et les fèces (Tableau 3). D'après ce test, la composition bactérienne des trois segments de l'intestin grêle n'était pas différente. Il n'y avait pas de différence non plus entre la composition bactérienne du gros intestin et celle des fèces.

La composition microbienne du contenu de la capsule était différente de celle des fèces et du gros intestin, mais pas de celle des segments 1 ($P = 0,32$) et 2 ($P = 0,06$) de l'intestin grêle. Elle différait en revanche de celle du segment 3 ($P = 0,01$).

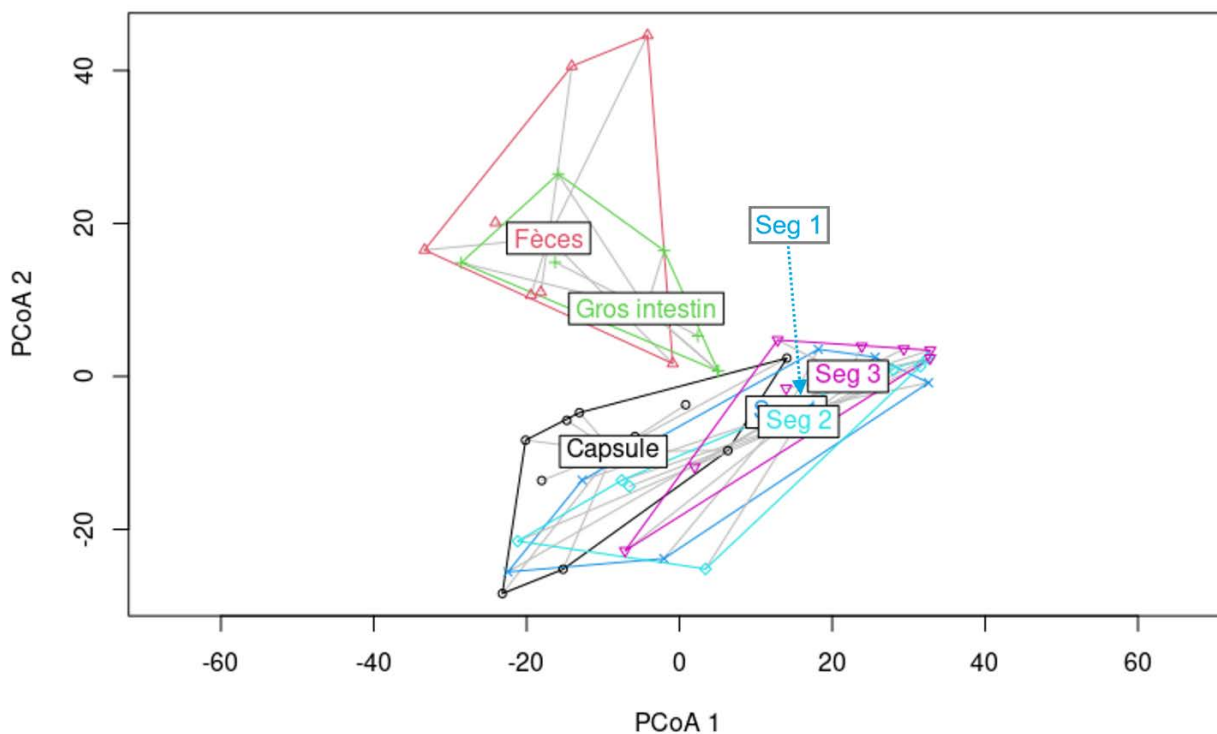


Figure 3 - Diagramme d'Analyse en Coordonnées Principales (PCoA) des matrices de distances euclidiennes des données transformées en logarithme centré (clr). Les Seg 1, 2 et 3 correspondent aux trois segments de l'intestin grêle.

Tableau 3 – Comparaisons des compositions bactériennes du contenu de la capsule, des trois segments de l'intestin grêle (Seg 1, 2 et 3), du gros intestin et des fèces, par test Adonis des distances euclidiennes des données transformées en logarithme centré (clr).

| Comparaisons | SumsOfSqs ¹ | F.Model ² | r ² ³ | P ⁴ | P adj ⁵ |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|
| Capsule vs Fèces | 7921,83 | 3,33 | 0,14 | 0,00 | 0,00 |
| Capsule vs Gros intestin | 5007,93 | 2,56 | 0,11 | 0,00 | 0,00 |
| Capsule vs Segment 3 | 6514,44 | 4,51 | 0,19 | 0,00 | 0,01 |
| Capsule vs Segment 1 | 3623,75 | 2,06 | 0,10 | 0,02 | 0,32 |
| Capsule vs Segment 2 | 4464,66 | 2,65 | 0,12 | 0,00 | 0,06 |
| Fèces vs Gros intestin | 3026,24 | 1,15 | 0,06 | 0,23 | 1,00 |
| Fèces vs Segment 3 | 9863,60 | 4,88 | 0,23 | 0,00 | 0,00 |
| Fèces vs Segment 1 | 8160,77 | 3,35 | 0,18 | 0,00 | 0,00 |
| Fèces vs Segment 2 | 8615,03 | 3,73 | 0,18 | 0,00 | 0,00 |
| Gros intestin vs Segment 3 | 4902,91 | 3,23 | 0,16 | 0,00 | 0,01 |
| Gros intestin vs Segment 1 | 3982,20 | 2,09 | 0,12 | 0,00 | 0,14 |
| Gros intestin vs Segment 2 | 4257,28 | 2,36 | 0,12 | 0,00 | 0,08 |
| Segment 3 vs Segment 1 | 1280,95 | 1,02 | 0,06 | 0,32 | 1,00 |
| Segment 3 vs Segment 2 | 1490,14 | 1,24 | 0,07 | 0,18 | 1,00 |
| Segment 1 vs Segment 2 | 972,36 | 0,62 | 0,03 | 0,82 | 1,00 |

¹SumsOfSqs = Somme des carrés reflétant la variance totale ; ²F.Model = Valeur du test F ; ³r² = Valeur du carré r, reflète les différences de groupement, plus la valeur est élevée, plus les différences de groupement sont importantes ; ⁴P = Valeur P ; ⁵P adj = Valeurs p ajustées pour les comparaisons multiples à l'aide de la correction de Bonferroni.

3. DISCUSSION

La présente étude a démontré que des capsules administrées par voie orale chez le porc peuvent collecter du contenu ayant un pH > 5,5 puis être retrouvées dans les fèces. Le pH de l'estomac à jeun ne dépassant pas 5,5 (Reynaud *et al.*, 2020), le contenu de ces capsules a donc bien été collecté dans un segment après l'estomac.

De plus, les études *in-vitro* ont montré que la majorité des capsules collectent l'échantillon dans l'heure après avoir été placées dans un milieu aqueux à pH = 7.

Le lieu d'échantillonnage *in-vivo* dépend ainsi de la neutralisation du pH et de la vitesse de transit de la capsule dans l'intestin grêle. Cette vitesse de transit dépend de la taille de l'animal. Une capsule non digestible de taille équivalente à celle testée ici (SmartPill®) met 2,3 à 4 heures pour traverser l'intestin grêle des porcs Landrace mâle de 15 à 17 kg (Henze *et al.*, 2021).

En outre, la composition microbienne du contenu de la capsule ne diffère pas de la composition microbienne du premier et du deuxième segment de l'intestin grêle. Nous démontrons ainsi que la capsule collecte un échantillon dans les premiers segments de l'intestin grêle. La composition microbienne du contenu de la capsule est différente de celle du gros intestin et

des fèces. Après collection de l'échantillon, la capsule est donc hermétique et empêche la contamination du contenu par l'environnement extérieur.

Nous avons dû mettre en place un protocole spécifique avant l'administration de la capsule, car en l'absence d'un tel protocole, les particules solides de cette taille restent coincées dans l'estomac (Rezaei Nejad *et al.* 2019). Ce protocole n'est pourtant pas suffisant pour faire passer la capsule chez les cochons de moins de 12kg, en raison de la disproportion entre la taille de la capsule et la taille du pylore. Cependant, les procédures mises en place, notamment l'alimentation liquide, retrait de la paille et utilisation d'un prokinétique, pourraient modifier ponctuellement le microbiome intestinal. Malgré cela, la composition bactérienne de la capsule n'est pas significativement différente des prélèvements des segments 1 et 2 prélevés post mortem 2 jours après l'arrêt des procédures. L'effet du protocole sur la composition du microbiote doit encore être confirmé. Enfin, le protocole pourrait être encore amélioré pour optimiser encore l'acceptabilité par l'animal.

CONCLUSION

Cette étude valide le premier dispositif non invasif pour collecter et analyser le microbiote de l'intestin grêle chez les porcs en post-sevrage. Également, un protocole standardisé a été développé et utilisé pour administrer les capsules chez les porcs. Des futures études viendront étayer la validation de ces capsules pour les porcs d'engraissement.

REMERCIEMENTS

Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention Marie Skłodowska-Curie N° 955374. Nous remercions Guy Maïkoff et son équipe pour leur précieuse aide lors de la réalisation de cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroscope, 2005. Apports alimentaires recommandés pour les porcs (livre jaune). Eds, p.
- Briejer M.R., Bosmans J.P., Van Daele P., Jurzak M., Heylen L., Leysen J.E., Prins N.H., Schuurkes J.A., 2001. The in vitro pharmacological profile of prucalopride, a novel enterokinetic compound. *Eur J Pharmacol*, 423, 71-83.
- Callahan B.J., McMurdie P.J., Rosen M.J., Han A.W., Johnson A.J.A., Holmes S.P., 2016. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nat. Methods*, 13, 581-583.
- Camilleri M., Atieh J., 2021. New Developments in Prokinetic Therapy for Gastric Motility Disorders. *Front Pharmacol*, 12,
- Choudhury R., Middelkoop A., Bolhuis J.E., Kleerebezem M., 2019. Legitimate and Reliable Determination of the Age-Related Intestinal Microbiome in Young Piglets; Rectal Swabs and Fecal Samples Provide Comparable Insights. *Front. Microbiol*, 10,
- De Maeyer J.H., Lefebvre R.A., Schuurkes J.A., 2008. 5-HT4 receptor agonists: similar but not the same. *Neurogastroenterol Motil*, 20, 99-112.
- De Ponti F., 2004. Pharmacology of serotonin: what a clinician should know. *Gut*, 53, 1520.
- Dixon P., 2003. VEGAN, a package of R functions for community ecology. *J Veg Sci*, 14, 927-930.
- Duarte M.E., Kim S.W., 2022. Intestinal microbiota and its interaction to intestinal health in nursery pigs. *Anim Nutr*, 8, 169-184.
- Folz J., Culver R.N., Morales J.M., Grembi J., Triadafilopoulos G., Relman D.A., Huang K.C., Shalon D., Fiehn O., 2023. Human metabolome variation along the upper intestinal tract. *Nat. Metab*.
- Fouhse J.M., Zijlstra R.T., Willing B.P., 2016. The role of gut microbiota in the health and disease of pigs. *Anim. Front*, 6, 30-36.
- Henze L.J., Koehl N.J., Bennett-Lenane H., Holm R., Grimm M., Schneider F., Weitschies W., Koziolk M., Griffin B.T., 2021. Characterization of gastrointestinal transit and luminal conditions in pigs using a telemetric motility capsule. *Eur. J. Pharm. Sci.*, 156, 105627.
- Jang K.B., Purvis J.M., Kim S.W., 2020. Supplemental effects of dietary lysophospholipids in lactation diets on sow performance, milk composition, gut health, and gut-associated microbiome of offspring. *Anim. Sci. J.*, 98, skaa227.
- Li Y., Wang X., Wang X.-q., Wang J., Zhao J., 2020. Life-long dynamics of the swine gut microbiome and their implications in probiotics development and food safety. *Gut Microbes*, 11, 1824-1832.
- Luo Y., Ren W., Smidt H., Wright A.G., Yu B., Schyns G., McCormack U.M., Cowieson A.J., Yu J., He J., Yan H., Wu J., Mackie R.I., Chen D., 2022. Dynamic Distribution of Gut Microbiota in Pigs at Different Growth Stages: Composition and Contribution. *Microbiol Spectr*, 10, e0068821.
- Maltecca C., Bergamaschi M., Tiezzi F., 2020. The interaction between microbiome and pig efficiency: A review. *J. Anim. Breed. Genet.*, 137, 4-13.
- Martinez Arbizu P., 2020. pairwiseAdonis: Pairwise multilevel comparison using adonis. R package version 0.4.
- McMurdie P.J., Holmes S., 2013. phyloseq: An R Package for Reproducible Interactive Analysis and Graphics of Microbiome Census Data. *PLOS ONE*, 8, e61217.
- Quast C., Pruesse E., Yilmaz P., Gerken J., Schweer T., Yarza P., Peplies J., Glöckner F.O., 2013. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Res*, 41, D590-596.
- Reynaud Y., Buffiere C., David J., Cohade B., Vauris M., Lopez M., Souchon I., Dupont D., Remond D., 2020. Temporal changes in postprandial intragastric pH: Comparing measurement methods, food structure effects, and kinetic modelling. *Food Res Int*, 128, 108784.
- Rezaei Nejad H., Oliveira B.C.M., Sadeqi A., Dehkharghani A., Kondova I., Langermans J.A.M., Guasto J.S., Tzipori S., Widmer G., Sonkusale S.R., 2019. Ingestible Osmotic Pill for In Vivo Sampling of Gut Microbiomes. *Adv. Intell. Syst.*, 1, 1900053.
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Site web: <https://www.R-project.org/>
- Schokker D., Zhang J., Vastenhout S.A., Heilig H.G.H.J., Smidt H., Rebel J.M.J., Smits M.A., 2015. Long-Lasting Effects of Early-Life Antibiotic Treatment and Routine Animal Handling on Gut Microbiota Composition and Immune System in Pigs. *PLOS ONE*, 10, e0116523.
- Shalon D., Culver R.N., Grembi J.A., Folz J., Treit P.V., Shi H., Rosenberger F.A., Dethlefsen L., Meng X., Yaffe E., Aranda-Díaz A., Geyer P.E., Mueller-Reif J.B., Spencer S., Patterson A.D., Triadafilopoulos G., Holmes S.P., Mann M., Fiehn O., Relman D.A., Huang K.C., 2023. Profiling the human intestinal environment under physiological conditions. *Nature*,
- Slifierz M.J., Friendship R.M., Weese J.S., 2015. Longitudinal study of the early-life fecal and nasal microbiotas of the domestic pig. *BMC Microbiol.*, 15, 184.
- Zhao W., Wang Y., Liu S., Huang J., Zhai Z., He C., Ding J., Wang J., Wang H., Fan W., Zhao J., Meng H., 2015. The dynamic distribution of porcine microbiota across different ages and gastrointestinal tract segments. *PLoS One*, 10, e0117441.



Quels sont les facteurs associés aux niveaux de parasitisme interne chez les porcs dans les systèmes d'élevage alternatifs ?

Maxime DELSART (1), Nicolas ROSE (2), Barbara DUFOUR (1), Jean-Michel RÉPÉRANT (3), Radu BLAGA (4), Chantal BENOIT (3), Amandine BLAIZOT (4), Édouard BOUDIN (2), Jean-François DA-COSTA (1), Virginie DORENLOR (2), Florent EONO (2), Éric EVENO (2), Stéphane KERPHÉRIQUE (2), Gilles POULAIN (2), Marie SOUQUIÈRE (2), Martine THOMAS-HÉNAFF (3), Sandra THOUMIRE (4), Françoise POL (5), Christelle FABLET (2)

(1) Anses, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Laboratoire de Santé Animale USC EPIMAI, 94700 Maisons-Alfort, France

(2) Anses Ploufragan-Plouzané-Niort, Unité EPISABE, 22440 Ploufragan, France

(3) Anses Ploufragan-Plouzané-Niort, Unité VIPAC, 22440 Ploufragan, France

(4) Anses, INRAE, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, Laboratoire de Santé Animale, BIPAR, 94700 Maisons-Alfort, France

(5) ONIRIS, 101 Rte de Gachet, 44300 Nantes, France

maxime.delsart@vet-alfort.fr

Quels sont les facteurs associés aux niveaux de parasitisme interne chez les porcs dans les systèmes d'élevage alternatifs ?

Une étude a été menée dans 112 élevages porcins alternatifs français (sur litière ou avec accès à l'extérieur) où des échantillons fécaux et sanguins ont été prélevés sur 10 truies, 10 porcs de 10-12 semaines d'âge et/ou 10 porcs en fin d'engraissement pour une analyse coprologique ainsi que pour des recherches d'anticorps dirigés contre *Ascaris suum* et *Toxoplasma gondii*. Des informations concernant la structure et la conduite de l'élevage ont été collectées lors de la visite de l'exploitation et ont fait l'objet d'analyses multidimensionnelles afin de déterminer des profils d'élevages au regard de l'infestation parasitaire et les caractéristiques de l'exploitation qui leur sont associés. Des oocystes de coccidies ont été observés dans les fèces de porcs dans la majorité des élevages (84 %), suivis par des œufs de strongles (55 %), *Trichuris suis* (32 %) et *A. suum* (16 %). Les taux d'élevages séropositifs pour *A. suum* et *T. gondii* étaient respectivement de 80 % et 56 %. L'hygiène et notamment la décontamination des installations sont des facteurs associés à un faible niveau de parasitisme. À l'inverse, l'élevage en plein air ou sur litière, un entretien médiocre des bâtiments, les élevages de petite taille ainsi que la saison (été) sont des paramètres associés à des niveaux élevés de parasitisme. L'utilisation de traitements anthelminthiques multiples sur les porcs en croissance était associée à une faible excrétion d'œufs de *T. suis* mais à des niveaux élevés de séroprévalence pour *A. suum*. Même si certains facteurs ne sont pas sous le contrôle des éleveurs (e.g. saison), des marges d'amélioration existent concernant l'hygiène et l'utilisation appropriée de traitements antiparasitaires.

What factors are associated with levels of internal parasitism in pigs in alternative rearing systems?

A study was carried out on 112 French alternative pig farms (on litter or with access to the outdoors) where faecal and blood samples were taken from 10 sows, 10 pigs aged 10-12 weeks and/or 10 pigs at the end of fattening for faecal and serological analysis (targeting *Ascaris suum* and *Toxoplasma gondii*). Information about the farm structure and management was collected during the on-farm visit, and was analysed multidimensionally to identify groups of farm profiles with a similar level of parasitic infestation and associated farm characteristics. Coccidia oocysts were observed in pig faeces on most farms (84 %), followed by strongyles eggs (55 %), *Trichuris suis* (32 %) and *A. suum* (16 %). At least two *A. suum* seropositive finisher pigs were found on 80 % of the farms, and at least one *T. gondii* seropositive finisher pig or sow on 56 % of the farms. Hygiene and, in particular, decontamination of facilities were associated with low levels of parasitism. Conversely, free-range or litter rearing, poor building maintenance, low pig numbers and the season (summer) were associated with high levels of parasitism. The use of multiple anthelmintic treatments on growing pigs was associated with low *T. suis* egg excretion but with high levels of *A. suum* seroprevalence. Although some factors are beyond the control of farmers (e.g. season), there is room for improving hygiene and the use of antiparasitic treatments.

INTRODUCTION

Les endoparasitoses sont des maladies courantes chez les porcs dans le monde entier (Brewer et Greve, 2019). Parmi les parasites internes les plus fréquemment isolés dans la production porcine des pays tempérés, figurent des protozoaires, comme des coccidies, ou encore des helminthes, comme *Ascaris suum*, *Oesophagostomum* spp., *Hyostrongylus rubidus* ou *Trichuris suis*. L'infestation par ces parasites internes peut entraîner des pertes économiques importantes, dues principalement à la dégradation des performances de croissance et de conversion alimentaire (Ózsvári, 2018). Elle peut aussi constituer un facteur de risque pour d'autres maladies du tube digestif, comme l'infection par *Lawsonia intracellularis* (Pearce, 1999) ou le portage intestinal de *Salmonella* (Steenhard et al., 2002). Enfin, elle peut interférer avec la prise vaccinale, comme cela a été montré pour *A. suum* et la vaccination contre *Mycoplasma hyopneumoniae* (Steenhard et al., 2009).

La présence de parasites internes ainsi que l'intensité des infestations sont fortement influencées par le système de production. Alors qu'une diminution du nombre d'espèces de parasites et de la pression d'infestation est constatée dans les élevages en bâtiment sur caillebotis (Nansen et Roepstorff, 1999), le parasitisme interne reste une préoccupation majeure dans les élevages sur litière et/ou ayant un accès plein-air (Yaeger et al., 2009 ; Rousing, 2011 ; Früh et al., 2018 ; Delsart et al., 2020). Ces conditions d'élevage sont plus favorables au développement et à la survie des différents stades des parasites dans l'environnement (Salajpal et al., 2013). En effet, contrairement au système d'élevage conventionnel où il est possible de supprimer ou diminuer la plupart des agents infectieux dans l'environnement, cette démarche est beaucoup plus compliquée dans les systèmes sur paille, et presque impossible à l'extérieur (Delsart et al., 2020).

Le terme d'élevage alternatif peut recouvrir plusieurs acceptions. Dans la suite de cet article, nous définissons comme « alternatif » tout système d'élevage n'élevant pas l'intégralité des porcs en bâtiments fermés et sur sols en caillebotis et/ou en béton c'est-à-dire différent des structures contemporaines prédominantes (Guy et Edwards, 2006). Il existe une grande diversité de systèmes de production alternatifs. On retrouve à la fois des élevages en plein-air, permettant aux porcs d'avoir un accès à l'extérieur et d'être en contact avec le sol et les plantes en croissance (Honeyman et al., 2001), mais aussi des élevages sur litière (paille, sciure, foin...).

Les objectifs de la présente étude étaient (i) d'estimer la fréquence des infestations par les endoparasites les plus courants (strongles, *A. suum*, *T. suis*, coccidies, *Toxoplasma gondii*) chez des porcs de différents stades (truies, porcs en croissance et porcs en fin d'engraissement) dans un échantillon d'élevages alternatifs français et (ii) de définir une typologie des élevages en fonction du niveau de parasitisme, des caractéristiques de l'élevage et de sa conduite. Il s'agit ici d'une étude descriptive.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Échantillon de l'étude et sélection des troupeaux

La population cible des élevages pouvant être inclus dans cette étude était constituée de l'ensemble des élevages de porcs situés en France continentale qui disposaient de logement sur

litière et/ou avec accès à l'extérieur (courette extérieure, parcours, plein-air). Si l'élevage comprenait une partie naissance (naiseur-engraisseur ou naisseur), un minimum de 20 truies était requis. S'il comprenait une partie engraissement (naiseur-engraisseur ou post-sevrage-engraisseur) un minimum de 100 porcs charcutiers était nécessaire. Tout ou partie de l'élevage devait proposer aux animaux un système d'élevage alternatif. Dans le cas des naisseurs-engraisseurs, le système alternatif devait concerner à la fois tout ou partie des truies et au moins un stade de croissance (post-sevrage et/ou engraissement). Pour être inclus, l'élevage devait en outre produire des porcs en système alternatif depuis au moins 18 mois.

1.2. Recueil des données et prélèvements des échantillons dans les élevages

Une étude transversale a été menée dans 112 élevages, en France continentale, de juin 2020 à février 2022. Chaque élevage a fait l'objet d'une visite unique, durant laquelle des questions concernant la description, la conduite technique et sanitaire de l'élevage ainsi que l'utilisation d'anthelminthiques étaient posées à l'éleveur. En parallèle, des observations et des mesures concernant l'élevage et les animaux étaient réalisées dans l'élevage, ainsi que des prélèvements sur les animaux. Dans chaque élevage, et selon les catégories d'animaux présents, 10 truies, 10 porcelets de 10 à 12 semaines et 10 porcs de plus de 22 semaines d'âge étaient sélectionnés aléatoirement. Des échantillons fécaux frais étaient prélevés au hasard, si possible sur les animaux sélectionnés, ou directement au sol immédiatement après la défécation, afin de limiter les risques de prélever plusieurs fois le même animal. Dix échantillons étaient réalisés sur chacune des catégories d'animaux. Ces échantillons étaient placés individuellement dans des pots (180 ml, polypropylène) pour coprologie. Un échantillon de sang était prélevé sur chacun des porcs de plus de 22 semaines d'âge et sur chacune des truies, par ponction de la veine jugulaire, en utilisant des tubes sous vide (Vacuette, Dutscher SAS, Brumath, France) sans anti-coagulant. Les échantillons étaient identifiés individuellement et acheminés au laboratoire pour traitement. Les déjections étaient transportées entre l'élevage et le laboratoire à une température comprise entre +4°C et +6°C. Le sérum était obtenu par centrifugation pendant 10 min à 3500 x g et conservé à -20°C jusqu'à l'analyse ultérieure.

1.3. Analyses de laboratoire

1.3.1. Coprologie

Les échantillons fécaux, réfrigérés jusqu'au moment de l'examen (à 5°C), ont été analysés individuellement. Après homogénéisation avec une spatule, trois grammes de chaque échantillon ont été mélangés durant 5 minutes avec 42 ml d'eau saturée en chlorure de sodium. Une fois la suspension tamisée, la chambre d'une cellule de McMaster a été ensuite remplie avec le surnageant. Après 10 minutes, le contenu de la chambre de la cellule de McMaster était observé au grossissement X 100. En cas d'incertitude sur les éléments observés, un grossissement X 200 était utilisé, notamment pour les oocystes de coccidies. En cas de détection, l'identification et le comptage par espèce du nombre d'oocystes de coccidies ou d'œufs de strongles, de *T. suis* ou d'*A. suum* étaient réalisés par espèce dans la chambre de la cellule de McMaster. Le nombre d'oocystes ou d'œufs par gramme de fèces était obtenu en multipliant par 100 le nombre d'oocystes ou d'œufs comptabilisés dans une chambre de la cellule de McMaster.

Si les œufs ou les oocystes étaient trop nombreux pour un comptage correct, une seconde dilution au 1/10 était réalisée, en ajoutant 9 ml de solution saline à 1 ml du 1^{er} mélange. Le nombre d'oocystes ou d'œufs par gramme de fèces était alors obtenu en multipliant par 1000 le nombre d'oocystes ou d'œufs comptabilisés dans une chambre de la cellule de McMaster.

1.3.2. Sérologie

Une analyse sérologique pour la recherche d'anticorps dirigés contre *A. suum* a été réalisée de façon individuelle, sur tous les prélèvements sanguins effectués sur les porcs en fin de croissance. Après centrifugation des prélèvements, les sérums ont été envoyés à l'Université de Ghent pour la détection des anticorps IgG dirigés contre *A. suum* à l'aide du test ELISA SERASCA®, selon les modalités décrites par Vlamincx *et al.* (2012), en utilisant l'antigène hémoglobine purifié d'*A. suum* ; le seuil de positivité était défini par un ratio de densité optique supérieur à 0,5. En ce qui concerne *T. gondii*, une analyse sérologique a été réalisée sur chacun des prélèvements sanguins effectués sur les truies et les porcs en fin d'engraissement. Les sérums des porcs ont été analysés par le test d'agglutination modifié (MAT) pour la détection de l'immunoglobuline (IgG) spécifique de *T. gondii* en utilisant un antigène préparé à partir de tachyzoïtes RH entiers fixés dans du formol, comme décrit par Dubey et Desmonts (1987) fourni par le Centre national de référence pour la toxoplasmose à Reims, France (Villena *et al.*, 2012). Les échantillons de sérum ont été dilués deux fois en commençant par une dilution 1:6 jusqu'à une dilution 1:12 288. Le seuil de dilution était de 1:6.

1.4. Analyses statistiques

1.4.1. Description du parasitisme

Le statut de chaque élevage (infesté ou non infesté) pour les helminthes (strongles, *A. suum*, *T. suis*) et pour les coccidies a été déterminé à partir de l'examen des échantillons fécaux. Un élevage a été considéré comme infesté si au moins un œuf d'helminthe ou un oocyste de coccidie avait été observé. De la même manière, le statut de chaque catégorie d'animaux (truies, porcelets, porcs en fin d'engraissement) a été défini et les pourcentages d'animaux infestés ont été calculés pour chaque élevage. Un élevage était considéré positif en sérologie vis-à-vis d'*A. suum* si au moins deux prélèvements sur les 10 réalisés étaient positifs. Ce seuil a été défini suite à l'estimation bayésienne de la sensibilité et de la spécificité des diagnostics coprologiques et sérologiques pour *A. suum* (Delsart, 2023). Un élevage était considéré comme positif en sérologie vis-à-vis de *T. gondii* si le taux de positivité était strictement supérieur à zéro après prise en compte de la sensibilité (82,9 %) et de la spécificité (90,3 %) de la MAT. Dans le cas de *T. gondii*, la positivité a été définie au niveau de l'élevage, mais aussi par catégorie d'animaux (truies et porcs en fin d'engraissement). L'analyse descriptive des résultats a été réalisée avec le logiciel R (R Development Core Team, 2008).

1.4.2. Relation entre les parasites

Les associations entre les pourcentages d'animaux infestés par au moins un œuf de strongles, d'*A. suum*, de *T. suis*, par au moins un oocyste de coccidie dans chaque catégorie d'animaux de chaque élevage et le taux de séropositivité pour *T. gondii* et *A. suum* ont été étudiées par analyse en composantes principales (ACP) (Rstudio®, packages FactoMineR et Factoshiny). La diversité des types d'élevages nous a poussé à réaliser ce travail successivement sur trois sous populations : étude des relations (i) parmi les élevages disposant de

reproducteurs (92 élevages naisseurs et naisseurs engraisseurs), (ii) parmi les élevages disposant de porcs sevrés en croissance (100 élevages post-sevrés engraisseurs et naisseurs engraisseurs) et enfin (iii) parmi les élevages disposant à la fois de reproducteurs et de porcs sevrés en croissance (80 élevages naisseurs engraisseurs exclusivement).

1.4.3. Relation entre le parasitisme, les caractéristiques et la conduite d'élevage

Six classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) (Rstudio®, packages FactoMineR et Factoshiny) ont été réalisées afin de regrouper en clusters les élevages disposant à la fois de truies et de porcs sevrés en croissance en fonction de leur statut vis-à-vis (i) du parasitisme en général, (ii) des strongles, (iii) de *T. suis*, (iv) d'*A. suum*, (v) des coccidies ou (vi) de *T. gondii*. L'association entre les niveaux de parasitisme définis par les clusters et les variables qualitatives décrivant le type d'élevage (sept variables), les modalités de logement (27 variables), la conduite des animaux (deux variables), la conduite sanitaire (huit variables) et la conduite antiparasitaire (10 variables), ainsi que la saison durant laquelle l'élevage a été visité, a été testée par analyse univariée (test du Chi² ou test exact de Fisher si les conditions d'application du test du Chi² n'étaient pas respectées). Les variables dont la valeur-p à ce test était inférieure à 25 % étaient conservées pour une analyse multivariée. La colinéarité entre les variables sélectionnées a ensuite été testée ($p < 0,05$, test du Chi² ou test exact de Fisher si les conditions d'application du test du Chi² n'étaient pas respectées). Lorsque les variables étaient trop redondantes, nous avons retenu celles qui décrivaient le mieux l'ensemble des variables concernées. Les relations entre les éléments conservés et les statuts parasitaires étaient ensuite étudiées par analyse des correspondances multiples (ACM) (Rstudio®, packages FactoMineR et Factoshiny). Cette analyse a été réalisée sur les 80 élevages naisseurs-engraisseurs afin de disposer de l'ensemble des données descriptives des élevages. La variable décrivant le niveau de parasitisme a été incluse dans l'ACM en variable supplémentaire. Dans un premier temps, l'étude a été réalisée en tenant compte du niveau de parasitisme général des élevages. Afin d'identifier des facteurs spécifiques à chaque type de parasite au-delà des facteurs communs à tous, des analyses ont ensuite été réalisées pour chacun des helminthes, les coccidies et *T. gondii* de façon séparée. Le principe a été de faire des ACM successives en retirant les variables les moins contributrices à la construction des axes sur lesquels les groupes d'élevages (clusters de parasitisme) étaient principalement représentés.

2. RESULTATS

2.1. Analyses coprologiques

Parmi les 112 élevages, seuls six ne présentaient aucun œuf d'helminthes ou oocyste de coccidies. Dans chaque élevage infesté, en moyenne 63 % des truies prélevées présentaient au moins un œuf d'helminthes ou oocyste de coccidies dans leur fèces (médiane = 80 %), 26 % des porcelets de 10-12 semaines d'âge (médiane = 10 %) et 42 % des porcs d'au moins 22 semaines d'âge (médiane = 30 %).

Des oocystes de coccidies ont été observés dans 83,9 % des élevages, des œufs de strongles, *A. suum* et *T. suis* dans respectivement 54,5 %, 16,1 % et 32,1 % des élevages. La proportion d'élevages infestés par parasite et par catégorie d'animaux est détaillée dans la figure 1. Nous n'avons pas été jusqu'à la détermination du genre des coccidies observées.

Toutefois, au regard de la morphologie globale des oocystes observés et surtout de l'âge des animaux prélevés, il est fort probable que les oocystes mis en évidence dans notre étude soient des oocystes d'*Eimeria*. Parmi les autres parasites observés, notons des œufs de *Strongyloides* spp. dans deux élevages (dans les déjections d'une truie pour l'un et dans les fèces d'un porcelet de 10-12 semaines d'âge pour l'autre) et des œufs de parasites non identifiés dans deux autres élevages.

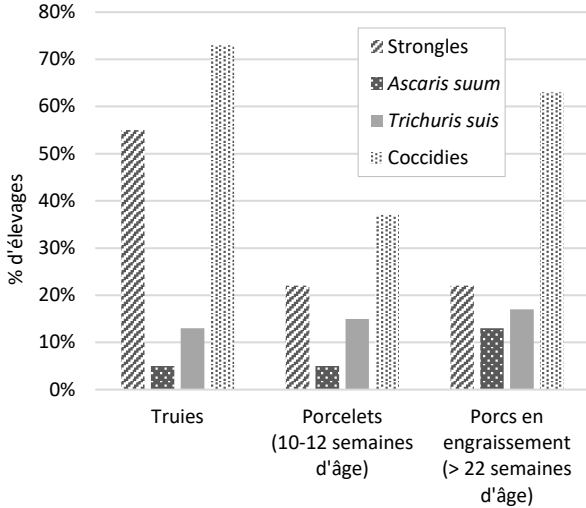


Figure 1 - Proportions d'élevages infestés par parasite et par catégorie d'animaux (112 élevages dont 92 avec des truies et 100 avec des porcs en croissance).

2.2. Analyses sérologiques

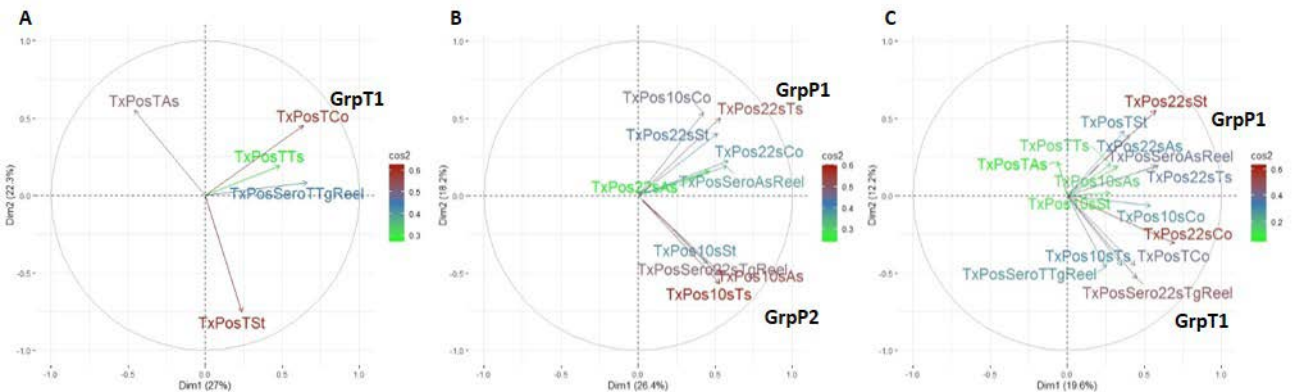
La détection des IgG dirigés contre *A. suum* a été réalisé sur les porcs en fin d'engraissement dans 100 élevages de type naisseur-engraisseur ou post-sevreur-engraisseur. Quarante-vingt pour cent des élevages ont présenté au moins deux prélèvements séropositifs pour *A. suum*. Le taux moyen

d'animaux séropositifs par élevage était de 44,5 % ($\sigma = 30,5$; médiane = 40 ; min = 0 ; max = 100).

Les analyses sérologiques vis-à-vis de *T. gondii* ont été réalisées à la fois sur les truies et sur les porcs d'au moins 22 semaines d'âge. Après correction en tenant compte des caractéristiques du test MAT, 63 des 112 élevages (56,2 %) présentaient un taux d'animaux séropositifs supérieur à zéro. La proportion de truies et de porcs en fin de croissance séropositifs vis-à-vis de *T. gondii* était strictement supérieure à zéro dans respectivement 70,6 % des élevages ayant des reproducteurs (naisseurs et naisseurs-engraisseurs) et 39,0 % des élevages ayant des porcs sevrés en croissance (naisseurs-engraisseurs ou post-sevreur-engraisseurs). Le taux moyen d'animaux séropositifs par élevage était de 15,1 % ($\sigma = 23,1$; min = 0 ; max = 96). En moyenne 26,4 % des truies ($\sigma = 33,6$; min = 0 ; max = 100) et 6,6 % des porcs d'au moins 22 semaines d'âge ($\sigma = 16,8$; min = 0 ; max = 82) étaient séropositifs par élevage.

2.3. Relations entre les parasites

Une ACP a été réalisée sur trois populations. Dans les 92 élevages disposant de reproducteurs, trois groupes principaux d'associations entre les variables décrivant les fréquences d'infestation par élevage semblent se révéler (Figure 2A). Un groupe de variables positivement corrélées (GrpT1) est caractérisé par le pourcentage de truies infestées par des coccidies et le pourcentage de truies séropositives à *T. gondii*. Le deuxième ensemble de variables, négativement corrélées, comprend les pourcentages de truies positives en coprologie pour *A. suum* d'une part et pour les strongles d'autre part. Ces variables semblent indépendantes de celles du groupe GrpT1. Enfin le taux de truies positives en coprologie à *T. suis* qui ne se projette quasiment que sur la 3ème dimension (non représentée sur la figure 2) semble négativement corrélé sur cet axe au taux de truies séropositives vis-à-vis de *T. gondii*, tout en étant indépendant des autres variables.



TxPosTSt : Taux de positivité des truies pour les strongles ; *TxPos10sSt* :Taux de positivité des porcelets de 10-12 semaines d'âge pour les strongles ; *TxPos22sSt* : Taux de positivité des porcs d'au moins 22 semaines d'âge pour les strongles ; *TxPosTAs* : Taux de positivité des truies pour *A. suum* ; *TxPos10sAs* : Taux de positivité des porcelets de 10-12 semaines d'âge pour *A. suum* ; *TxPos22sAs* : Taux de positivité des porcs d'au moins 22 semaines d'âge pour *A. suum* ; *TxPosTTs* : Taux de positivité des truies pour *T. suis* ; *TxPos10sTs* : Taux de positivité des porcelets de 10-12 semaines d'âge pour *T. suis* ; *TxPos22sTs* : Taux de positivité des porcs d'au moins 22 semaines d'âge pour *T. suis* ; *TxPosTCo* : Taux de positivité des truies pour les coccidies ; *TxPos10sCo* : Taux de positivité des porcelets de 10-12 semaines d'âge pour les coccidies ; *TxPos22sCo* : Taux de positivité des porcs d'au moins 22 semaines d'âge pour les coccidies ; *TxPosSeroAsReel* : Taux de séropositivité des porcs d'au moins 22 semaines d'âge pour *A. suum* ; *TxPosSeroTgReel* : Taux de séropositivité des truies pour *T. gondii* ; *TxPosSero22sTgReel* : Taux de séropositivité des porcs d'au moins 22 semaines d'âge pour *T. gondii* ; *GrpT*: groupes de variables associées aux taux de positivité sur les truies ; *GrpP*: groupes de variables associées aux taux de positivité sur les porcs sevrés en croissance.

Figure 2 - Résultats sur les deux premières dimensions des analyses en composantes principales mettant en évidence les associations entre des variables décrivant le parasitisme des truies (A, 92 élevages), sur les porcs sevrés en croissance (B, 100 élevages) et à la fois sur les porcs sevrés en croissance et les truies (C, 80 élevages).

La deuxième série d'analyses concernait les 100 élevages avec des animaux sevrés en croissance. On observe principalement deux groupes d'associations. Le premier (GrpP1, figure 2B),

regroupe les variables marquant un pourcentage plus élevé d'animaux infestés tardivement (après 22 semaines d'âge), aussi bien pour les strongles, *T. suis* et les coccidies, ainsi que le

pourcentage de porcelets infestés par des coccidies à 10-12 semaines d'âge et le pourcentage d'animaux séropositifs vis-à-vis d'*A. suum* en fin d'engraissement. Un second groupe (GrpP2, figure 2B), comprend les variables liées à un pourcentage plus élevé d'animaux infestés précocement, à 10-12 semaines d'âge, aussi bien pour *A. suum*, *T. suis* et les strongles. Ces variables sont également corrélées positivement avec le pourcentage de porcs séropositifs vis-à-vis de *T. gondii* en fin d'engraissement. La variable associée au pourcentage de porcs positifs par coprologie à *A. suum* en fin d'engraissement, projetée principalement sur l'axe 3 (non représenté sur la figure 2), ne semble alors corrélée à aucun de ces 2 groupes.

La dernière série d'analyses a concerné les élevages naisseurs-engraisseurs, disposant à la fois de truies et de porcs sevrés en croissance (80 élevages). Dans cette ACP, on retrouve le groupe de variables GrpP1 (Figure 2C), sans les variables liées aux coccidies, mais associées en plus au taux de truies positives en coprologie aux strongles. On retrouve aussi le groupe de variables GrpT1 dans un ensemble de variables regroupant les taux de positivité aux coccidies et les taux de séropositivité vis-à-vis de *T. gondii* des truies et des porcs en fin d'engraissement. Ces variables semblent indépendantes du 1^{er} groupe. Sur le plan 1-4 (non représenté sur la figure 2), les variables relatives aux taux de positivité des truies et des porcelets de 10-12 semaines d'âge aux strongles semblent liées, et indépendantes des autres variables. Le taux de truies positives à *T. suis* semble indépendant des autres variables, hormis du taux de porcelets de 10-12 semaines d'âge positifs à *A. suum*. Il est en outre négativement corrélé aux variables relatives aux taux de positivité des truies et des porcs en fin d'engraissement à *A. suum*, ces variables semblant associées entre-elles et indépendantes des taux de positivité des porcelets de 10-12 semaines d'âge à *A. suum* ou aux coccidies.

2.4. Relation entre le parasitisme, les caractéristiques et la conduite d'élevage

Le résultat de l'ACM consacrée à la pression parasitaire générale révèlent que la présence de litière en maternité, un intervalle entre bandes au moins égal à 7 semaines, un intervalle d'au moins 6 semaines entre les prélèvements de fèces faits sur les animaux en fin de croissance et le dernier vermifuge administré sur ces animaux, et des visites d'élevage en été étaient associés aux élevages présentant un niveau de parasitisme plus élevé, tandis que l'absence d'engraissement en plein-air était associée aux élevages les moins parasités.

La présence de maternités sur litière, de courettes extérieures en verraterie-gestante, l'absence de quarantaine en bâtiment, l'absence de nettoyage systématique entre bandes en post-sevrage et dans une moindre mesure le déparasitage interne des cochettes en quarantaine étaient associés aux élevages présentant le plus grand nombre d'animaux avec des œufs de strongles dans leurs déjections. A l'inverse, le nettoyage systématique entre bandes en post-sevrage était associé aux élevages présentant le moins d'animaux avec des œufs de strongles.

L'absence de conduite des reproducteurs en plein-air, que ce soit en maternité, en verraterie-gestante ou en quarantaine et la présence de litière en verraterie-gestante sont associées aux élevages présentant les proportions d'animaux avec des œufs de *T. suis* dans leur fèces les plus basses, alors que la présence de maternités ou d'un bloc verraterie-gestante en plein-air semble associée aux élevages présentant le plus d'animaux avec des œufs de *T. suis*. Ces derniers semblent plutôt être des

élevages de type naisseur-engraisseur partiel, avec un entretien médiocre des bâtiments et pratiquant peu, voire pas de traitement antiparasitaire interne sur les porcs sevrés en croissance, à l'inverse des élevages avec peu d'animaux infestés, qui pratiqueraient plus fréquemment des traitements vermifuges. Les élevages très infestés ont été visités en été ou en hiver, les faiblement infestés plutôt en automne.

Le lavage systématique des maternités entre bandes et le fait de déparasiter au maximum une fois les porcs sevrés en croissance sont des variables associées aux élevages ayant présenté strictement moins de deux porcs séropositifs vis-à-vis d'*A. suum*. Dans une moindre mesure, ces élevages semblent avoir de grands intervalles entre bandes. A *contrario*, déparasiter au moins 2 fois les porcs sevrés durant leur phase de croissance et les truies au moins 2 fois par an semblent être des mesures associées aux élevages présentant au moins deux porcs séropositifs vis-à-vis d'*A. suum*.

Des visites estivales, un intervalle entre bandes d'au moins 7 semaines et l'absence de lavage systématique des engraissements entre bandes sont associés aux élevages présentant le plus d'animaux avec des oocystes de coccidies dans leurs déjections, alors que des visites automnales ou hivernales, l'absence d'engraissement plein-air et le lavage systématique des engraissements entre bandes sont associés aux élevages présentant le moins d'animaux parasités.

Enfin, les élevages présentant un nombre plus élevé d'animaux séropositifs vis-à-vis de *T. gondii* ont été enquêtés principalement au printemps. Ce sont des élevages de petite taille (moins de 50 truies) avec un mauvais entretien des bâtiments et une absence de lavage systématique des engraissements.

Parmi les variables présélectionnées pour ces ACM, la colinéarité était forte entre la présence de maternité en plein-air, la présence de litière en maternité (variables négativement corrélées) et le lavage systématique des maternités entre chaque bande (variables négativement corrélées). Ces deux dernières variables étaient fortement et positivement corrélées entre elles et avec la présence de maternité en bâtiment. Par ailleurs, la présence de courettes extérieures en verraterie-gestante présentait une colinéarité forte avec le lavage systématique de la verraterie-gestante (variables positivement corrélées). Enfin, la colinéarité était forte entre le lavage systématique des engraissements entre chaque bande et le lavage systématique des post-sevrages entre chaque bande (variables positivement corrélées) ainsi qu'entre l'intervalle entre bandes et le nombre de truies par unité de travailleur humain (variables négativement corrélées).

3. DISCUSSION - CONCLUSION

Notre étude confirme que les parasites internes sont très présents dans les élevages alternatifs de porcs, près de 95 % des élevages ayant présenté (par ordre d'importance) des oocystes de coccidies et/ou des œufs de strongles, de *T. suis* et/ou d'*A. suum* dans les fèces prélevées. Ces résultats contrastent avec ceux d'autres études réalisées dans des élevages conventionnels (Delsart *et al.*, 2020). Concernant plus spécifiquement *A. suum*, il y a une grande différence entre les résultats obtenus au moyen du diagnostic coprologique (16 % des élevages avec des œufs d'*A. suum* dans au moins un prélèvement de fèces) ou avec le diagnostic sérologique (80 % des élevages avec au moins deux animaux séropositifs). Il paraît toutefois assez logique qu'on obtienne des valeurs plus élevées

avec le diagnostic sérologique. En effet, la sérologie propose une image cumulative et historique, la coprologie une mesure ponctuelle de l'infestation par des formes adultes et sexuées.

Les résultats concernant *T. gondii*, agent zoonotique pouvant être transmis à l'homme par la consommation de viande contaminée insuffisamment cuite, montrent également une fréquence élevée d'infection, avec plus de 56 % des élevages considérés comme séropositifs dans notre étude. Les relations observées entre le taux de séropositivité des animaux à *T. gondii* et les taux de truies et de porcs en fin d'engraissement positifs aux coccidies suggèrent qu'il existe sans doute des facteurs favorisants communs entre les coccidies et *T. gondii* dans les élevages. Concernant les helminthes, il semble y avoir une relation positive entre les fréquences d'infestation par les strongles et *T. suis* sur les porcs sevrés en croissance au sein de chacune des deux classes d'âge prélevées, indépendamment l'une de l'autre, que ce soit à 10-12 semaines d'âge (les fréquences d'infestation par *A. suum* sont aussi associées à celles des strongles et de *T. suis* dans cette classe d'âge) ou en fin d'engraissement. En outre, l'absence de relation entre les taux d'infestation par des helminthes sur les truies et sur les porcelets de 10-12 semaines d'âge, hormis pour les strongles, suggère que la transmission mère-porcelets n'est pas un élément fondamental dans la dynamique d'infestation d'*A. suum* ou *T. suis* dans les systèmes d'élevage alternatifs.

Notre étude confirme également que l'hygiène et notamment la décontamination des bâtiments sont des éléments associés à des faibles niveaux de parasitisme dans les élevages. *A contrario*, la conduite des animaux en plein-air ou sur litière constituent des paramètres associés à des niveaux de parasitisme dégradés, en lien avec des temps de contact avec des excréments potentiellement infestés plus élevés et des décontaminations du sol plus compliquées. De plus, on observe que les élevages dont l'entretien des abords ne permettait pas de limiter l'introduction des nuisibles, sont associés à un niveau

de séroprévalence plus important vis-à-vis de *T. gondii* et que les élevages à faible effectif d'animaux, souvent avec des intervalles entre bandes élevés, sont également associés à des niveaux de parasitisme dégradés pour *T. gondii*, mais aussi pour les coccidies. Distribuer au moins deux traitements anthelminthiques du sevrage jusqu'à l'abattage des porcs semble nécessaire pour limiter le taux d'animaux positifs à *T. suis* dans l'élevage. Mais cela ne semble pas être le cas pour *A. suum*, un nombre important de traitements anthelminthiques sur les reproducteurs et/ou sur les porcs en croissance étant associés aux élevages présentant des séroprévalences élevées pour ce parasite. Cela pourrait être dû à un manque d'efficacité des protocoles en place. Toutefois, les traitements sont aussi probablement plus fréquents dans les élevages pour lesquels un diagnostic d'ascaridiose a été établi. La sérologie propose une image cumulative et historique de l'infestation, elle ne permet pas de caractériser la présence ou l'absence du parasite après les traitements. Enfin l'été semble être une saison favorable à des niveaux de parasitisme globalement plus élevés, notamment par les coccidies et *T. suis*, en lien avec des conditions a priori plus propices à leur développement.

Même si certains facteurs ne sont pas sous le contrôle des éleveurs (e.g. saison), des marges d'amélioration existent concernant l'hygiène et l'utilisation appropriée de traitements antiparasitaires.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme de recherche PIGAL (acronyme pour pig alternatif), piloté par l'Anses de Ploufragan-Plouzané-Niort. Nous souhaitons remercier les partenaires financiers (Avril Nutrition Animale SAS, Cooperl, Elanco, FranceAgriMer, Herta, Inaporc, Sofral le Gouessant et Zoetis France) et l'institut Carnot AgriFood Transition.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brewer M.T., Greve J.H., 2019. Internal Parasites. In: Jeffrey J. Zimmerman, Locke A. Karriker, Alejandro Ramirez, Kent J. Schwartz, Grégory W. Stevenson and Jianqiang Zhang, Eds. (Eds), Disease of swine, 11th ed., 1028-1040. John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, USA, 11th edition.
- Delsart M., 2023. Santé, biosécurité et bien-être animal dans les élevages de porcs en systèmes alternatifs : focus épidémiologique sur les parasites. Thèse de doctorat. Université Paris-Est Créteil, Maisons-Alfort. 370 p. Consultable : <https://enva.hal.science/tel-03991387>.
- Delsart M., Pol F., Dufour B., Rose N., Fablet C., 2020. Pig Farming in Alternative Systems: Strengths and Challenges in Terms of Animal Welfare, Biosecurity, Animal Health and Pork Safety. *Agriculture*, 10, 261.
- Dubey J.P., Desmonts G., 1987. Serological responses of equids fed *Toxoplasma gondii* oocysts. *Equine Vet. J.*, 19, 337-339.
- Früh B., Bochicchio D., Edwards S., Hegelund L., Leeb C., Sundrum A., Werne S., Wiberg S., Prunier A., 2018. Description of organic pig production in Europe. *Org. Agr.*, 4, 149-161.
- Guy J.H., Edwards S., 2006. Alternative production systems. In: Wageningen Academic Pub (Eds), *Livestock Production and Society*, 273-286. Edited by R. Geers and F. Madec. Wageningen, The Netherlands.
- Honeyman M., McGlone J.J., Kliebenstein J., Larson B., 2001. Outdoor Pig Production. *Pork Industry handbook*, 9.
- Nansen P., Roepstorff A., 1999. Parasitic helminths of the pig: factors influencing transmission and infection levels. *Int. J. Parasitol.*, 29, 877-891.
- Ózsvári L., 2018. Production impact of parasitisms and coccidiosis in swine. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, 7, 217-222.
- Pearce G.P., 1999. Interactions between dietary fibre, endo-parasites and *Lawsonia intracellularis* bacteria in grower-finisher pigs. *Vet. Parasitol.*, 87, 51-61.
- R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing. Consultable : <http://www.R-project.org>.
- Rousing T., 2011. Final report for Project no. 1904. Prevention of selected diseases and parasites in organic pig herds - by means of HACCP based management and surveillance programme (CorePig). University of Aarhus, Aarhus, Denmark, Consultable : <https://orgprints.org/20573/>.
- Salajpal K., Karolyi D., Luković Z., 2013. Sanitary aspects of outdoor farming systems. Proc. Conference "8th International Symposium on the Mediterranean Pig - Acta agriculturae Slovenica", Ljubljana, Slovenia, pp. 109-117.
- Steenhard N.R., Jungersen G., Kokotovic B., Beshah E., Dawson H. D., Urban J. F., Roepstorff A., Thamsborg, S. M., 2009. *Ascaris suum* infection negatively affects the response to a *Mycoplasma hyopneumoniae* vaccination and subsequent challenge infection in pigs. *Vaccine*, 27, 5161-5169.
- Steenhard N.R., Jensen T.K., Baggesen D.L., Roepstorff A., Møller K., 2002. Excretion in feces and mucosal persistence of *Salmonella* ser. Typhimurium in pigs subclinically infected with *Oesophagostomum* spp. *Am. J. Vet. Res.*, 63, 130-136.
- Vlaminck J., Nejsum P., Vangroenweghe F., Thamsborg S. M., Vercruyse J., Geldhof P., 2012. Evaluation of a serodiagnostic test using *Ascaris suum* haemoglobin for the detection of roundworm infections in pig populations. *Vet. Parasitol.*, 189, 267-273.
- Yaeger M., Karriker L., Layman L., Halbur P., Huber G., Van Hulzen K., 2009. Survey of disease pressures in twenty-six niche herds in the midwestern United States. *J. Swine Health Prod.*, 17, 256-263.



Gestion de la grippe récurrente H1avN1 à travers la vaccination des porcelets et le contrôle des agents de co-infection dans un élevage naisseur-engraisseur breton

Claudio TROMBANI (1), Mélanie ROPARS (2), Vianney SICARD (3), Sébastien PICAULT (3), Nicolas ROSE (4),
Mathieu ANDRAUD (4)

(1) BREIZHPIG SCOP SAS, 63 Rue Ar Men, 29800 Plouedern, France

(2) EVEL'Up, 38 Rue du Stiff, 29800 Plouedern, France

(3) INRAE, Oniris, BIOEPAR, La chantrerie, 44300 Nantes, France

(4) ANSES, 41 rue de Beaucemaine, BP 53, 22440 Ploufragan, France

c.trombani@breizhpiq.com

Gestion de la grippe récurrente H1avN1 à travers la vaccination des porcelets et le contrôle des agents de co-infection dans un élevage naisseur-engraisseur breton

Les virus de l'influenza A du porc (VIP) peuvent entraîner des infections enzootiques caractérisées par leur persistance à l'échelle du troupeau, infectant systématiquement les bandes en post-sevrage à un âge fixe. Ces infections récurrentes sont d'une importance considérable en raison de l'impact sur la santé et les performances des porcelets. Cet essai visait à tester une stratégie de contrôle dans un élevage infecté de 600 truies naisseur-engraisseur présentant un syndrome grippal récurrent chez les porcelets de 6-7 semaines. Le diagnostic différentiel sur les porcelets a révélé la présence d'une co-infection par la Grippe et *Glaesserella parasuis* compliquée par la colibacillose F4. La stratégie de contrôle a consisté à maîtriser la prise colostrale et les paramètres d'ambiance en post-sevrage, puis à vacciner les porcelets avec le vaccin VIP trivalent (2 ml, une injection) qui a été administrée à 25 jours d'âge pendant 10 mois. S'en est suivi, pendant 10 mois, l'arrêt de cette vaccination grippe, l'utilisation d'un autovaccin *G. parasuis* chez les reproducteurs et la vaccination des porcelets contre la colibacillose. Le suivi a été réalisé en comparant les résultats des lots avant (12 mois, 16 800 porcelets) et après (20 mois, 28 000 porcelets) ; le comportement des porcelets a également été surveillé à l'aide d'un outil d'analyse d'images (IA). Une réduction du nombre d'animaux affectés a été enregistrée avec l'analyse d'images, ainsi qu'une réduction de 2,6 % de la mortalité en PS, des traitements individuels et une quasi-disparition des traitements collectifs ; le GMQ PS a augmenté numériquement de 54 g. Le retour sur investissement a été estimé à 2,6. Cet essai a mis en évidence l'importance d'une approche globale pour la prise en charge des gripes récurrentes en PS.

Managing recurrent H1_{av}N1 influenza by vaccinating piglets and controlling other coinfection agents on a French farrow-to-finish farm

Swine influenza A viruses (swIAV) can cause enzootic infections characterized by herd-wide persistence of swIAVs, systematically infecting all post-weaning (PW) batches at a fixed age. These recurrent infections are of considerable importance because of their synergy with co-infection agents and impact on piglet health and performances. This trial aimed to test a control strategy on an infected farm. The farrow-to-finish farm of 600 sows had a recurrent flu syndrome at 6-7 weeks of age due to swIAV H1_{av}N1. Sows were vaccinated against SIV with a trivalent inactivated vaccine (Respiporc Flu 3; colostrum protection until 5 weeks). Differential diagnosis of piglets performed before and during the trial (necropsy, histology, bacteriology, PCR) revealed a PRDC with SIV and *Glaesserella parasuis* (*Gps*), complicated by an *Escherichia coli* F4 post-weaning diarrhea. To attempt to control the diseases, piglets were vaccinated with the trivalent vaccine at 25 days (2 ml once) for 10 months and then, for another 10 months, sows received autogenous *Gps* vaccination and F4 piglets were vaccinated. The follow-up strategy was based on batch results before (12 months, 16,800 piglets) and after (20 months, 28,000 piglets) implementation; behaviour of piglets was also monitored using an image analysis tool (IAT). The number of infected animals decreased according to the IAT. We observed a reduction in PW mortality from 4.2 % to 2.8 % in individual treatments per batch and collective treatments per batch (mean of 6.9 to 2.4 with subsequent cessation) and a numerical increase in the DWG of 54 g. The return on investment was estimated at 2.6. This trial highlighted the importance of a global approach to the management of recurrent influenza, including piglet vaccination and co-infection control.

INTRODUCTION

Les virus influenza A porcins (VIP) responsables de la grippe dans l'espèce porcine peuvent provoquer des formes d'infection enzootiques. Ces formes sont caractérisées par une persistance des VIP au sein de l'élevage, infectant systématiquement toutes les bandes de porcs en croissance à un âge fixe (Rose *et al.*, 2013). Ces infections répétées provoquent un syndrome grippal, associant hyperthermie importante, apathie, anorexie, toux, et souvent un retard de croissance. Elles revêtent une importance considérable pour la filière porcine en raison de leur implication en tant que cofacteur majeur du complexe respiratoire porcine (CRP) qui occasionne des pertes économiques importantes (Fablet *et al.*, 2013).

Ces infections grippales récurrentes sont fréquentes chez les porcelets de 5 à 8 semaines d'âge (Cador *et al.*, 2016 ; Hervé *et al.*, 2018). La maîtrise de la clinique associée est un enjeu majeur pour l'éleveur mais la surveillance régulière des signes peut se révéler difficile notamment les premières fois que la pathologie se manifeste.

La maîtrise de la clinique grippale récurrente doit donc passer par plusieurs éléments clé : 1) la maîtrise de la conduite des animaux, notamment par l'optimisation de la prise colostrale et de la gestion des porcelets en maternité (Leneveu *et al.*, 2019 et 2022) ; 2) la biosécurité interne ainsi que la gestion du chauffage et de la ventilation (Fablet *et al.*, 2013) ; 3) la surveillance régulière des animaux en post-sevrage par tout moyen pouvant déceler les signes précoces de maladie et permettre une prise en charge rapide des porcelets (Trombani *et al.*, 2021) ; 4) la maîtrise des coinfections bactériennes et virales (Fablet *et al.*, 2013).

Dans un élevage présentant un syndrome de grippe récurrente en post sevrage (PS), un bilan des pratiques d'élevage et des contaminants affectant les porcelets en âge critique a été effectué. Il en a découlé un essai de contrôle de la grippe par une vaccination hors autorisation de mise sur le marché des porcelets. L'objectif de ce travail est de dresser un bilan de cette vaccination des porcelets et des mesures qui ont suivi pour le contrôle des agents co-infectants.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Elevage

L'étude s'est déroulée chez un naisseur-engraisseur finistérien présentant une organisation cohérente des différents secteurs d'élevage. La conduite s'effectuait en 10 bandes de 62 truies, le sevrage a lieu à 21 jours. Les porcelets étaient transférés dans un post-sevrage conduit en tout plein – tout vide. Ils y restaient 7 semaines par case de 28 à 30 places, allotées par poids moyen de la portée où ils étaient alimentés à sec. Ils étaient ensuite transférés à l'âge de 62 (pour les plus lourds selon l'éleveur, « premier tri ») et 70 jours en engraissement et alimentés en soupe. Chaque case de PS était divisée en deux pour constituer les cases d'engraissement de 14 places chacune.

Depuis 2013, l'élevage était infecté de manière récurrente par des virus grippaux (H1_{av}N1 et H1_{nu}N2) avec une clinique qui s'exprime en PS entre 7 et 8 semaines d'âge (Tableau 1).

En octobre 2020, la clinique respiratoire en post-sevrage est devenue plus importante avec une augmentation de la

morbidity (éternuements, jetage et hyperthermie), de la mortalité (4% versus 2,7% respectivement en 2020 et en 2019) et une réduction du gain moyen quotidien (GMQ) passant de 480 à 460 g/j entre 2019 et 2020 (soit une baisse de 1 kg vif / porc en fin de PS). Les performances en engraissement n'étaient pas modifiées.

De manière concomitante, une clinique inhabituelle est apparue en PS. Selon les bandes, 10 à 20% des animaux présentaient de la toux, des signes nerveux, de l'arthrite, des diarrhées de post-sevrage (DPS) et un dépérissement. Pour soigner ces animaux, le nombre de traitements a augmenté, amenant à une augmentation de la consommation d'anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) et d'antibiotiques pour traiter les infections bactériennes. Néanmoins l'efficacité demeurait insuffisante. Tout cela a conduit à un bilan sanitaire et zootechnique approfondi.

Tableau 1 - Historique des mises en évidence de virus grippaux dans l'élevage par année, matrice analysée, âge des animaux et technique diagnostique

| Période | Matrice | Âge, sem. | Diagnostic | Typage |
|------------------|---------|-----------|------------|--|
| 2013 | E | 6 | PCR | H1 _{nu} N2 H1 _{av} N2 |
| 2014 | P | 7 | H | n.r. |
| 2016 | FO | 6 | PCR | n.r. |
| 2017 | P | 7 | H | n.r. |
| 2018 | FO | 7 | PCR | n.r. |
| 2019 | E | 5 | PCR | H1 _{av} N1 |
| | FO | 7 | | n.r. |
| 2020 | FO | 7 | PCR | H1 _{av} N1 |
| 01/2021 | FO | 6 | PCR | H1 _{av} N1 |
| 03/2021 a | E | 6 | PCR | H1 _{av} N2 |
| 03/2021 b | E | 9 | PCR | H1 _{av} N1 |
| 04/2021 | E | 2 et 4 | PCR | H1 _{av} N2 |
| 2022 | E | 7 | PCR | H1 _{av} N1 |
| 2023 | E | 7 | PCR | H1 _{av} N1 |

n.r. : non réalisé ; E : écouvillons ; FO : fluides oraux ; P : poumon ; H : histologie.

1.2. Diagnostics réalisés

La présence du virus H1_{av}N1 lors d'épisodes cliniques caractéristiques à 44 et 50 jours d'âge a été confirmée juste avant le début de protocole en janvier 2021 (Tableau 1). De la bactériologie respiratoire et digestive sur des prélèvements réalisés chez des animaux lors des épisodes cliniques dans des bandes successives ont également été réalisées. Ces prélèvements ont permis d'isoler *Glaesserella parasuis* sérotypes 2 et 7 dans les poumons et *Escherichia coli* F4 dans le système digestif (Tableau 2). Des recherches ont aussi concerné *Mycoplasma hyopneumoniae*, PCV2, SDRPv et l'ascaridiose, sans pouvoir mettre en évidence de lien avec la clinique observée.

1.3. Facteurs de risque non infectieux

1.3.1. Niveau de prise colostrale et de confort en maternité

L'évaluation de la quantité de colostrum ingérée a été conduite selon la méthode « CIA » (« Colostrum Intake Assessment ») de Ceva Santé Animale, Leneveu *et al.*, 2019), qui repose sur l'évaluation de la prise de poids entre la naissance et 24h de vie. Elle a été réalisée sur les portées d'une bande, démarrant leur parturition entre 8h et 15h lors des deux plus grosses journées de mise-bas, mercredi et jeudi ; 16 portées de différentes parités ont été incluses avec en moyenne 15 nés vivants.

Tableau 2 – Historique des analyses réalisées pour identifier les coinfections bactériennes

| Date2021 | Prélèvement | Technique | Matricie | Résultat |
|----------|---------------------------------------|-----------|----------|--------------------------------|
| 01/02 | 2 porcelets (6 sem.) | B | SNC + A | <i>S. suis</i> 2 |
| | | B + PCR | P | <i>Gps</i> 7 |
| 17/02 | 2 porcelets (6 sem.) | B | P | Rien |
| 15/03 | 2 porcelets (5 sem.) | B + PCR | SNC + P | <i>Gps</i> 2 |
| 27/08 | 5 écouvillons rectaux de DPS (4 sem.) | B + PCR | | <i>E. coli</i> F4 (F4/Sta/Stb) |

B : bactériologie ; PCR : polymerase chain reaction ; SNC : système nerveux central ; A : articulations ; P : poumon ; DPS : diarrhée de post-sevrage. ; *Gps* : *Glaesserella parasuis*.

Le poids de naissance des 196 porcelets inclus est de 1,39 kg +/- 0,33 kg, ce qui était plus élevé que la référence de Leneveu *et al.* (2019) de 1,31 kg. Cependant, leur gain de poids à 24h (GP24) moyen était de 76g, ce qui était plus faible que la référence de 88g. Le niveau des adoptions était élevé (26% de porcelets adoptés avant 24h ; 44% au total), cependant elles ont été réalisées après un minimum de 6 à 12h de tétées sous la mère biologique, ce qui est recommandé en termes de prise colostrale.

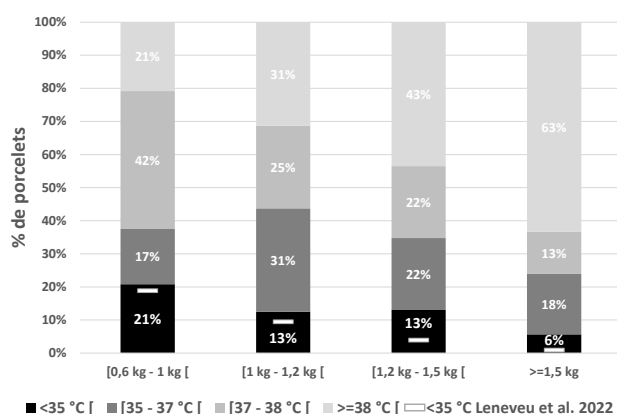


Figure 1 - Distribution des porcelets selon leur température rectale à la naissance en fonction de leur classe de poids.

En comparaison des résultats de Leneveu *et al.* (2022), qui provenaient d'élevages à fort taux de pertes sur nés vivants, le choc thermique subi par les porcelets à la naissance semblait ici particulièrement marqué et s'illustrait par le pourcentage élevé de porcelets avec une température rectale mesurée à la naissance < 35°C (Figure 1). La comparaison avec le % de porcelets à moins de 35°C de Leneveu *et al.* 2022 (trait blanc) en élevages à fort taux de pertes illustre l'importance du choc thermique). Le faible GP24 pourrait donc s'expliquer par ce choc thermique à la naissance.

De plus, ce choc thermique a été aggravé par une carence de confort thermique mise en évidence par la mesure de la température des nids à la naissance. Sur 39 nids contrôlés (mesure au centre du nid ; thermomètre infrarouge), seulement 5 (13%) étaient dans la plage de température recherchée (34-40°C ; IFIP, comm. pers.), tous les autres étant en deçà. Ces mesures ont été corroborées par une insuffisance d'utilisation des nids par les porcelets et par l'observation de portées couchées en position de froid ressenti.

Cet élevage présentait donc un défaut de prise colostrale et un défaut de confort thermique. Les pertes sur nés vivants de l'élevage (9%) étaient toutefois très faibles, sans doute du fait du très fort investissement du personnel en maternité au cours de la lactation, comme le montre le taux d'adoptions élevées. A la suite de ces éléments, un travail de réduction des adoptions et d'augmentation du confort thermique des porcelets en maternité a été conduit (mais non mesuré car chronophage). L'évolution des pratiques a été évidente lors des visites de suivi successives.

1.3.2. Conditions bioclimatiques dans les salles de post-sevrage

La température, l'hygrométrie, les taux de CO₂ et NH₃ ont été suivis en continu dans les salles de post-sevrage pendant toute la durée de permanence d'une bande (7 sem.) afin de détecter des anomalies (Figure 2 ; on y voit notamment l'excès de chaleur du PS n°8 (courbe rouge) par rapport aux recommandations (courbes en pointillé) et une panne de chauffage le 11/04). Des corrections ont été opérées en conséquence, en particulier une baisse de la température à atteindre par la ventilation pour permettre un meilleur renouvellement d'air et donc une réduction de l'hygrométrie, du NH₃ et du CO₂, ainsi qu'une baisse de la température de consigne de chauffage pour réduire l'excès de chaleur.

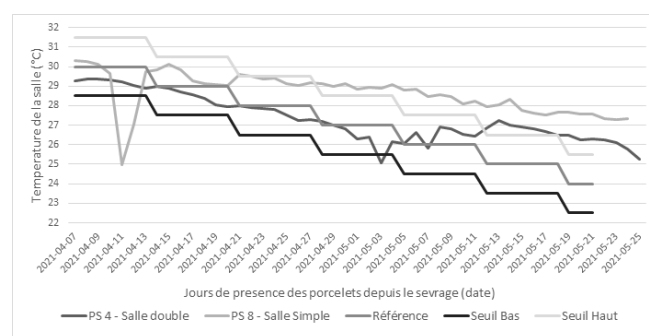


Figure 2 - Suivi de la température des salles d'une bande

1.3.3. Biosécurité et structure interne de l'élevage

La biosécurité interne de l'élevage a été travaillée par le biais d'un audit. Cela a permis de mettre en place le soin des animaux malades en fin de journée, peu importe leur âge, pour réduire la probabilité de transmission des pathogènes, dont le virus de la grippe, par le biais des opérateurs.

Compte tenu d'un projet de construction d'un nouveau PS isolé du bloc naissage et avec ventilation centralisée, la structure interne de l'élevage a été évaluée par l'ANSES de Ploufragan pour étudier la dynamique d'infection de la grippe au sein de cet élevage par modélisation.

Afin d'évaluer l'impact de la structuration spatiale de l'élevage, et notamment des flux d'air entre les différents secteurs, un modèle épidémiologique a été couplé à un modèle de dynamique de population. La structure de l'élevage a été représentée explicitement dans le modèle en prenant en compte l'organisation spatiale de l'élevage, le positionnement des entrées et sorties d'air et les mouvements des animaux. Picault *et al.* 2019 ; Sicard *et al.*, 2022). Chaque secteur est décrit en prenant en compte le nombre de salles, sa position relative par rapport aux autres secteurs, les positions des arrivées d'air et les mouvements d'animaux entrants et sortants. Le modèle épidémiologique est inspiré de celui développé par Cador *et al.* (2017). Basé sur un modèle SEIR (Sensible, Exposé, Infectieux, Retiré), il inclut également des statuts épidémiologiques spécifiques, entraînant des

conséquences directes sur les dynamiques d'infection. Ainsi, les anticorps d'origine maternelle confèrent une protection partielle aux porcelets, ces derniers pouvant néanmoins s'infecter avec une réduction de la sensibilité d'un facteur ϵ estimé à 0,39 (Cador et al., 2016). De plus, les porcelets ont la possibilité de se réinfecter après la perte de l'immunité active due à une précédente infection (infections secondaires). La durée moyenne d'immunité active des animaux non vaccinés a été fixée à 120 jours, variant selon une loi gamma

La description de la structure spatiale faisant état d'une forte communicabilité entre les secteurs de verraterie (V), de maternité (M) et de post-sevrage (PS), deux hypothèses ont été formulées quant à la transmission du virus par voie aéroportée entre les secteurs de l'élevage :

Configuration A1 : une transmission aéroportée permanente par échange d'air entre secteurs adjacents ($V \rightarrow M$, $M \rightarrow V$, $M \rightarrow PS$).

Configuration B1 : Une transmission aéroportée ponctuelle lors de mouvements d'animaux infectieux et de leurs passages dans les couloirs dans lesquels sont situées les entrées d'air.

Afin d'identifier l'impact de ces deux hypothèses, et bien que ces deux moyens de transmission aient souvent lieu en même temps en conditions terrain, elles ont été implémentées séparément dans le cadre de cette étude.

Afin d'évaluer l'impact du positionnement relatif des bâtiments, nous avons également représenté une modification de l'emplacement du secteur de post sevrage, en testant l'impact de l'isolement de ce secteur sur la persistance globale du virus au sein de l'élevage en conservant les hypothèses de transmission précédemment décrites. Les scénarios correspondants seront dénommés A2 et B2 dans la suite.

Pour décrire la dynamique d'infection du virus dans l'élevage et comparer les hypothèses sur les mêmes bases, les simulations décrivent la diffusion et la persistance du virus par suite d'une unique introduction initiale (entrée d'une cochette infectieuse en verraterie).

1.4. Protocole

1.4.1. Vaccination des porcelets contre la Grippe

La vaccination des reproducteurs contre la grippe était en place depuis 10 ans avec un protocole de primo-vaccination des cochettes en quarantaine et un rappel pour chaque bande 3 semaines avant la mise-bas pour les truies gestantes. Mais les épisodes grippaux chez les porcelets survenaient à 6-7 semaines d'âge lorsque la protection colostrale était finie. De manière à pouvoir vacciner des porcelets présentant des taux d'anticorps compatibles avec leur vaccination, nous avons cessé le rappel vaccinal des truies avant mise bas afin de limiter la concentration colostrale en anticorps VIP. La vaccination des truies a été déplacée en lactation, 10 jours après la mise-bas. La vaccination contre la grippe des porcelets (Respiporc Flu 3[®], une injection de 2ml intramusculaire, hors AMM) a été placée à 26 jours d'âge, pour 6 mois à partir du 27 janvier 2021 (12 bandes).

Le protocole appliqué lors de cet essai s'inspire des travaux de l'ANSES (Andraud *et al.*, 2023) qui ont montré que seuls les porcelets présentant des taux d'anticorps faibles ou nuls à la vaccination auront une immunité protectrice.

1.4.2. Surveillance clinique : suivi du comportement de couchage des porcelets

Un suivi clinique a été réalisé sur trois bandes avec un outil d'analyse d'image en temps réel décrivant le comportement de couchage des animaux. Cet outil permet la détection précoce de signes de fièvre (couchage fréquent à la périphérie des cases) pouvant être rattachés à la grippe (Trombani *et al.*, 2021).

1.4.3. Enregistrement des performances par bande et calcul du retour sur investissement

Toutes les bandes ont été pesées à l'entrée de post sevrage et avant le premier tri vers l'engraissement (62 jours d'âge) de manière à pouvoir calculer un GMQ par bande. Les mortalités et les traitements ont été consignés par bande. A la fin de la période de suivi le retour sur investissement a été calculé, sous forme de ratio « cout des actions menés » versus « bénéfiques par l'amélioration des performances ». Au total 16800 porcelets avant et 28000 porcelets après le début de l'expérience ont été suivis.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Effets de la vaccination des porcelets contre la grippe

À la suite de la mise en place du protocole de vaccination en janvier 2021, la persistance de circulation de virus grippaux a quand même été confirmée à plusieurs reprises sur les porcelets (H1avN1 et, ponctuellement, H1avN2). Mais une réduction de la récurrence de la fièvre a été observée et a été confirmée par une baisse du nombre de porcs couchés/case détecté par l'outil d'analyse d'image (Figure 3). Au vu de ces résultats encourageants, la vaccination a été poursuivie plus longtemps que prévu, jusqu'au 06 octobre 2021, soit 19 bandes. Cependant, les performances (notamment le GMQ) paraissaient encore améliorables. Au bilan, sur cette période de vaccination contre la grippe de 19 bandes de porcelets le pourcentage de pertes a baissé de 4,2 % à 2,8% sans amélioration du GMQ (Figure 4).

2.2. Vaccination des porcelets contre *Glaesserella parasuis*

Les analyses réalisées entre février et mars 2021 avaient mis en évidence deux sérotypes de *Glaesserella parasuis* (2 et 7). Il a été décidé d'ajouter ces souches dans l'autovaccin déjà existant pour les reproducteurs et dirigé contre *Streptococcus suis* 7. A la suite de cette modification, tous les reproducteurs ont reçu une primo-vaccination 6 semaines avant mise-bas et un rappel 3 semaines après pendant un cycle. Ensuite seul le rappel 3 semaines avant mise-bas et la primovaccination des cochettes en quarantaine étaient effectués. Cette mesure avait comme objectif de conférer aux porcelets issus de ces truies vaccinées une immunité passive protectrice contre *G. parasuis*. La première bande de porcelets protégés a été sevrée le 22 septembre 2021 (18e bande) ; cette mesure a été conservée après l'arrêt de la vaccination contre la grippe des porcelets et jusqu'à la fin de l'expérience (Figure 4).

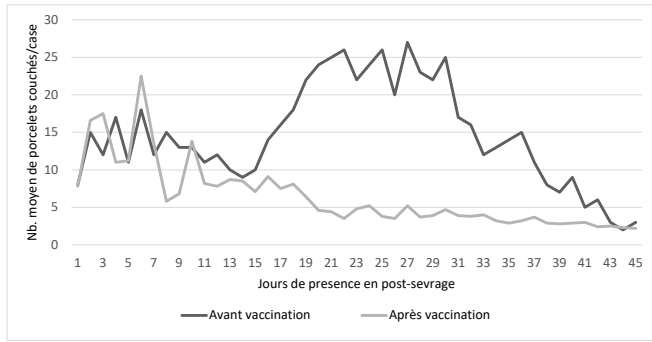


Figure 3 - Comparaison du nombre moyen de porcs couchés, donc potentiellement malades en périphérie de la case, par jour de présence en post-sevrage, avant et après le début de la vaccination contre la grippe des porcelets.

2.3. Vaccination des porcelets contre *Glaesserella parasuis*

Les analyses réalisées entre février et mars 2021 avaient mis en évidence deux sérotypes de *Glaesserella parasuis* (2 et 7). Il a été décidé d'ajouter ces souches dans l'autovaccin déjà existant pour les reproducteurs et dirigé contre *Streptococcus suis* 7. A la suite de cette modification, tous les reproducteurs ont reçu une primo-vaccination 6 semaines avant mise-bas et un rappel 3 semaines après pendant un cycle. Ensuite seul le rappel 3 semaines avant mise-bas et la primovaccination des cochettes en quarantaine étaient effectués. Cette mesure avait comme objectif de conférer aux porcelets issus de ces truies vaccinées une immunité passive protectrice contre *G. parasuis*. La première bande de porcelets protégés a été sevrée le 22 septembre 2021 (18^e bande) ; cette mesure a été conservée après l'arrêt de la vaccination contre la grippe des porcelets et jusqu'à la fin de l'expérience (Figure 4).

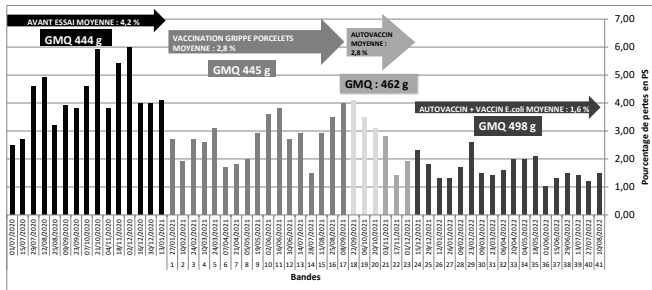


Figure 4 - Evolution des performances en post-sevrage par bande, % de pertes (histogrammes), et GMQ (g/jour, encadrés) en fonction des mesures appliquées.

2.4. Vaccination des porcelets contre la colibacillose F4

Le vaccin buvable utilisé pour le contrôle de la diarrhée colibacillaire des porcelets en PS a été utilisé à partir de la 24^e bande sevrée le 15 décembre 2021. Malgré l'amélioration notable de la clinique respiratoire récurrente et le travail sur les ambiances en PS, il persistait une clinique digestive colibacillaire apparaissant entre 5 et 10 jours après sevrage. Les porcelets ont donc été vaccinés en maternité à 18 jours d'âge, le lundi précédant le sevrage, par distribution collective du vaccin à l'aide d'augettes en plastique.

2.5. Evolution des performances

Les performances se sont graduellement améliorées (Figure 4) et les traitements curatifs ont quasi disparu (Figures 5 et 6).

2.6 Biosécurité et structure interne de l'élevage

Les résultats ont montré des différences importantes dans les dynamiques infectieuses grippales en fonction des hypothèses de transmission.

En effet, sous l'hypothèse d'une transmission permanente entre les secteurs « verraterie », « maternité » et « post-sevrage » (Configuration A1), une persistance systématique sur plus d'une année (500 jours) a été observée dans plus de 75% des simulations. Après un premier pic infectieux dans le cheptel reproducteur à la suite de l'introduction du virus, l'infection s'est propagée rapidement en maternité, avec un pic d'infection 3 à 6 semaines après introduction du virus induisant des infections résiduelles en post-sevrage, dues à l'introduction en post-sevrage de porcelets infectés en maternité. La pression infectieuse dans le secteur d'engraissement semblait moins importante avec moins de 200 porcs présentant des infections secondaires parmi les 6000 individus présents dans ce secteur.

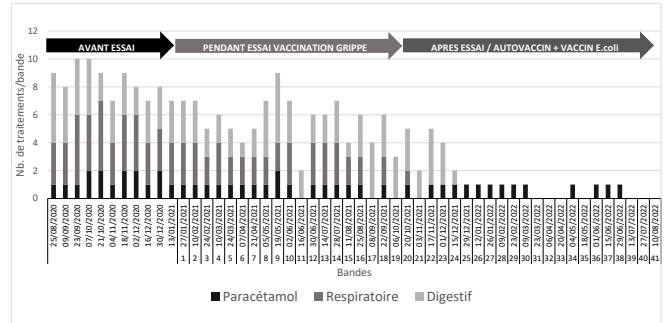


Figure 5 - Evolution du nombre de traitements collectifs par eau de boisson en post-sevrage, par bande, en fonction des mesures appliquées

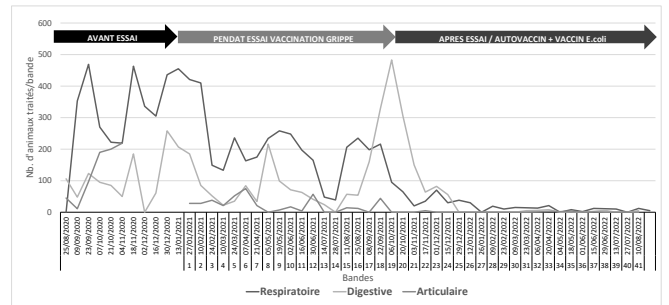


Figure 6 - Evolution du nombre de traitements individuels en post-sevrage par bande et type d'affection, en fonction des mesures appliquées

A contrario, la prise en compte des mouvements d'animaux entre les secteurs comme facteur de transmission (configuration B1), a montré des dynamiques nettement moins régulières, avec des extinctions dans 80% des simulations 300 jours après introduction (sous l'hypothèse d'une unique introduction). Après une introduction unique du virus, dans 20% des simulations, une persistance à bas bruit en secteur de gestation a induit des introductions sporadiques du virus dans le bloc verraterie/maternité via les entrées d'air (situées dans le couloir médian), dues au transfert de truies infectieuses. La transmission vers les issus a été alors inéluctable et suivie par une transmission en post-sevrage et en engraissement.

Contrairement au scénario précédent, dans lequel seules des infections secondaires étaient observées dans le secteur d'engraissement, des infections primaires ont été observées ici, correspondant à des résidus du processus infectieux en post-sevrage. Ce secteur est resté néanmoins peu affecté avec généralement moins de 100 porcs infectés en période d'engraissement.

Le déplacement du secteur de post-sevrage (scenarios A2 et B2) n'a pas montré d'impact important en termes de persistance virale à l'échelle de l'élevage (Figure 7). En effet, dans le scénario A2, malgré un nombre d'infections plus faible au pic initial de l'infection et une incidence sensiblement plus faible à l'échelle de l'élevage par la suite, le maintien d'une circulation dans les secteurs de reproduction a induit un risque d'infection omniprésent des porcelets en maternité. Du fait de l'immunité maternelle, ralentissant le processus infectieux au sein des bandes, ce dernier s'est étendu jusqu'à l'entrée des animaux en secteur de post-sevrage avec de possibles réinfections jusqu'en engraissement. Le scénario B2 a aussi confirmé les résultats de l'hypothèse B1, avec une extinction dans 80% des simulations 300 jours après introduction. Cependant, la prévalence d'individus infectieux était ici encore beaucoup plus faible avec seulement une médiane de 600 individus infectés au pic épidémique contre près de 2000 individus infectés dans le scénario B1. En effet, la transmission par voie aéroportée entre les secteurs de maternité et de post-sevrage étant coupée dans ce scénario B2, le processus de transmission n'a pu se faire qu'au sein d'une bande et n'a pas affecté la dynamique infectieuse dans les autres salles du secteur.

CONCLUSION

Dans cet élevage, la prise en charge du complexe respiratoire porcin en PS selon une approche globale mettant en œuvre des mesures sanitaires et médicales hiérarchisées et raisonnées, a permis d'obtenir une nette amélioration de l'état de santé des animaux qui s'est traduit par une augmentation de 54 g du GMQ PS (soit une augmentation du poids de sortie de 2,6 kg), une réduction des pertes en PS de 2,6%, l'arrêt des traitements antibiotiques collectifs, la réduction des traitements individuels en post-sevrage (Figures 5 et 6). Le retour sur investissement calculé est de 2,6.

La modélisation n'a pas permis de mettre en évidence un bénéfice majeur du déplacement du bâtiment PS pour réduire la récurrence de la clinique grippale, bien qu'un nombre plus

faible d'animaux infectés par la voie aéroportée et par le mouvement d'animaux ait été préfiguré.

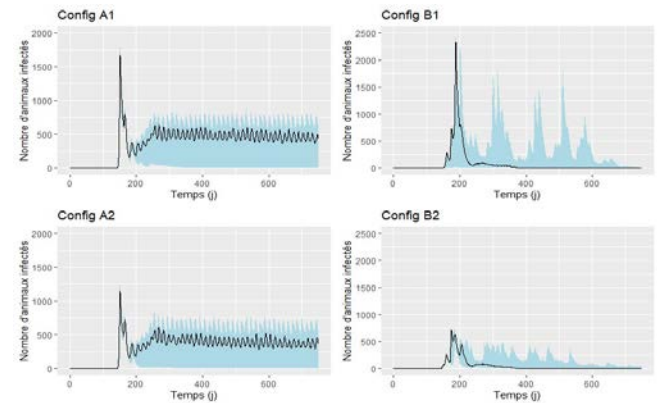


Figure 7 - Dynamique d'infection de la grippe selon les quatre hypothèses testées dans la modélisation (ligne continue : médiane, en bleu l'intervalle de variabilité à 95%).

Configuration A1 : Transmission aéroportée dans les secteurs de verraterie, maternité, et post-sevrage. Configuration B1 : Transmission ponctuelle via le mouvement d'animaux dans les couloirs desservant les secteurs de verraterie, maternité, et post-sevrage. Configurations A2 et B2 : Similaires à A1 et B1 avec un isolement du secteur de post-sevrage (construction d'un nouveau bâtiment).

La vaccination grippe des porcelets n'a pas été maintenue après l'expérience mais elle a permis une première amélioration et a constitué la première étape d'une stratégie réussie. Cet essai a montré l'importance d'une approche globale intégrant conduite, biosécurité, confort des animaux et vaccinations pour la gestion du complexe respiratoire porcin en post-sevrage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'éleveur, Philippe Leneveu, Éric Lewandowski, l'équipe CEVA France et l'équipe technique du groupement EVEL'Up.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andraud M., Hervé S., Gorin S., Barbier N., Quéguiner S., Paboeuf F., Simon G., Rose N., 2023. Evaluation of early single dose vaccination on swine influenza A virus transmission in piglets: From experimental data to mechanistic modelling. *Vaccine*, 41, 3119-3127.
- Cador C., Rose N., Willem L., Andraud M., 2016. Maternally Derived Immunity Extends Swine Influenza A Virus Persistence within Farrow-to-Finish Pig Farms: Insights from a Stochastic Event-Driven Metapopulation Model. *PLoS One* 11 (9).
- Cador C., Andraud M., Willem L., Rose N., 2017. Control of endemic swine flu persistence in farrow-to-finish pig farms: a stochastic metapopulation modeling assessment *Vet. Res.* 48:58.
- Fablet C., Simon G., Dorenlor V., Eono F., Eveno E., Gorin S., Quéguiner S., Madec F., Rose N., 2013. Different herd level factors associated with H1N1 or H1N2 influenza virus infections in fattening pigs. *Prev. Vet. Med.*, 112, 257-265.
- Hervé S., Deblanc C., Gorin S., Cador C., Andraud M., Quéguiner S., Barbier N., Paboeuf F., Rose N., Simon G., 2018. Infection grippale en post-sevrage : impact de l'âge et interférence de l'immunité passive du porcelet sur les paramètres cliniques, virologiques et sérologiques après challenge par un virus H1N1. *Journées Rech. Porcine*, 50, 189-194.
- Leneveu P., Launay B., Jardin A., Creac'h P., Schüler V., Lehebel A., Maridor M., Belloc C. 2019. Prise colostrale en élevage porcin : analyse des facteurs de variation dans 10 élevages de production. *Journées Rech. Porcine*, 51, 271-276.
- Leneveu P., Durand A., Lahuec B., Gilet A., Lewandowski E., Solignac T., 2022. Etude de la prise colostrale en élevages à taux de pertes sur nés vivants élevés. Analyse de la situation en lien avec les pratiques d'élevage, l'homéothermie des porcelets et la production colostrale des truies. *Journées Rech. Porcine*, 54, 269-274.
- Picault S., Huang Y., Sicard V., Arnoux S., Beaunée G., Ezanno P., 2019 EMULSION: Transparent and flexible multiscale stochastic models in human, animal and plant epidemiology. *PLoS Comput. Biol.*, 15(9).
- Rose N., Hervé S., Eveno E., Barbier N., Eono F., Dorenlor V., Andraud M., Camsusou C., Madec F., Simon G., 2013. Dynamics of influenza a virus infection in permanently infected pig farms: Evidence of recurrent infections, circulation of several swine influenza viruses and reassortment events. *Vet. Res.*, 44 (1), 72.
- Sicard V., Picault S., Andraud M., 2022. Coupling spatial and temporal structure in batch rearing modeling for understanding the spread of the swine influenza A virus. *SVEPM proceedings*, 177-187.
- Trombani C., Richer L., Brunon M., 2021. "Suivi du comportement de couchage des porcelets en post-sevrage par un outil d'analyse d'image en temps réel en présence ou absence de clinique grippale récurrente dans trois élevages bretons". *Journées Rech. Porcine*, 53, 411-416.



Évaluation d'indicateurs potentiels pour une sélection génétique de porcs présentant une résistance naturelle accrue face au virus du syndrome dysgénésique et respiratoire porcin

Claudia A. SEVILLANO (1), Jenelle. R. DUNKELBERGER (1,2), Egbert F. KNOL (1)

(1) Topigs Norsvin Research Center B.V., P.O. Box 15, 5201 AA 's-Hertogenbosch, Pays Bas

(2) Topigs Norsvin USA, Burnsville, MN, Etats-Unis

claudia.sevillanodelaquila@topiqsnorsvin.com

Avec la collaboration de Natalia G. LEITE et Rodrigo M. GODINHO chercheurs à Topigs Norsvin (1)

Évaluation d'indicateurs potentiels pour une sélection génétique de porcs présentant une résistance naturelle accrue face au virus du syndrome dysgénésique et respiratoire porcin

La sélection pour une meilleure résistance au syndrome dysgénésique et respiratoire porcin (SDRP) nécessite la collecte de données individuelles en situation d'infection, ce qui est chronophage et coûteux. L'identification d'indicateurs de résistance au SDRP est donc vivement souhaitée. L'objectif de l'étude est d'évaluer le niveau de virémie et la réponse en anticorps après vaccination anti-SDRP en tant qu'indicateurs potentiels de la réponse à l'infection au virus du SDRP. Au total, 1846 porcs en engraissement ont été utilisés pour cette étude. Les porcs ont été vaccinés contre le SDRP dans la semaine suivant le démarrage de l'essai (âge moyen : 28 jours), puis inoculés 6 semaines plus tard avec une souche SDRP. Les relations génétiques ont été évaluées entre la virémie et la réponse en anticorps après vaccination, avec le gain moyen quotidien (GMQ) après challenge au virus du SDRP (SDRPv). Les héritabilités de virémie et de réponse en anticorps après vaccination étaient respectivement de $0,29 \pm 0,07$, de $0,63 \pm 0,06$, et de $0,20 \pm 0,04$ pour le GMQ après challenge. La corrélation génétique entre virémie et GMQ prenait la direction attendue ($-0,13 \pm 0,18$), tandis que la corrélation génétique entre réponse en anticorps et GMQ était presque nulle ($-0,07 \pm 0,13$). Deux régions principales, sur les chromosomes 4 et 7, ont été associées à la réponse de l'hôte lors de la vaccination et du challenge au SDRPv. En conclusion, les résultats de cette étude montrent que les caractères évalués sont fortement influencés par la génétique. La corrélation génétique avec le GMQ après challenge suggère que le niveau de virémie peut être un indicateur prometteur pour la sélection des porcs en vue d'une résistance naturelle au SDRP.

Evaluation of potential indicators for genetic selection of pigs for enhanced, natural resistance to porcine reproductive and respiratory syndrome virus

Selection for enhanced resistance to porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) requires collecting individual data under challenge, which is time-intensive and costly. Identifying an indicator trait for resistance to challenge is therefore highly desirable. The objective of this study was to evaluate the viremia level and antibody response following PRRS vaccination as potential indicator traits of response to PRRS virus infection. A total of 1846 finishing pigs were used for this study. Pigs were vaccinated against PRRS within one week of the beginning of the trial and subsequently inoculated with a PRRS strain six weeks post-vaccination. Genetic relationships between viremia and antibody response after PRRS vaccination, with average daily gain (ADG) after PRRS inoculation, were evaluated. Heritabilities for viremia and antibody response after vaccination were 0.29 ± 0.07 and 0.63 ± 0.06 , and 0.20 ± 0.04 for ADG after inoculation. The genetic correlation between viremia and ADG was in the expected direction (-0.13 ± 0.18), while the genetic correlation between antibody response and ADG was almost zero (-0.07 ± 0.13). Two main regions, on chromosomes 4 and 7, were associated with host response to both PRRS vaccination and inoculation. In conclusion, the results of this study show that the indicator traits evaluated have an important genetic basis. The genetic correlation with ADG after inoculation suggests that the viremia level may be a promising indicator for selecting pigs for natural resistance to PRRS.

INTRODUCTION

Le syndrome dysgénésique et respiratoire porcin (SDRP) est une maladie destructrice d'importance mondiale qui affecte les porcs à tous les stades de production. Chez les porcs en engraissement, le SDRP provoque une détresse respiratoire avec des symptômes tels que la toux, une baisse des performances générales et un retard de croissance. La gravité de l'infection par le virus du SDRP (SDRPv) dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment la souche virale à laquelle le porc a été exposé, les infections préexistantes ou les co-infections. Il existe diverses stratégies pour contrôler l'infection du SDRPv, mais leur efficacité reste limitée. Cette situation est principalement due au taux élevé de mutation du virus, qui se traduit par l'existence de nombreuses souches du virus (Meng, 2000). Il est, par conséquent, peu probable que des porcs précédemment exposés au SDRPv soient immunisés lors d'une nouvelle infection. C'est pourquoi il est essentiel de développer d'autres stratégies de contrôle, comme la sélection génétique de porcs présentant une résistance naturelle accrue à l'infection.

La réponse de l'hôte à une exposition au SDRPv est bien documentée. Les résultats des analyses génétiques montrent qu'il existe une base génétique pour la réponse de l'hôte à un challenge. Une sélection génétique en vue d'améliorer les performances après l'infection par le SDRPv est une stratégie prometteuse. En effet, il est bien documenté que l'infection par le SDRPv a un effet négatif sur la croissance (Boddicker *et al.*, 2012 ; Hess *et al.*, 2016). La sélection d'un taux de croissance plus élevé après une infection par le SDRP est donc une stratégie potentielle pour améliorer la résistance des porcs au SDRP. Toutefois, une telle approche nécessiterait la collecte continue de données individuelles en situation d'infection, ce qui prend du temps, mais aussi de l'argent et peut être controversé sur le plan éthique. L'identification d'un caractère indicateur de résistance à l'épreuve de l'infection influencé par la génétique est donc vivement souhaitée.

Des études antérieures (Boddicker *et al.*, 2012 ; Hess *et al.*, 2016) ont montré que les porcs ayant une prédisposition génétique à présenter une charge virale plus faible après une épreuve de SDRP ont également un taux de croissance plus élevé après l'épreuve. Serão *et al.* (2014) ont montré que la sélection pour un niveau d'anticorps plus élevé après un challenge au SDRPv devrait se traduire par de meilleures performances de la mise bas après ce challenge. En outre, Dunkelberger *et al.* (2017) ont obtenu des corrélations génétiques positives très élevées entre la charge virale du vaccin contre le SDRP et la charge virale du SDRP ($0,94 \pm 0,84$) mesurée sur des porcs non vaccinés et soumis à une épreuve avec un isolat du SDRP sur le terrain. Ce résultat indique, bien qu'avec une e.s. importante, que la réponse à la vaccination

contre le SDRP et la réponse à un challenge avec une souche de terrain ont une base génétique similaire. Dans l'ensemble, la virémie et la réponse en anticorps après la vaccination contre le SDRP sont des indicateurs possibles intéressants pour la résistance face à un isolat du SDRP sur le terrain. Les objectifs de cette étude étaient les suivants : 1) estimer les paramètres génétiques pour la virémie et la réponse en anticorps après vaccination SDRP et la croissance après challenge au SDRPv ; 2) estimer les corrélations génétiques et phénotypiques entre ces caractères ; et 3) identifier les régions génomiques associées à la réponse de l'hôte à la vaccination SDRP et au challenge subséquent avec du SDRPv.

1. MATERIEL ET METHODES

Les comités institutionnels de protection et d'utilisation des animaux de South Dakota State University et de Pipestone Applied Research ont examiné et approuvé le protocole de l'essai et la certification de la manipulation par le personnel soignant pour cette étude.

1.1. Schéma expérimental

Les données recueillies sur 1 846 porcs en engraissement issus d'un croisement commercial à trois voies ont été utilisées pour cette étude. Les porcs étaient issus d'un croisement entre une femelle F1 commerciale (Large White x Landrace) et un verrat d'une lignée synthétique (N = 1 193) ou Duroc (N = 654). Des doses de semence groupées ont été utilisées, comprenant deux verrats par groupe. Au total, 94 truies (chacune ayant une seule portée), 46 verrats de la lignée synthétique et 33 verrats Duroc ont été utilisés pour produire la génération testée. Tous les porcs sont nés sur le même élevage commercial et ensuite transportés vers un centre de recherche commercial au moment du sevrage, qui a eu lieu entre 21 et 27 jours après mise-bas. Dans la semaine qui a suivi le démarrage de l'essai (âge moyen de 28 jours), les porcs ont été vaccinés à l'aide d'un vaccin à virus vivant modifié contre le SDRP (IngelVac PRRS MLV, Boehringer Ingelheim) puis inoculés six semaines plus tard (âge moyen de 70 jours) avec $2 \times 10^{3,5}$ doses infectieuses de culture tissulaire₅₀ de l'isolat de terrain 1-7-4 du SDRP par injection intramusculaire.

Les poids individuels ont été enregistrés au moment du sevrage, de la vaccination, le jour du challenge, 21 jours après le challenge (21 JAC) et à la mort de l'individu. Des échantillons de sang ont été prélevés sur 950 porcs 14 jours après la vaccination (JAV) pour mesurer la virémie liée au vaccin contre le SDRP et 42 JAV pour mesurer le niveau d'anticorps spécifiques du SDRP, quantifié comme rapport échantillon/positif (S/P). Le tissu auriculaire a été prélevé sur chaque porc pour génotypage à l'aide d'une puce Illumina Neogen custom 25K single nucleotide polymorphism (SNP).

Tableau 1 – Statistiques descriptives du niveau de virémie et de la réponse en anticorps après la vaccination contre le SDRP et du gain moyen quotidien (GMQ) après challenge au SDRPv.

| Caractéristique | Nombre d'observations | Moyenne | Écart-type |
|--|-----------------------|---------|------------|
| Après vaccination | | | |
| Virémie (log copies d'ARN/ml) | 927 | 7,60 | 0,76 |
| Réponse en anticorps (rapport échantillon/positif) | 928 | 1,75 | 0,46 |
| Après challenge | | | |
| GMQ (g/jour) | 1812 | 632,90 | 243,80 |

1.2. Caractéristiques phénotypiques

Le gain moyen quotidien (GMQ) après l'infection par le SDRP est calculé comme le rapport entre le gain de poids corporel de 0 à 21 jours et la durée de la phase en jours. Les poids corporels manquants pour les animaux morts avant 21 jours ont été extrapolés. Cette extrapolation a été réalisée par régression linéaire du poids corporel sur l'âge. Les coefficients de régression ont été estimés à l'aide des données collectées à 0 JAI, 21 JAI et à la mort (naturels ou abattus à l'âge de 180 jours). Si la mort est survenue après que le porc ait atteint l'âge de 150 jours, l'information n'a pas été incluse dans la régression, étant donné que la croissance n'est pas linéaire après 150 jours d'âge. Les échantillons de sérum ont été utilisés pour quantifier le niveau de virémie du SDRP (copies d'ARN viral par millilitre) à l'aide de la PCR en temps réel et le rapport S/P a été calculé sur la base du test ELISA (IDEXX), qui quantifie les IgG spécifiques du SDRP dans le sérum.

Nous avons considéré comme aberrantes les valeurs en dehors des quartiles +/- 3x la gamme interquartile (IQR) pour les données relatives à l'âge et au poids corporel. Ces valeurs ont été supprimées de l'ensemble des données avant le calcul du GMQ. La même méthode a été utilisée pour détecter les valeurs aberrantes du niveau de virémie et du rapport S/P.

1.3. Paramètres génétiques

Les analyses génétiques ont été réalisées à l'aide de modèles animaux univariés, incluant les effets fixes du sexe, de la salle, et du poids corporel (au moment de la vaccination pour la virémie/réponse en anticorps et au jour du challenge pour le GMQ) et les effets aléatoires de l'animal et la portée d'accueil. Des matrices de relations génomiques (GRM) ont été utilisées pour tenir compte de la parenté entre les individus. Seuls les marqueurs ayant un call rate $\geq 0,80$ et une fréquence de l'allèle mineur (MAF, pour minor allele frequency) $\geq 0,05$ ont été retenus pour calculer ces GRM. Les corrélations génétiques ont été estimées pour chaque paire de caractère à l'aide de modèles animaux bivariés avec les mêmes effets fixes et aléatoires utilisés pour les modèles univariés. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel ASReml-R 4.1.0.160 (Butler *et al.*, 2017) et le GRM a été construit à l'aide du package ASRgenomics 1.0.0 (Gezan *et al.*, 2022). Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide de RStudio v4.2.2.

1.4. Imputation

Les génotypes des individus de l'essai ont été imputés de la puce 25K vers la puce 50K pour augmenter la densité de marqueurs le long du génome. Dans la mesure du possible, des parents proches (3 générations) ont été inclus dans la population de référence (càd génotypée en 50K). La population de référence comprenait des individus de plusieurs races pures (1317 porcs issus de la lignée synthétique, 402 Duroc, 266 Landrace et 163 Large White) ainsi que 22 F1 (Large White x Landrace). Le logiciel Flmpuete Version 3.0 (Sargolzaei *et al.*, 2014) a été utilisé

pour effectuer l'imputation. Nous n'avons pas utilisé d'informations généalogiques pour réaliser cette imputation, car elles étaient soit incomplètes, soit indisponibles.

1.5. Études d'association pangénomique (GWAS)

Les analyses d'association ont été réalisées à l'aide d'un modèle linéaire mixte mis en œuvre dans GCTA (Yang *et al.*, 2011). Seuls les effets fixes qui étaient significatifs (sur base de la statistique F du test de Wald conditionnel) lors de l'estimation des paramètres génétiques ont été inclus en tant qu'effets fixes dans les modèles d'étude d'association pangénomique. De ce fait, la salle et le poids de l'animal au challenge ont été inclus comme effets fixes pour l'analyse du GMQ. L'information sur le sexe était disponible via le fichier PLINK fam pour tous les caractères. Enfin, nous prenons en compte la structure génétique de la population échantillonnée en incluant la GRM comme effet aléatoire. Les SNP avec un $-\log_{10}(P) \geq 6$ ont été déclarés significatifs, suivant une correction de Bonferroni sur 50 000 tests.

2. RÉSULTATS

2.1. Paramètres génétiques

L'ensemble du phénotypage a été réalisé sur 1 846 porcs. Le nombre final d'observations, les moyennes brutes et l'écart-type par caractère sont indiqués dans le tableau 1. Les paramètres génétiques ont été estimés à l'aide de modèles univariés (tableau 2). Les estimations de l'héritabilité du niveau de virémie et de la réponse en anticorps après la vaccination contre le SDRP étaient de $0,29 \pm 0,07$ et de $0,63 \pm 0,06$, la portée expliquant respectivement 4 % et 2 % de la variance phénotypique. L'héritabilité du GMQ après challenge au SDRPv était de $0,20$ (0,04), la portée expliquant 4 % de la variance phénotypique.

Les corrélations génétiques ont été estimées à l'aide de modèles bivariés. Les corrélations génétiques entre les caractères indicateurs candidats et le GMQ présentaient des erreurs standards importantes ($-0,13 \pm 0,18$ avec le niveau de virémie et $-0,07 \pm 0,13$ avec la réponse en anticorps). Même si non significative, il est néanmoins à noter que la corrélation génétique entre le niveau de virémie et le GMQ est dans la direction attendue.

2.2. Régions génomiques

Nous avons réalisé une étude d'association pangénomique pour le niveau de virémie et pour la réponse en anticorps après la vaccination contre le SDRP, ainsi que pour le GMQ après challenge au SDRPv (figure 1 A-C) en utilisant les données génotypiques imputées (N = 50 424 SNPs). Au total, 915 observations ont été utilisées pour l'analyse du niveau de virémie et de la réponse en anticorps et 1 795 observations ont été utilisées pour l'analyse du GMQ.

Tableau 2 – Estimations de l'héritabilité (\pm e.s.) et des composantes de la variance (\pm e.s.) pour le niveau de virémie et la réponse en anticorps après la vaccination contre le SDRP et le gain moyen quotidien (GMQ) après challenge au SDRPv.

| Caractéristique | Héritabilité | Portée | Résidu |
|--|-----------------|---------------------------|----------------------------|
| Après vaccination | | | |
| Virémie (log copies d'ARN/ml) | $0,29 \pm 0,07$ | $0,03 \pm 0,02$ | $0,40 \pm 0,03$ |
| Réponse en anticorps (rapport échantillon/positif) | $0,63 \pm 0,07$ | $0,01 \pm 0,01$ | $0,08 \pm 0,01$ |
| Après challenge | | | |
| GMQ (g/jour) | $0,20 \pm 0,04$ | $2\ 078,67 \pm 1\ 057,62$ | $42\ 132,42 \pm 1\ 963,81$ |

Deux régions principales ont été détectées, une région sur le chromosome 4, associée à la fois au niveau de virémie et au GMQ, et une région sur le chromosome 7, associée à la fois à la réponse en anticorps et au GMQ.

La région que nous avons détectée sur le chromosome 4 abrite le gène *GBP5*, où une mutation causale dominante qui code la protéine 5 de liaison aux guanyles et qui a été associée à la réponse de l'hôte au SDRPv dans une étude antérieure (Koltes *et al.*, 2015). Dans l'étude actuelle, l'allèle "A" de la mutation causale de ce gène a été associé à 42 grammes supplémentaires de croissance par jour et à une réduction de 0,25 de la virémie (en échelle logarithmique). Le SNP le plus important dans cette région pour le GMQ n'était pas la mutation causale, mais plutôt un SNP (ALGA0029524) situé 168 Kb en amont. L'allèle "A" de ce SNP augmente le GMQ de 62 grammes/jour et explique 0,96 % de la variance phénotypique totale du GMQ. Le SNP WUR10000125, qui est un autre SNP de marquage pour la mutation causale du gène *GBP5*, était le principal marqueur associé au niveau de virémie, l'allèle "G" étant associé à une réduction de 0,29 de la virémie (en échelle logarithmique) et expliquant 2,41 % de la variance phénotypique totale.

La région que nous avons détectée sur le chromosome 7 abrite le complexe majeur d'histocompatibilité (CMH), également connu sous le nom de complexe d'antigène leucocytaire porcine (SLA), qui s'étend sur ~2,5 Mb, de 22,8 à 25,2 Mb. Le SNP le plus important dans cette région pour le GMQ était situé à 23,2 Mb et expliquait 1,26 % de la variance phénotypique totale. L'allèle "G" de ce SNP augmentait le GMQ de 50 grammes/jour, mais n'a pas eu d'effet sur la réponse en anticorps (P -value = 0,99). Pour la réponse en anticorps, le SNP le plus important, situé à 24,9 Mb, avait une P -value de $6,45e-30$ et expliquait 12 % de la variance phénotypique totale. L'allèle "G" de ce SNP diminue la réponse en anticorps d'environ 30 unités, mais n'a eu aucun effet sur le GMQ (P -value = 0,71).

3. DISCUSSION

3.1. Paramètres génétiques

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer le niveau de virémie et la réponse en anticorps après la vaccination contre le SDRP en tant que potentiels indicateurs de la résistance face à l'infection par un isolat de terrain du SDRPv. Nous avons, en premier lieu, évalué les paramètres génétiques de ces caractères et du GMQ après challenge au SDRPv. Les résultats montrent que ces trois phénotypes ont une base génétique substantielle.

Le niveau de virémie et la réponse anticorps après la vaccination contre le SDRP ont une héritabilité modérée à forte. L'héritabilité du niveau de virémie a été estimée à 0,29 (0,07), ce qui est plus élevé que l'estimation de la charge virale ($0,13 \pm 0,22$), rapportée par Dunkelberger *et al.* (2017). Dans cette étude, une corrélation génétique négative a été détectée entre le niveau de virémie après la vaccination contre le SDRP et le GMQ après challenge au SDRPv ($-0,13 \pm 0,18$), ce qui est cohérent avec la corrélation génétique négative entre la charge virale après vaccination contre le SDRP et le GMQ après challenge au SDRPv ($-0,37 \pm 0,61$) estimée par Dunkelberger *et al.* (2017). Une relation négative entre le niveau de virémie et le GMQ est attendue étant donné qu'un niveau plus élevé de virus dans le sang devrait augmenter la pathologie.

À notre connaissance, aucune estimation d'héritabilité de la réponse anticorps après la vaccination contre le SDRP n'avait précédemment été rapportée. Toutefois, une héritabilité estimée de la réponse en anticorps après une épidémie de SDRP avait été rapportée chez des truies ($0,45 \pm 0,10$; Serão *et al.*, 2014), où après une inoculation expérimentale chez des porcs en engraissement ($0,31 \pm 0,09$, $0,40 \pm 0,10$; Hess *et al.*, 2018). Les résultats de notre étude suggèrent une corrélation génétique presque nulle entre la réponse anticorps après la vaccination contre le SDRP et le GMQ après challenge au SDRPv ($-0,07 \pm 0,13$). Ce résultat est cohérent avec la corrélation génétique entre la réponse anticorps et le gain de poids estimées par Hess *et al.* (2018) à $-0,08 \pm 0,25$ suite à une infection avec la souche KS06 du SDRPv. Mais ils ont également estimé des corrélations génétiques négatives en utilisant la souche NVSL du SDRPv ($-0,38 \pm 0,19$). La relation entre la réponse anticorps et le GMQ peut être complexe, une grande réponse des anticorps devrait atténuer l'impact négatif de l'infection sur le taux de croissance. Toutefois, une relation négative entre la réponse anticorps et le GMQ pourrait agir d'exemple de compromis entre immunité et taux de croissance (Doeschl-Wilson *et al.*, 2009; van der Most *et al.*, 2011).

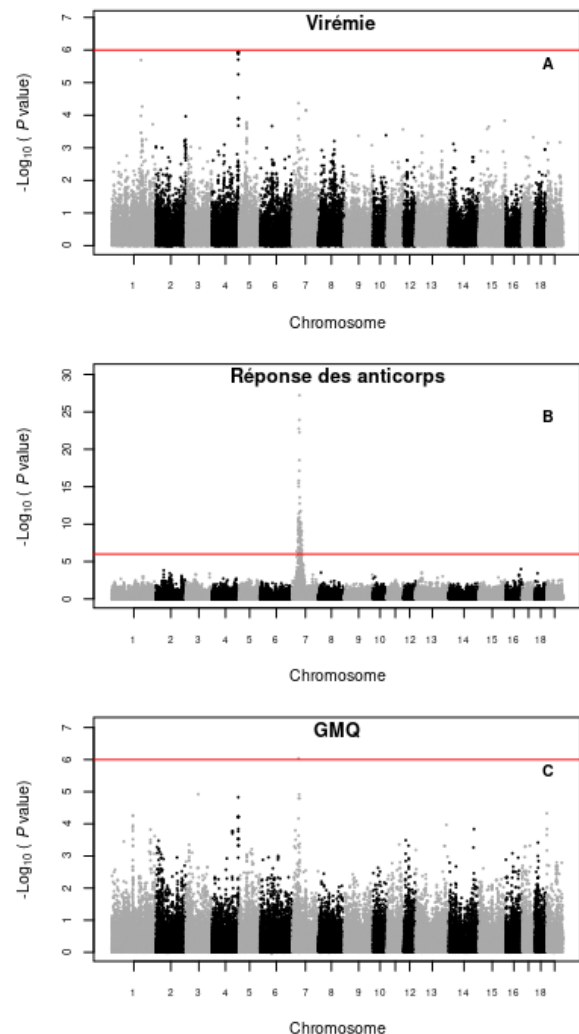


Figure 1 – Manhattan plots pour le niveau de virémie (A) et la réponse en anticorps (rapport échantillon/positif; B) suite à la vaccination, et le gain moyen quotidien (GMQ; C) suite au challenge avec le SDRPv.

Les associations avec une P -value inférieures ou égales à 10^{-6} sont considérées comme significatives (ligne horizontale rouge).

L'héritabilité du GMQ post-inoculation a été estimée à 0,20, ce qui est inférieur à l'héritabilité du gain de poids (0,30) rapportée par Boddicker *et al.* (2012) et Hess *et al.* (2016). Cependant, les porcs utilisés pour ces deux mêmes études étaient âgés de 18 à 28 jours au moment du test, alors que les porcs utilisés dans notre étude étaient âgés en moyenne de 70 jours au moment de l'essai. Dans une étude menée par Dunkelberger *et al.* (2017), l'héritabilité du GMQ était plus élevée (0,41), lors de l'évaluation du taux de croissance de porcs de 0 à 42 JAI et où l'âge moyen au moment du test était de 55 jours.

Pour les études menées par Boddicker *et al.* (2012), Hess *et al.* (2016) et Dunkelberger *et al.* (2017), les animaux morts avant la fin de la phase de croissance ont été retirés des analyses. Par conséquent, le taux de croissance a été calculé en utilisant uniquement les animaux qui ont survécu à l'expérience, ce qui signifie que les animaux les moins résistants n'ont pas été inclus dans les analyses. Une solution potentielle consiste à imputer les données de poids corporel pour les animaux dont les données sont manquantes. Cheng *et al.* (2020) ont utilisé cette approche pour estimer le GMQ es porcs dans le cadre d'un challenge naturel et multifactoriel de SDRP. Leur estimation est inférieure aux estimations d'héritabilité rapportées pour le taux de croissance par les études susmentionnées, il est possible que l'utilisation de données de poids imputées se traduise par une héritabilité plus faible. Si c'est le cas, cela pourrait expliquer l'estimation de l'héritabilité plus faible que prévue obtenue pour cette étude. Cependant, il est difficile, en général, de comparer les résultats entre les études sur le SDRP, en raison des différences dans la conception des essais, de l'âge moyen au moment du dépistage, des lignées génétiques utilisées pour les expériences et des co-infections potentielles.

3.2. Gènes affectant les caractéristiques de résistance au SDRP

Nous avons réalisé une étude d'association pangénomique pour identifier des gènes possiblement associés à la réponse de l'hôte à la vaccination contre le SDRP et au challenge ultérieur par un isolat de terrain. Deux régions, situées sur les chromosomes 4 et 7, ont été associées à la réponse de l'hôte à la fois à la vaccination et au challenge avec le SDRPv. Ces deux régions avaient déjà été associées à la réponse de l'hôte à l'infection par le SDRP dans d'autres études (Boddicker *et al.*, 2012 pour le chromosome 4; Serão *et al.*, 2014 pour le chromosome 7). La région détectée sur le chromosome 4 abrite le gène GBP5, où une mutation causale dominante, qui augmente la résistance de l'individu, a été associée à un niveau de virémie après vaccination plus faible et à un GMQ plus élevé après challenge. La protéine GBP5 est un médiateur important de la réponse immunitaire inflammatoire chez les mammifères.

Dans un modèle murin, la perte de la fonction GBP5 entraîne une altération de la défense de l'hôte et de la réponse inflammatoire. Ce gène joue également un rôle dans l'assemblage de l'inflammasome (Shenoy *et al.*, 2012). L'allèle défavorable de la mutation causale du gène GBP5 insère cinq nucléotides dans le transcrit GBP5 en amont de l'exon 10. Cela provoque un décalage du cadre de lecture, ce qui entraîne la production d'une protéine non fonctionnelle et diminue la réponse de l'inflammasome à l'infection (Koltes *et al.*, 2015).

La région détectée sur le chromosome 7, qui abrite les classes de gènes SLA, était associée à la fois à la réponse en anticorps après vaccination et au GMQ après challenge. Six des 10 SNPs les plus significatifs pour la réponse en anticorps étaient situés dans la région du SLA de classe II, près du gène DQB1. Cette région a également été associée aux taux d'anticorps spécifiques du virus du SDRP dans une étude précédente (Walker *et al.*, 2019). Les molécules SLA de classe II se trouvent principalement sur les cellules B, les macrophages et les cellules dendritiques matures, qui sont des initiateurs et des régulateurs très efficaces des réponses immunitaires. Les antigènes SLA de classe II sont également exprimés sur une proportion significative de cellules T circulantes (Chardon *et al.*, 2000). Les quatre autres SNP associés à la réponse anticorps étaient situés dans la région SLA de classe III. Cette région comprend des gènes associés aux mécanismes de défense immunitaire et à l'inflammation (Hammer *et al.*, 2020). Le SNP le plus associé au GMQ était situé dans la région SLA de classe I. Les molécules SLA de classe I lient et présentent principalement des antigènes d'origine intracellulaire aux lymphocytes T cytotoxiques (CTL) circulants. La liaison épitope/molécule SLA de classe I est la première étape de la destruction d'une cellule infectée (Gao *et al.*, 2017). Une cartographie plus fine serait nécessaire pour identifier les gènes pertinents associés à la réponse en anticorps et au GMQ après une infection par le SDRP dans ces régions complexes.

CONCLUSION

En conclusion, les résultats de cette étude montrent que le niveau de virémie et la réponse anticorps après la vaccination contre le SDRP et le GMQ après l'inoculation de SDRP ont une base génétique importante. Nous avons associé deux régions principales de la réponse de l'hôte à la vaccination contre le SDRP et au challenge expérimental ultérieur. Ces résultats, combinés à la corrélation génétique négative entre le niveau de virémie après vaccination contre le SDRP et le GMQ après challenge, suggèrent que le niveau de virémie peut être un indicateur prometteur pour la sélection des porcs en vue d'une résistance naturelle accrue au challenge par un isolat de terrain du SDRP.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boddicker N.J., Waide E.H., Rowland R.R.R., Lunney J.K., Garrick D.J., Reecy J.M., Dekkers J.C.M., 2012. Evidence for a major QTL associated with host response to porcine reproductive and respiratory syndrome virus challenge. *J. Anim. Sci.*, 90, 1733–1746.
- Butler D.G., Cullis B.R., Gilmour A.R., Gogel B.J., Thompson R., 2017. *Asreml-r reference manual version 4*. VSN International Ltd, Hemel Hempstead, HP1 1ES, UK.
- Chardon P., Renard C., Rogel-Gaillard C., Vaiman M., 2000. The porcine major histocompatibility complex and related paralogous regions: a review. *Genet. Sel. Evol.*, 32, 109–128.
- Doeschl-Wilson A.B., Kyriazakis I., Vincent A., Rothschild M.F., Thacker E., Galina-Pantoja L., 2009. Clinical and pathological responses of pigs from two genetically diverse commercial lines to porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection. *J. Anim. Sci.*, 87, 1638–1647.
- Dunkelberger J.R., Serão N.V.L., Niederwerder M.C., Kerrigan M.A., Lunney J.K., Rowland R.R.R., Dekkers J.C.M., 2017. Effect of a major quantitative trait locus for porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS) resistance on response to coinfection with PRRS virus and porcine circovirus type 2b (PCV2b) in commercial pigs, with or without prior vaccination for PRRS. *J. Anim. Sci.*, 95, 584–598.

- Gao C., He X., Quan J., Jiang Q., Lin H., Chen H., Qu L., 2017. Specificity characterization of sla class i molecules binding to swine-origin viral cytotoxic t lymphocyte epitope peptides in vitro. *Front. Microbiol.*, 8, 2524.
- Gezan S.A., de Oliveira A.A., Galli G., Murray D., 2022. ASRgenomics: An R package with Complementary Genomic Functions. Version 1.1.0. VSN International, Hemel Hempstead, United Kingdom.
- Hammer S.E., Ho C., Ando A., Rogel-Gaillard C., Charles M., Tector M., Tector A. J., Lunney J.K., 2020. Importance of the major histocompatibility complex (swine leukocyte antigen) in swine health and biomedical research. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 8, 171–198.
- Hess, A. S., Islam, Z., Hess, M., Rowland, R. R. R., Lunney, J. K., Doeschl-Wilson, A., Plastow G., Dekkers, J.C.M., 2016. Comparison of host genetic factors influencing pig response to infection with two north american isolates of porcine reproductive and respiratory syndrome virus. *Genet. Sel. Evol.*, 48, 1-20.
- Hess A.S., Tribble B.R., Hess M., Rowland R.R.R., Lunney J.K., Plastow G., Dekkers J.C.M., 2018. Genetic relationships of antibody response, viremia level, and weight gain in pigs experimentally infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus1. *J. Anim. Sci.*, 96, 565–3581.
- Koltjes J.E., Fritz-Waters E., Easley C.J., Choi, I. Bao H., Kommadath A., Serão N.V.L., Boddicker N.J., Abrams S.M., Schroyen M., Loyd H., Tuggle C.K., Plastow G.S., Guan L., Stothard P., Lunney J.K., Liu P., Carpenter S., Rowland R.R.R., Dekers J.C.M., Reecy J.M., 2015. Identification of a putative quantitative trait nucleotide in guanylate binding protein 5 for host response to PRRS virus infection. *BMC Genom.*, 16, 412.
- Meng, X. 2000. Heterogeneity of porcine reproductive and respiratory syndrome virus: implications for current vaccine efficacy and future vaccine development. *Vet. Microbiol.* 74, 309–329.
- Sargolzaei M., Chesnais J.P., Schenkel F.S., 2014. A new approach for efficient genotype imputation using information from relatives. *BMC Genom.* 15, 1-2.
- Serão N.V.L., Matika O., Kemp R., Harding J. C. S., Bishop S., Plastow G., Dekkers J.C.M., 2014. Genetic analysis of reproductive traits and antibody response in a PRRS outbreak herd. *J. Anim. Sci.*, 92, 2905–2921.
- Shenoy A.S., Wellington D.A., Kumar P., Kassa H., Booth C.J., Cresswell P., MacMicking J.D., 2012. Gbp5 promotes nlrp3 inflammasome assembly and immunity in mammals. *Science*, 336, 481–485.
- Van der Most P.J., de Jong B., Parmentier H.K., Verhulst S., 2011. Trade-off between growth and immune function: a meta-analysis of selection experiments. *Func. Ecol.*, 25, 74–80.
- Walker L.R., Jobman E.E., Sutton K.M., Wittler J., Johnson R.K., Ciobanu D.C. 2019. Genome-wide association analysis for porcine reproductive and respiratory syndrome virus susceptibility traits in two genetic populations of pigs. *J. Anim. Sci.*, 97, 3253–3261.
- Yang J., Lee S.H., Goddard M.E., Visscher P.M., 2011. Gcta: a tool for genome-wide complex trait analysis. *Am. J. Hum. Genet.*, 88, 76–82.



Étude descriptive du portage de *Streptococcus suis* et des sérotypes 2, 1/2 et 9 au sein de deux cheptels présentant des cas cliniques de streptococcie

Morgane RÉMOND (1,2), Eric LEWANDOWSKI (3), Vincent MULLER (2), Célia PUYAL-RUCINE (2), Anne LEHEBEL (1), Hubert GANTELET (3), Claire DE BOISSÉSON (4), Corinne MAROIS-CRÉHAN (4), Catherine BELLOC (1)

(1) Oniris, INRAE, BIOEPAR, 44300 Nantes, France

(2) SELAS EPIDALIS, 13 Boulevard Denis Papin, 35500 Vitré, France

(3) Ceva Biovac, 6 Rue Olivier de Serres, 49070 Beaucozéz, France

(4) ANSES, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, UMBA, BP53, 22440 Ploufragan, France

@morgane.remond@oniris-nantes.fr

Étude descriptive du portage de *Streptococcus suis* et des sérotypes 2, 1/2 et 9 au sein de deux cheptels présentant des cas cliniques de streptococcie

Streptococcus suis, bactérie commensale ou pathogène du système respiratoire des porcs, est responsable de méningites et de septicémies en élevage. Les divers sérotypes de *S. suis* isolés sur le terrain témoignent de sa grande diversité génétique. Récemment en France, la prévalence des souches de sérotype 9, semblant plus virulentes et moins facilement prévenues par des autovaccins, a augmenté. Peu de données concernant ce sérotype sont disponibles. Afin de comprendre sa dynamique de portage (maintien et transmission en élevage), une étude du portage à un instant t a été menée dans deux élevages présentant des cas cliniques causés par ce sérotype et sans autovaccin.

Des animaux de tous stades physiologiques, 40 truies et 180 porcs, ont été prélevés. Le portage a été évalué à partir de différents types de prélèvements (écouvillonnage amygdalien, récolte de fluides oraux, écouvillonnages nasal et vaginal) afin de juger de la pertinence des différents types de prélèvement en comparaison au prélèvement de référence (écouvillonnage amygdalien). L'analyse par qPCR multiplex ciblant l'espèce *S. suis* et les sérotypes 2 et/ou 1/2 d'une part et le sérotype 9 d'autre part a permis de définir la positivité des individus et des prélèvements aux différents sérotypes. Il apparaît que les âges présentant les taux de positivité les plus importants sont compris entre 3 semaines de vie et le début d'engraissement, correspondant au moment de survenue des cas cliniques. L'effet de l'âge des porcs ou du statut de la mère sur la positivité sont observés, un effet gabarit limité s'observe pour l'élevage 1 et aucun effet sexe n'est observé. Concernant le type de prélèvement, les fluides oraux pourraient présenter un intérêt pour l'étude du sérotype 9.

Descriptive study of the carrying of *Streptococcus suis* and serotypes 2, 1/2 and 9 on two French farms with clinical cases of streptococcosis

Streptococcus suis is a commensal or pathogenic bacteria carried in the pig respiratory tract that can cause meningitis and septicaemia in pigs. The diversity of serotypes found in the field testifies to the high genetic diversity of the species. Recently, in France, the frequency of serotype 9 isolated from clinical cases has increased, but few data are available for this serotype. To improve knowledge about the dynamics of carrying serotype 9 (within-farm transmission), a transversal study was conducted on two farms whose pigs had clinical cases of streptococcosis caused by serotype 9 and had not received an autogenous vaccine.

Forty sows and 180 growing pigs of different ages were sampled. Tonsil swabs, oral fluid sampling, and nasal and vaginal swabs were performed to assess both the carrying and relevance of different samples compared to the gold standard (the tonsil swab). Samples were analysed using multiplex qPCR to detect *S. suis*, serotypes 2 and/or 1/2 and serotype 9 to determine (i) which pigs and (ii) which types of samples were positive for the serotypes. Growing piglets from three weeks of age to the beginning of the fattening period were more frequently carriers, in accordance with the age of clinical cases. Significant effects of (i) age and (ii) the mother's status were observed, while an effect of piglet size was observed on one farm only, and no effect of sex was observed. Concerning the types of samples, oral fluids could be relevant for studying *S. suis* serotype 9.

INTRODUCTION

Streptococcus suis (*S. suis*) est une bactérie commensale de la sphère oro-pharyngée des porcs, pouvant devenir pathogène lorsqu'elle parvient à franchir la barrière épithéliale. La streptococcie, maladie liée au *S. suis*, s'exprime par des méningites, des arthrites ou encore par des mortalités subites sur les porcelets de cinq à dix semaines d'âge majoritairement (Gottschalk et Segura, 2019). *S. suis* se caractérise par une grande diversité génétique notamment au niveau de sa capsule bactérienne. En France, les principaux sérotypes impliqués dans les cas cliniques sont les sérotypes 2 et 9 (données internes Ceva-Biovac). La lutte contre *S. suis* repose sur l'utilisation curative d'antibiotiques et d'anti-inflammatoires. Pour la prévention, la diversité génétique et l'absence de protection croisée suffisante entre sérotypes (Baums *et al.*, 2009) ne permettent pas d'avoir recours à un vaccin commercial à ce jour. La prévention vaccinale repose donc sur l'utilisation d'autovaccins, fabriqués à partir de la/des souche(s) isolée(s) en élevage sur les organes cibles d'animaux malades n'ayant pas reçu de traitement antibiotique. En France, l'usage d'autovaccins contre le *S. suis* historique, à savoir le sérotype 2, permet dans la grande majorité des cas une bonne gestion de la streptococcie. Mais la présence croissante de *S. suis* sérotype 9 dans les épisodes cliniques est à l'origine de quelques échecs de prévention par l'autovaccin, ce qui pousse à s'interroger sur les particularités de ce sérotype émergent. La littérature apporte encore peu d'informations sur ce sérotype. Or, pour lutter efficacement contre cette bactérie, comprendre certains éléments d'épidémiologie comme sa dynamique d'infection en élevage (types d'individus infectés, niveau de transmission, persistance des souches...) est nécessaire.

C'est donc afin de mieux décrire les infections à *S. suis* sérotype 9 et leur prévention par les autovaccins que le projet EVASION est né. Ce projet, en partenariat entre l'ANSES, l'INRAE-Oniris, Ceva-Biovac et le Réseau Cristal, est financé dans le cadre du plan EcoAntibio 2 qui vise à travailler sur les alternatives à l'usage des antibiotiques. Les différents volets de laboratoire et de terrain auront pour but de décrire l'impact de l'utilisation d'un autovaccin contre le *S. suis* sérotype 9 tant d'un point de vue immunitaire et clinique que d'un point de vue épidémiologique.

Ainsi, cette étude est une des premières étapes du projet EVASION car elle a pour objectif une description qualitative du portage à un instant *t* de *S. suis* (tous sérotypes) et en particulier des sérotypes 9 et 2 (et/ou 1/2) dans deux élevages non-utilisateurs d'autovaccins et qui sont fréquemment confrontés à des cas cliniques de streptococcie durant la phase de post-sevrage. Cette étude évalue différents types de prélèvements afin de voir si une méthode de prélèvement pourrait être aussi pertinente que celle de référence (l'écouvillonnage amygdalien par brochette) et moins contraignante en termes de contention.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Sélection des élevages

Pour être inclus dans cette étude, les élevages devaient répondre à un certain nombre de critères soit inhérents au protocole, soit liés aux partenaires du projet.

Les critères de sélections étaient : 1) Elevage naisseur engraisseur ou naisseur post-sevrage *a minima*, de taille petite à moyenne : 100 à 350 truies ; 2) Elevage avec circulation de *S. suis* sérotype 9 et expression clinique sur le post-sevrage ; 3) Elevage non-utilisateur d'autovaccin contre *S. suis* ; 4) Elevage suivi par des vétérinaires du Réseau Cristal ; 5) Eleveur motivé par l'étude.

L'étude a été menée dans deux élevages naisseurs engraisseurs qui seront nommés Elevage 1 (EL1) et 2 (EL2).

L'élevage 1, étudié en 2022, est situé en Bretagne et composé de deux sites d'élevage : un site avec la partie reproduction et un site avec le post-sevrage (PS) et l'engraissement. L'élevage compte environ 350 truies conduites en sept bandes avec un sevrage à 28 jours. Depuis 2018, *S. suis* a été isolé à plusieurs reprises sur des porcelets de PS, dont le sérotype 9 mais également des souches non-typables. Les cas de streptococcie surviennent entre six et neuf semaines d'âge et se traduisent par des signes nerveux et des mortalités subites. Ces cas sont à l'origine d'utilisation d'antibiotiques (triméthoprime-sulfadiazine) quasiment systématiquement sur les lots (pendant 5 jours à l'arrivée en PS et 5 jours autour de la transition alimentaire 1^{er}/2^{ème} âge). Des traitements individuels sont aussi nécessaires (amoxicilline + dexaméthasone). Le taux de pertes en PS était de 2,2 % en 2021 (base GTE éleveur avant inclusion). L'élevage 2 est situé en Normandie. Tous les bâtiments se trouvent sur un même site. L'élevage compte environ 140 truies conduites en sept bandes avec un sevrage à 28 jours. Depuis 2022, des cas de streptococcie sont apparus en élevage. Dès la maternité, vers 3 semaines d'âge, des porcelets présentent des signes nerveux (décubitus latéral et pédalage), qui se poursuivent en PS avec des porcelets présentant des troubles nerveux et des arthrites. Des souches de *S. suis* sérotype 9 et sérotype 7 ont été isolées en 2022 sur des porcelets présentant ces troubles nerveux en post-sevrage. Dans cet élevage, la gestion de la streptococcie passe par des traitements individuels (amoxicilline ou benzylpénicilline-dihydrostreptomycine et dexaméthasone). En 2022, le taux de pertes en PS s'élève à 3,3 % avec un écart type de 2,3% (calculé avec les fiches bandes avant inclusion).

1.2. Présentation du protocole

Ce protocole a pour but de décrire le portage de *S. suis* sérotype 9 (SS9), 2 et/ou 1/2 (SS2) grâce à la qPCR multiplexe développée dans le cadre du projet EVASION. Cette qPCR cible le gène RecN commun aux 29 sérotypes décrits de *S. suis*, le gène *cps9H* pour le sérotype 9 et le gène *cps2J* pour les sérotypes 2 et 1/2 (non différenciables par cette PCR).

Le protocole présenté a été validé par le CERVO (Comité d'Ethique en Recherche clinique et épidémiologique Vétérinaire d'ONIRIS) n°CERVO-2022-3-V.

Afin d'estimer le nombre d'animaux à prélever, les valeurs de prévalence décrites dans des études de portage sur d'autres sérotypes de *S. suis* ont été considérées (Cloutier *et al.*, 2003, Marois *et al.*, 2007 et Fablet *et al.*, 2011). Ainsi, la taille de l'élevage devait être comprise entre 100 et 350 truies et les effectifs à prélever sont les suivants : 10 truies par stade physiologique (cochettes du pré-troupeau, truies en milieu de gestation, truies 48h après mise-bas et truies en lactation). La répartition des rangs de portées devait suivre au mieux la démographie théorique d'un troupeau soit deux cochettes (ou rang 1), deux primipares (ou rang 2), trois truies de rang 3 ou 4, et trois truies de rang 5 et plus.

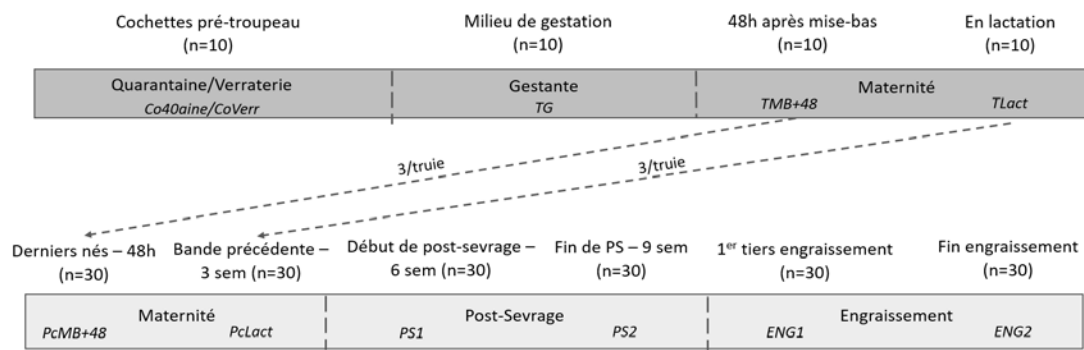


Figure 1 – Protocole avec les différents stades physiologiques et effectifs prélevés

Pour les porcs en croissance, 30 individus ont été prélevés par stade physiologie : en maternité, 48h après mise-bas et à 3 semaine d'âge, en post-sevrage, à 6 et 9 semaines d'âge, en début et en fin d'engraissement (Figure 1).

Chaque animal a été prélevé pour les différentes matrices. En effet, pour étudier le portage des *S. suis*, le prélèvement de référence est l'écouvillonnage amygdalien réalisé avec une brosette. Or ce prélèvement est contraignant car il nécessite la présence de deux opérateurs. Le premier assure la contention pendant que le second, à l'aide d'un pas d'âne pour maintenir la bouche ouverte, réalise l'écouvillonnage. Ainsi d'autres méthodes de prélèvements ont été réalisées afin d'identifier une éventuelle option moins contraignante et aussi pertinente que l'écouvillonnage amygdalien par brosette. Les cochettes et les truies (reproductrices) ont été prélevées par écouvillonnage amygdalien avec brosette (BA), par écouvillonnage nasal (EN), par collecte de fluide oral (FO) et par écouvillonnage vaginal (EV). Sur les porcs en croissance, ont été réalisés des BA, EN et FO. Les écouvillonnages amygdaliens ont été réalisés à l'aide de brosettes endocervicales stériles (Emilabo®), les écouvillonnages nasaux ont été réalisés avec des écouvillons secs stériles adaptés à la taille des porcs (porcelets en maternité et post-sevrage : écouvillons nasaux MWE® de longueur 150mm et diamètre 2,5mm ; porcs en engraissement et reproductrices : écouvillon secs Copan FLOQSwabs®, 130mm par 3mm). Les prélèvements vaginaux étaient réalisés avec les écouvillons secs FLOQSwabs® précédemment décrits. Enfin pour les fluides oraux, les porcelets de maternité étaient prélevés avec les écouvillons secs FLOQSwabs® du fait du faible volume de salive disponible. Les fluides oraux des porcelets de post-sevrage étaient récoltés à l'aide de salivettes de 4x10cm faites avec des lingettes de surface Sodibox® sèches et les charcutiers et truies avaient ces mêmes salivettes mais de dimension 4x20cm. Une fois réalisés, les prélèvements étaient placés dans 2mL d'eau peptonée tamponnée (sauf salive pure prélevée sur salivette) et conservés à +4°C en attendant leur traitement.

De plus, certaines informations concernant les individus prélevés ont été collectées telles que le rang de portée pour les reproductrices. Pour les porcs en croissance : le sexe, l'identification de la mère (en maternité), la salle, la case et le gabarit ont été relevés. La notion de gabarit a été estimée visuellement par les préleveurs. Les porcs pouvaient être « petit », « moyen » ou « gros ». L'évaluation se faisait en comparaison aux autres animaux de la même case et/ou d'une case par rapport aux autres. Avec le tri progressif des animaux en élevage, le gabarit intra-case tend à s'homogénéiser avec la croissance.

1.3. Traitement des prélèvements et des données

Après réalisation des qPCR multiplex à l'ANSES de Ploufragan, les données de charges de génome bactérien de chaque prélèvement étaient disponibles.

Pour cette étude, les variables à expliquer sont le statut de positivité des individus aux différents sérotypes et la positivité des échantillons aux différents sérotypes.

Les variables explicatives disponibles sont le stade physiologique des animaux, le gabarit des porcs en croissance, le sexe, la positivité à un/deux/aucun sérotype(s) ou encore le statut de la mère pour les porcelets de maternité.

Les données ont été analysées de façon qualitative. Le statut « positif » est attribué à chaque individu dès lors qu'au moins un des prélèvements est positif au sérotype travaillé.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel R (version 4.3.3). Dans un premier temps, des tests du Chi2 ont été réalisés afin de décrire les liens entre le statut de positivité et les potentiels facteurs explicatifs. Afin de prendre en compte l'ensemble des potentiels facteurs liés à la positivité des animaux, des modèles de régression logistique avec la méthode Firth's bias reduction ont ensuite été appliqués. Cette dernière permet de réaliser des analyses en présence d'effectif nul chez les animaux positifs et/ou négatifs dans certaines modalités des variables explicatives. Des modèles de régression logistique avec effet aléatoire ont également été utilisés. Ils permettent de tenir compte de la corrélation entre les différents prélèvements d'un même individu (ajout d'un effet aléatoire individu). Des analyses univariées puis multivariées ont été réalisées pour chacun de ces modèles.

2. RESULTATS

La réalisation des deux études permet d'avoir un total de 80 truies prélevées (40 par élevage) et 360 porcs en croissance (180 par élevage). En termes de prélèvements, suite à une erreur de manipulation sur un fluide oral entraînant la perte de deux prélèvements dans l'EL1 et la perte de deux prélèvements (BA et EN) dans l'EL2, des résultats sont disponibles pour 439 écouvillonnages amygdaliens, 439 écouvillonnages nasaux, 438 fluides oraux et 80 écouvillonnages vaginaux.

2.1. Prévalence des sérotypes en fonction des élevages

Dans les deux élevages, 100 % des animaux sont positifs pour le *S. suis*.

Pour le sérotype 9 (Figure 2a), dans l'EL1, 7,5 % des truies sont positives et 40 % des porcs en croissance contre 7,5 % des truies et 17,8 % des porcs en croissance dans l'EL2. Il y a significativement plus de positifs au SS9 dans l'EL1 (Test Chi2 sur porcs en croissance, $P < 0,001$).

Pour les sérotypes 2 et/ou 1/2 (Figure 2b), dans l'EL1, 42,5 % des truies sont positives et 47,8 % des porcs en croissance contre 5 % des truies et 14,4 % des porcs en croissance dans l'EL2. Il y a significativement plus de positifs au SS2 dans l'EL1 (Test Chi2 sur porcs en croissance, $P < 0,001$).

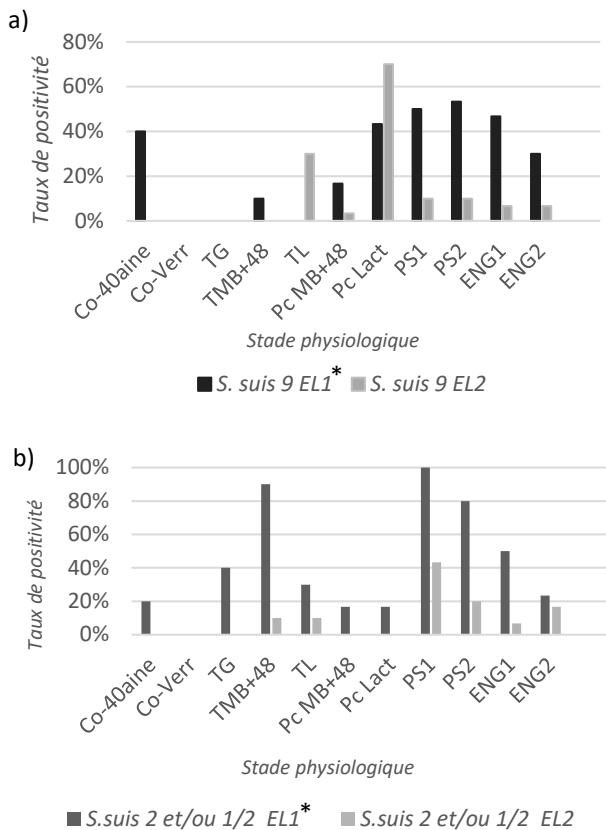


Figure 2 - Taux de positivité à a) S. suis 9 et b) S. suis 2 et/ou 1/2 en fonction du stade physiologique et de l'âge des individus dans les deux élevages

Co-40aine = cochettes en quarantaine, Co-Verr = Cochettes en verraterie, TG= Truies gestantes, TMB+48 = Truies 48h après mise-bas, TL = Truies en lactation, PC MB+48 = porcelets 48h de vie, Pc Lact = Porcelets 3 semaines de vie, PS1/PS2 = post sevrage 1 et 2, ENG1/ENG2 = engraissement 1 et 2. EL1 = Elevage 1, EL2 = Elevage 2, * = élevage présentant significativement plus de positifs pour le sérotype étudié

L'étude comparée des deux élevages sur les sérotypes étudiés (SS9 et SS2) montre que la probabilité d'être positif est supérieure dans l'EL1 (OR = 4,35, IC_{95%} = [0,15 ; 0,35]).

2.2. Facteurs associés à la positivité des truies

Aucun impact du stade physiologique des truies sur le portage à *S. suis* n'a pu être démontré (100 % des animaux positifs).

Au vu de l'effectif limité de truies prélevées et du faible nombre de truies positives à SS9 et/ou SS2, il n'est pas possible de mettre en évidence des facteurs associés à la positivité pour ces sérotypes.

2.3. Facteurs associés à la positivité des porcelets

2.3.1. Effet sexe

175 femelles et 185 mâles ont été prélevés sur l'ensemble des deux élevages. Les différentes analyses statistiques (élevages confondus ou par élevage) ne montrent pas d'effet sexe sur la positivité des individus et ce quel que soit le sérotype considéré.

2.3.2. Effet gabarit

Pour l'effet gabarit, sur l'ensemble des deux élevages, la répartition globale est la suivante : 62 petits porcelets, 103 moyens, 105 gros et 90 sans mention de gabarit (surtout dans EL2 en lien avec l'homogénéisation des gabarits en engraissement, ainsi la répartition des effectifs par gabarit dans les deux élevages est statistiquement différente). Sur l'ensemble des deux élevages, aucun lien significatif n'a été mis en évidence entre le gabarit et la positivité SS9 (modèle de régression logistique, $P = 0,42$), ni la positivité SS2 (modèle de régression logistique, $P = 0,16$). A l'échelle de l'élevage, une interaction significative en tendance s'observe dans l'EL1 ($P = 0,06$) pour le SS2, avec significativement moins de risque d'être positif pour les moyens par rapport aux petits (OR = 0,35, $P < 0,05$) et une tendance à avoir moins de risque chez les gros par rapport aux petits (OR = 0,37, $P = 0,07$).

2.3.3. Effet âge

Les données des deux élevages confondus montrent que les porcelets 48h après mise-bas sont significativement moins à risque d'être positifs pour SS9 et SS2 en simple ou en double portage par rapport aux autres catégories d'âge (Test Chi2, $P < 0,05$).

Il existe une interaction significative entre le stade et l'élevage. Cette interaction se traduit par des liens différents entre la positivité à un ou deux sérotypes et le stade dans les deux élevages. Dans l'EL1, la probabilité d'être positif est significativement supérieure chez les porcs en PS1, PS2 et ENG1 par rapport aux porcelets 48h après mise-bas (PS1/PcMB+48h : OR = 142,86, $P = 0,01$; PS2/ PcMB+48h : OR = 25, $P < 0,001$; ENG1/ PcMB+48h : OR = 5, $P = 0,04$) alors que pour EL2, le portage est significativement plus fréquent pour les porcelets de 3 semaines d'âge par rapport aux animaux de 48h de vie et aux PS2, ENG1 et 2 (PcLact/PcMB+48h : OR = 50, $P < 0,001$; PcLact/PS2 : OR = 5,12, $P = 0,03$; PcLact/ENG1 : OR = 13,3, $P < 0,001$; PcLact/ENG2 : OR = 7,09, $P = 0,009$).

Pour ce qui est du SS9, pour les deux élevages confondus, il existe un lien significatif entre le stade et le statut SS9 ($P < 0,05$). Les porcelets entre 3 semaines de vie et la fin de PS ont une probabilité plus élevée d'être positifs que les porcelets de 48h de vie (significativement pour PcLact/PcMB+48h : OR = 11,76, $P < 0,001$ et tendance pour PS1 et PS2 avec des p -values $< 0,1$). Au niveau élevage il existe une interaction significative entre le stade et l'élevage. Dans l'EL1, les porcelets de PS2 sont plus fréquemment positifs que les nouveaux nés (OR = 5,56, $P = 0,05$) et une tendance s'observe pour le PS1 comparé aux nouveaux nés. Alors que dans l'EL2, il apparaît que les porcelets de 3 semaines de vie sont significativement plus fréquemment positifs que l'ensemble des autres âges (toutes les p -values $< 0,005$).

Concernant le SS2, sur les deux élevages confondus, il existe un lien significatif entre le stade et le statut SS2 ($P < 0,05$). Les porcelets significativement plus positifs sont les porcelets en PS1 et 2 en comparaison à la quasi-totalité des autres stades (avec tous les OR présentant une $P \leq 0,05$ à l'exception de PS2/ENG1, OR = 2,49, $P = 0,16$). Pour ce sérotype, les porcelets en maternité présentent le moins de risque d'être positifs.

Au niveau élevage il existe une interaction significative entre le stade et l'élevage qui diffère entre les deux élevages. Dans l'EL1, le portage est significativement plus fréquent en PS1 et 2 en comparaison aux Pc MB+48h, aux PcLact et en ENG2 (l'ensemble des odds ratio présente des $P < 0,01$) alors que dans l'EL2, le portage est significativement plus fréquent en PS1 comparé à l'ENG1 (PS1/ENG1 : OR = 8,8, $P = 0,05$). Pour le reste, seule une tendance s'observe pour un portage plus fréquent en PS1 par rapport aux Pc MB+48h et PcLact (PS1/PcMB+48h et PS1/PcLact : OR = 50, $P = 0,096$).

2.3.4. Effet mère

Le lien entre la positivité de la truie et la positivité de ses porcelets a été étudié sur 60 porcelets par stade. Deux jours après la naissance, il n'y a pas de lien pour SS9 et une tendance à avoir plus de porcelets positifs à SS2 sous les truies positives SS2 s'observe (Test de Chi2, $P = 0,052$). A 3 semaines de vie, il y a une tendance à avoir plus de porcelets positifs SS9 chez les truies positives SS9 (Test de Chi2, $P = 0,06$) et il y a significativement plus de porcelets positifs SS2 sous les truies positives SS2 (Test de Chi2, $P < 0,05$).

2.4. Nature du prélèvement et détection du portage des sérotypes d'intérêt

2.4.1. Profils de positivité des animaux

Parmi les animaux positifs se trouve une diversité de profils de positivité en lien avec le nombre de prélèvements positifs par animal et le/les type(s) de prélèvement(s) positif(s).

Concernant les profils de positivité des truies à SS9, le faible nombre d'animaux positifs ne permet pas une analyse approfondie des données, toutefois aucune truie n'a eu l'ensemble de ses prélèvements positifs. Pour les porcs en croissance, sur les 72 animaux positifs à SS9 dans l'EL1, un seul animal est positif pour ses trois prélèvements. Trente porcs ont deux prélèvements positifs avec 25/30 (83,3 %) positifs BA+FO. Pour les 41 porcs positifs sur un seul prélèvement, 53,6 % sont positifs BA et 36,5 % positifs FO. Pour les 32 animaux positifs à SS9 dans l'EL2, aucun n'est positif pour les trois types de prélèvements, 12 sont positifs pour deux prélèvements avec majoritairement BA+FO (83,3 %). Pour les animaux positifs sur un seul prélèvement, 80 % sont positifs BA.

Concernant les profils de positivité des truies à SS2, de même, aucune truie n'a été positive sur l'ensemble de ses prélèvements. Pour les porcs en croissance, sur les 84 animaux positifs à SS2 dans l'EL1, 28 animaux (1/3) ont leurs trois prélèvements positifs. Vingt-huit autres (1/3) ont deux prélèvements positifs avec 20/28 (71,4 %) positifs BA+EN. Pour le dernier tiers qui présente un seul prélèvement positif, 46,4 % sont positifs BA et EN séparément. Pour les 26 animaux positifs à SS2 dans l'EL2, deux animaux sont positifs sur l'ensemble des prélèvements. Pour les cinq doubles positifs, BA+EN est majoritaire (80,0 %) et pour les 19 animaux positifs sur un seul prélèvement ce sont majoritairement les EN qui sont positifs (78,9 %).

2.4.2. Probabilité de positivité des différents types de prélèvements

L'analyse a été menée uniquement sur les données des porcs en croissance.

Pour le SS9, il existe une interaction significative entre le stade et le type de prélèvement. Cette étude n'a pas pu prendre en compte le stade PS1 car aucun porcelet n'était positif SS9 en EN. Pour les porcelets à 3 semaines d'âge, le BA est le prélèvement pour lequel la probabilité d'être positif est significativement plus élevée (Tableau 1). Il n'y a pas de différence significative entre les deux autres prélèvements (Tableau 1). Pour les porcelets en PS2 et en début d'engraissement il apparait que les BA et FO sont les deux prélèvements les plus fréquemment positifs sans différence significative entre les deux (Tableau 1).

Enfin, pour les porcelets à 48h de vie et les porcs en fin d'engraissement aucune différence de capacité de détection n'est observée entre les différents types de prélèvements.

Tableau 1 : Interactions entre le stade et le type de prélèvement pour SS9
(/= absence d'interaction significative pour le stade)

| Stade | Prélèvements | Odds.ratio | p-value |
|------------------|--------------|------------|---------|
| Pc MB+48h | / | / | / |
| PcLact | BA/EN | 19,9 | < 0,001 |
| | BA/FO | 7,76 | < 0,001 |
| | EN/FO | 0,40 | 0,31 |
| PS2 | BA/EN | 5,69 | 0,03 |
| | EN/FO | 0,16 | 0,02 |
| | BA/FO | 0,90 | 0,97 |
| ENG1 | BA/EN | 7,75 | 0,03 |
| | EN/FO | 0,13 | 0,03 |
| | BA/FO | 1,00 | 1,00 |
| ENG2 | / | / | / |

PC MB+48 = porcelets 48h de vie, Pc Lact = Porcelets 3 semaines de vie, PS2 = post sevrage 2, ENG1/ENG2 = engraissement 1 et 2, BA = Ecouvillonnage amygdalien par brochette, EN = Ecouvillon nasal, FO = Fluide oral.

Pour le SS2, sur l'ensemble de l'effectif, l'interaction entre le stade et le type de prélèvement est non significative ($P = 0,52$). Cette étude n'a pas pu prendre en compte PcLact car aucun porcelet n'était positif SS2 pour FO. Le lien entre le statut SS2 et le type de prélèvement n'est pas différent selon les stades physiologiques. En revanche, il existe un lien significatif entre le statut SS2 et le type de prélèvement ($P < 0,05$) avec significativement plus de positifs BA par rapport à FO (Tableau 2) et plus de positifs EN par rapport à FO. Aucune différence significative entre BA et EN n'a été observée.

Tableau 2 : Risque comparé des prélèvements à être positifs aux sérotypes 2 et/ou 1/2 de *S. suis*

| Prélèvements comparés | Odds.ratio | p-value |
|-----------------------|------------|---------|
| BA/EN | 0,82 | 0,54 |
| BA/FO | 2,18 | < 0,001 |
| EN/FO | 2,65 | < 0,001 |

BA = Ecouvillonnage amygdalien par brochette, EN = Ecouvillon nasal, FO = Fluide oral.

3. DISCUSSION

L'étude présentée apporte une première description du portage du *S. suis* sérotype 9 dans deux élevages commerciaux. Elle complète ainsi les études de portage sur *S. suis* sérotypes 2 et/ou 1/2. Cette étude nous montre que le portage diffère sur plusieurs points entre les deux élevages. La dynamique de portage observée semble être en cohérence avec la clinique observée dans les élevages : âge des cas et intensité. En effet, dans l'EL1 les cas de streptococcie étaient observés sur la phase de post-sevrage uniquement, avec une morbidité élevée à l'origine de traitements antibiotiques sur les lots entiers et des traitements individuels en supplément. Dans l'EL2, quelques premiers cas de porcelets présentant des symptômes nerveux dès la 3^{ème} semaine d'âge puis les porcelets avec arthrites et symptômes nerveux étaient observés surtout en post-sevrage. La gestion des individus malades ne nécessitait pas un recours à des traitements de lots à visée *S. suis*. La précocité des cas se retrouve au travers du portage de SS9 plus important sur les porcelets de 3 semaines d'âge pour l'EL2 alors que dans l'EL1 ce sont les porcelets de PS2 voire PS1 qui sont significativement plus positifs à SS9.

Au-delà de la cohérence entre la clinique et la dynamique de portage observée, d'autres facteurs pourraient en partie expliquer ces différences de prévalence de portage. En effet, les deux élevages présentent des différences de statut concernant certaines co-infections connues pour favoriser la colonisation des muqueuses et la survenue de cas cliniques de streptococcie (Obradovic *et al.*, 2021). En effet l'EL1 est positif au Syndrome Dysgénésique et Respiratoire Porcin (SDRP) et possède un historique de grippe avec une vaccination des truies alors que l'EL2 est indemne SDRP. Toutefois, un épisode grippal aigu a montré la circulation d'un virus influenza de type A H1avN2 sur les porcs charcutiers en septembre 2022. Ces co-infections peuvent faciliter la colonisation et l'invasion des cellules de la muqueuse respiratoire et favoriser la survenue d'épisodes cliniques de streptococcie plus nombreux et plus sévères (Obradovic *et al.*, 2021).

En ce qui concerne les sérotypes 2 et/ou 1/2, une étude avait déjà été menée (Marois *et al.*, 2007) sur le portage de ce sérotype au niveau des amygdales de truies et porcelets de différents stades dans des troupeaux avec un historique récent ou une expression clinique de streptococcie. Ces données ainsi que celle d'une étude sur le portage du *S. suis* de sérotype 5 (Cloutier *et al.*, 2003) ont été des supports pour décider des effectifs à prélever. Le but étant de cibler suffisamment d'animaux pour décrire correctement la prévalence tout en ayant un nombre raisonnable d'animaux à prélever pour des questions de bien-être animal et de pénibilité.

Les données de portage obtenues dans cette étude pour le sérotype 2 et/ou 1/2 montrent une positivité de 42,5 et 5 % pour l'EL1 et l'EL2 respectivement sur les truies alors qu'il est < 2 % dans l'étude de Marois *et al.* (2007). Or pour comparer les études, il faut ramener les niveaux de positivité de notre étude à la positivité des seuls écouvillonnages amygdaliens. Cela étant fait, les taux de positivité des BA dans l'EL1 et l'EL2 sont alors respectivement de 12,5 % et 0 % attestant d'une variabilité observable dans les élevages commerciaux. Pour les porcs en croissance, il apparaît dans l'étude de 2007 que la positivité des animaux est plus importante chez les charcutiers en engraissement par rapport au post-sevrage (4 à 7 % vs 2 % de positifs en PCR sur écouvillonnages amygdaliens), en appliquant le même raisonnement que pour les truies uniquement sur les BA, l'EL1 et l'EL2 ont des taux de positivité supérieurs en PS comparé à l'engraissement (en PS : 70 % et 13,3 % respectivement et 28 et 3 % respectivement pour l'engraissement).

Quelques éléments pourraient expliquer ces différences : l'expression clinique concernait l'engraissement dans l'étude de

2007 alors que, dans notre étude, les cas cliniques sont en PS d'où des profils de portage différents en fonction des âges. Concernant le taux d'animaux positifs, dans l'étude de Marois *et al.*, 2007, seul un élevage présentait des cas cliniques, il est donc probablement plus pertinent de s'intéresser au portage de cet élevage. On retrouve alors l'idée d'un portage plus important au moment des signes cliniques (40% de positifs entre 20 et 22 semaines vs 7,5% dans les sept autres élevages sans clinique). Le taux de positivité des animaux a pu être limité dans l'étude de 2007 du fait de l'usage d'autovaccins dans trois élevages. A cela s'ajoute des différences au niveau (i) du matériel de prélèvement utilisé, (ii) des tests PCR utilisés pouvant présenter des sensibilités différentes et (iii) de l'usage des antibiotiques qui a évolué entre les deux études.

La question du type de prélèvement qui avait été soulevée trouve une réponse dans cette étude. Concernant le SS9, il apparaît que les fluides oraux peuvent être une matrice intéressante à considérer pour le post-sevrage d'après les résultats de positivité BA et FO observés pour le PS2. Cette conclusion rejoint celle d'un travail visant à évaluer l'intérêt du prélèvement salivaire pour évaluer le portage du SS9 et SS2 chez les porcelets en post-sevrage (Fabà *et al.*, 2022). Ce prélèvement se veut non invasif et ne nécessite pas forcément de contention d'où son intérêt. Pour le SS2, il est apparu que les écouvillonnages nasaux pouvaient être une méthode intéressante pour évaluer le portage de ce sérotype. Toutefois, lors de la mise en œuvre des prélèvements, nous avons observé des réactions de retrait des porcs laissant penser que cette manipulation n'est pas atraumatique.

CONCLUSION

Cette étude menée dans deux élevages met en lumière le lien entre le taux de positivité et le moment de survenue des cas cliniques. Il sera pertinent de s'intéresser à la charge bactérienne afin de savoir si le portage est aussi plus important d'un point de vue quantitatif à ces stades critiques. La comparaison de cette étude avec celle de Marois *et al.* 2007, interroge sur l'impact positif que peuvent avoir les autovaccins en limitant ce portage. Cette évaluation du portage, bien que très rarement réalisée sur le terrain, pourrait être simplifiée dans certains cas spécifiques notamment pour le *S. suis* sérotype 9 qui pourrait être étudié via les fluides oraux en post-sevrage et début d'engraissement. Cette étude montre que l'écouvillonnage amygdalien par brossage reste le prélèvement de référence pour étudier le portage du *S. suis*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baums C., Kock C., Beineke A., Bennecke K., Goethe R., Schoröder C., Waldmann KH., Valentin-Weigand P., 2009. *Streptococcus suis* Bacterin and Subunit Vaccine Immunogenicities and Protective Efficacies against Serotypes 2 and 9. *Clin Vaccine Immunol.*, 16, 200-208.
- Cloutier G., D'Allaire S., Martinez G., Surprenant C., Lacouture S., Gottschalk M., 2003. Epidemiology of *Streptococcus suis* serotype 5 infection in a pig herd with and without clinical disease. *Vet. Microbiol.*, 97, 135-151.
- Fabà L., Venrooij K., van Lith P., Litjens R., 2022. Saliva vs tonsillar swabbing with nylon swab to measure *S. suis* in oral cavity. *European Symposium of Porcine Health Management*, Budapest, Hungary.
- Fablet C., Marois C., Kuntz-Simon G., Rose N., Dorenlor V., Eono F., Eveno E., Jolly J.P., Le Devendec L., Tocqueville V., Quéguiner S., Gorin S., Kobisch M., Madec F., 2011. Longitudinal study of respiratory infection patterns of breeding sows in five farrow-to-finish herds. *Vet. Microbiol.*, 147, 329-339.
- Gottschalk M., Segura M., 2019. Streptococcosis. *Diseases of Swine*. In: Zimmerman JJ, Karriker LA, Ramirez A, Schwartz KJ, Stevenson GW, Zhang J, 11th edition. Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, USA, 934-950.
- Marois C., Le Devendec L., Gottschalk M., Kobisch M., 2007. Detection and molecular typing of *Streptococcus suis* in tonsils from live pigs in France. *Can J Vet Res.*, 71:14-22.
- Obradovic M.R., Segura M., Segales J., Gottschalk M., 2021. Review of the speculative role of co-infections in *Streptococcus suis*-associated diseases in pigs. *Vet. Res.*, 52, 49.



Evolution des performances des porcs du post-sevrage à l'abattage après mise en place de la vaccination par voie orale contre *E. coli* F4/F18

Jean-Luc SEVIN (1), Lucile FAISANT (2), Sophie VIGNERON (3), Bernard FILY (3), Vincent BURLOT (3)

(1) Socavet, 75 boulevard de penhièvre, 22600 Loudéac, France

(2) Eureden, Z.A. de Lanjouan, BP 90251 - 22402 Lamballe Cedex, France

(3) Elanco France SAS, Crisco Uno, bâtiment C, 3-5 avenue de la cristallerie, CS80020, 92317 Sèvres Cedex, France

jean-luc.sevin@socavet.fr

Pig performance from post-weaning to the slaughterhouse before and after implementing oral vaccination against *E. coli* F4/F18

A farrow-to-finish farm under Label Rouge specifications wanted to improve the homogeneity and percentage of pigs selected for slaughter at the first departure. Under Label Rouge specifications, fattening pigs cannot be sent to the slaughterhouse before 182 days of age. The pig producer was disappointed with the number of pigs selected for the first departure, which was too small despite good performance during post-weaning without signs of diarrhoea. First, technical development was implemented for fattening. Then, focus was placed on post-weaning: when *Escherichia coli* F4 was detected, piglets received oral vaccination against *E. coli* F4/F18. Few data on impacts of oral *E. coli* F4/F18 vaccination from post-weaning to the slaughterhouse are available. The objective of this study was to evaluate effects of vaccination against *E. coli* F4/F18 on post-weaning, fattening and carcass quality. Data from 22 batches were considered retrospectively. Vaccinated batches alternated with unvaccinated batches. Statistical analysis was performed using T test or Mann-Whitney test. For the nine vaccinated batches, the weight at the end of post-weaning increased significantly by 2 kg ($P < 0.01$) and the ADG8-30 by 42 g/d ($P < 0.01$) compared to the 13 unvaccinated batches. The percentage of animals selected for slaughter for the first departure was significantly higher by 9 % ($P < 0.05$) in the vaccinated batches, which met the pig producer's objectives. In addition, carcass quality data showed a significant improvement in the lean meat content by 0.5 % ($P < 0.05$) and minimum muscle thickness between the anterior part of the gluteus medius and the dorsal part of the medullary canal by 1.2 mm ($P < 0.05$) in the vaccinated batches.

INTRODUCTION

La prolifération d'*Escherichia coli* entérotoxigènes (ETEC) F4/F18 dans le tube digestif des porcelets peut provoquer des diarrhées de post-sevrage. Ces bactéries possèdent les facteurs d'attachement F4 et/ou F18 et produisent des entérotoxines. Ces infections provoquent des pertes économiques en élevage notamment dues à la mortalité, aux retards de croissance et à l'hétérogénéité des lots. Par ailleurs, l'absence de diarrhées notables dans un troupeau n'exclut pas un impact négatif de l'infection par ETEC F4/F18 sur la santé intestinale des porcs et leurs performances. Les porcelets touchés excrètent des ETEC (Wellock *et al.*, 2008a) et leurs performances de croissance peuvent être affectées temporairement (Wellock *et al.*, 2008b). Un vaccin oral contre les *E. coli* entérotoxigènes F4/F18 possède une AMM en France et permet de réduire l'incidence des diarrhées de post-sevrage et de réduire l'excrétion fécale des ETEC F4/F18. Peu de publications existent sur l'impact de la vaccination contre *E. coli* F4/F18 avec des données allant jusqu'à la qualité de carcasses. L'objectif de cette étude était donc d'évaluer les effets de la vaccination contre *E. coli* F4/F18 sur le post-sevrage, l'engraissement et la qualité de carcasses.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description générale de l'étude

Un élevage naisseur-engraisseur de 160 truies Label Rouge Opale en 5 bandes souhaitait améliorer l'homogénéité et le pourcentage de porcs au premier départ. En effet, l'âge minimum à l'abattage est de 182 jours et l'éleveur trouvait le nombre d'animaux au premier départ trop faible par rapport à son objectif de 60%. L'élevage présentait un bon niveau de performance en post-sevrage sans signes de diarrhées récurrents, avec juste une présence de quelques épisodes cliniques mais non réguliers. Un travail zootechnique et sanitaire en engraissement a d'abord été fait. Il n'a pas apporté entière satisfaction.

Le travail s'est alors porté sur le post-sevrage et la vaccination par voie orale en augette avec Coliprotec™ F4/F18 (Elanco) a été réalisée après la mise en évidence de la présence d'un ETEC F4 à la suite de la réalisation de pédichiffonnettes. Les porcelets étaient sevrés à 21 jours et la vaccination était réalisée à 18 jours d'âge.

Les cases de post sevrage étaient les mêmes qu'en engraissement et l'abattage avait lieu 26 semaines après la naissance. Les données de 22 bandes (neuf vaccinées et 13 témoins non vaccinées), de février 2021 à octobre 2022, ont ainsi été analysées rétrospectivement. La vaccination a été faite de la manière séquentielle suivante : 6 bandes non-vaccinées, 6 bandes vaccinées, 6 bandes non-vaccinées, 3 bandes vaccinées puis 1 bande non vaccinée.

1.2. Données analysées

Sur la période de post-sevrage (PS) les données suivantes ont été analysées : le poids de sevrage, le nombre de porcelets sevrés, le poids en fin de PS et le Gain Moyen Quotidien 8-30 (GMQ₈₋₃₀). Sur la période d'engraissement, les données de poids d'abattage, le GMQ₃₀₋₁₁₅, le GMQ₈₋₁₁₅ et le pourcentage de porcs au premier départ ont été étudiés. Enfin, pour la qualité des carcasses, les données de Taux de Muscle des Pièces (TMP), d'épaisseur minimale de muscle (M3) et d'épaisseur minimale de gras sous-cutané (G3) ont été considérées. Les taux de pertes en PS et en engraissement ont seulement été enregistrés sur les 12 premières bandes (6 bandes non vaccinées et 6 bandes vaccinées). L'analyse statistique a été effectuée avec JMP version 17.2, un test T de Student a été effectué pour les données suivant une loi normale (test Shapiro-Wilk) et un test non paramétrique de Mann-Whitney pour celles ne suivant pas une loi normale (Mortalité en PS, GMQ₈₋₁₁₅, Mortalité en engraissement).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'ensemble des résultats sont présentés dans le tableau 1.

2.1. Résultats en post-sevrage

Les moyennes des poids de sevrage, du nombre de porcelets sevrés et de la mortalité en PS ne présentaient pas de différence statistiquement significative entre les groupes.

Sur les neuf bandes vaccinées, le poids en fin de post-sevrage a augmenté significativement de 2 kg ($P < 0,01$) et le GMQ₈₋₃₀ de 42 g/j ($P < 0,01$) comparé aux treize bandes non vaccinées. Ces résultats de performance concordent avec la bibliographie (Fily et al., 2021).

2.2. Résultats en engraissement

Les moyennes du poids d'abattage, du GMQ₃₀₋₁₁₅, du GMQ₈₋₁₁₅ et la mortalité en engraissement ne présentaient pas de différence statistiquement significative entre les groupes.

Le pourcentage d'animaux au premier départ était significativement supérieur de 9 % ($P < 0,05$) sur les bandes vaccinées ce qui répondait aux objectifs de l'éleveur.

2.3. Résultats sur la qualité de carcasse

Les données de qualité de carcasses ont montré une amélioration significative du Taux de Muscle des Pièces (TMP) de 0,5 % ($P < 0,05$) et de l'épaisseur minimale de muscle (M3) de 1,2 mm ($P < 0,05$) sur les bandes vaccinées. L'épaisseur minimale de gras sous-cutané (G3) ne présentait pas de différence statistiquement significative entre les groupes. Le maximum du dépôt de protéines est atteint à 70 kg de PV tandis que les lipides se déposent de manière linéaire de 25 kg à 140 kg de PV (Tibau et al., 2002). L'hypothèse serait que les porcelets vaccinés ont déposé en PS des protéines qui ont été mises en évidence par l'amélioration significative du poids en fin de PS et du GMQ₈₋₃₀ et qui se retrouvent à l'abattage avec l'amélioration significative du TMP et du M3. D'autres études sont nécessaires pour valider cette hypothèse.

Tableau 1 – Résultats des paramètres étudiés dans les deux groupes

| Paramètre | Groupe Vacciné | Groupe Témoin |
|---|---------------------|---------------------|
| Nombre de bande | 9 | 13 |
| Post-sevrage (PS) | | |
| Poids de sevrage, kg | 5,9 ± 0,3 | 5,8 ± 0,2 |
| Nombre de porcelets sevrés | 295 ± 37 | 296 ± 24 |
| Mortalité en PS ¹ , % | 3,5 ± 1,9 † | 3,0 ± 0,8 † |
| Poids en fin de PS, kg | 26,6 ± 1,5 * | 24,6 ± 1,2 * |
| GMQ ₈₋₃₀ , g/j | 430 ± 31 * | 388 ± 22 * |
| Engraissement | | |
| Poids d'abattage, kg | 122,8 ± 1,6 | 121,3 ± 2,5 |
| GMQ ₃₀₋₁₁₅ , g/j | 808 ± 29 | 795 ± 34 |
| GMQ ₈₋₁₁₅ , g/j | 663 ± 62 | 626 ± 58 |
| Mortalité en engraissement ¹ , % | 1,7 ± 0,9 † | 2,6 ± 1,4 † |
| Pourcentage de porcs au premier départ, % | 59 ± 10 ** | 50 ± 11 ** |
| Qualité de carcasse | | |
| TMP, % | 60,4 ± 0,5** | 59,9 ± 0,6** |
| M3, mm | 78,2 ± 0,8* | 77,0 ± 1,1* |
| G3, mm | 15,2 ± 0,5 | 15,8 ± 0,8 |

* $P < 0,01$; ** $P < 0,05$; ¹ † 6 bandes

Post-sevrage (PS), Gain Moyen Quotidien (GMQ), Taux de Muscle des Pièces (TMP), épaisseur minimale de muscle (M3), épaisseur minimale de gras sous-cutané (G3)

CONCLUSION

Pour les bandes vaccinées par voie orale contre *Escherichia coli* F4/F18, les résultats montrent une amélioration significative du poids en fin de PS de 2kg, du GMQ₈₋₃₀ de 42 g/j, du pourcentage d'animaux au premier départ de 9 %, du Taux de Muscle des Pièces (TMP) de 0,5 % et de l'épaisseur minimale de muscle (M3) de 1,2 mm. L'éleveur a décidé de maintenir la vaccination sur toutes ses bandes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fily B., Boutin F., Burlot V., Geffroy N., Alleman F., 2021. Analyse technico-économique sur la phase de post-sevrage des résultats de 20 élevages porcins avant et après la mise en place de la vaccination contre *E.coli* F4/F18. Journées Rech. Porcine, 53, 417-418.
- Tibau J., Gonzalez J., Soler J., Gispert M., Lizardo R., Mourot J., 2002. Influence du poids à l'abattage du porc entre 25 et 140 kg de poids vif sur la composition chimique de la carcasse : effets du génotype et du sexe. Journées de la Recherche Porcine, 34, 121-127.
- Wellock I.J., Fortomaris P.D., Houdijk J.G.M., Kyriazakis I., 2008a. Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic *Escherichia coli* infection on newly weaned pigs: health. Animal, 2:6, pp 834-842.
- Wellock I.J., Fortomaris P.D., Houdijk J.G.M., Kyriazakis I., 2008b. Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic *Escherichia coli* infection on newly weaned pigs: performance. Animal, 2:6, pp 825-833.



Effet *in vitro* de fractions de levure riche en mannane, sur la réduction de la croissance d'*Escherichia Coli* productrices de β -lactamases à spectre étendu, résistantes aux antibiotiques chez le porcelet

Helen SMITH (1), Richard MURPHY (1), Raphael ARIAUX (2)

(1) Alltech Bioscience Centre, Sarney, Summerhill Road, Dunboyne, Co. Meath, Irlande

(2) Alltech, ZA La Papillonière, Rue Charles Amand, 14500, Vire, France

hsmith@alltech.com

***In vitro* impact of yeast mannan-rich fraction on growth reduction of antibiotic resistant extended-spectrum β -lactamase producing *Escherichia coli* isolated from piglets**

Extended-spectrum β -lactamase (ESBL)-producing *Escherichia coli* represent one of the fastest-emerging resistance problems worldwide. β -lactamase enzymes are responsible for resistance to β -lactam antibiotics, frequently used in human and veterinary medicine. The occurrence of ESBLs in production animals has therefore significant implications for both animal and human health. The objective of this study was to assess the role of mannan rich fraction (MRF) from the cell wall of *Saccharomyces cerevisiae* in mitigating antibiotic resistance in ESBL-producing *E. coli* isolated from pigs. The effect of MRF on ESBL-producing *E. coli* harbouring resistance to ampicillin, tetracycline and cefotaxime was assessed by monitoring microbial growth in the presence and absence of MRF and antibiotics. Overnight microbial growth of resistant ESBL-producing *E. coli* was measured using a microplate reader. Experiments were performed in triplicate and contained four replicate sample wells per test. A reference control with no antibiotic was included for comparison to cultures supplemented with MRF (0.5 %, w/v). Statistical analysis was performed using Minitab. One-way ANOVA and Fishers' multiple comparison was performed to test for significant differences among means, with a confidence level of 95 %. In the presence of MRF, the growth of multi-drug resistant ESBL-producing *E. coli* decreased significantly (54–92 %) ($p \leq 0.05$). In addition, when MRF supplementation was combined with antibiotic treatment, bacterial growth decreased an additional 20-30 % ($p \leq 0.05$). These findings suggest that application of MRF may facilitate new disease control methods by increasing the sensitivity of infectious resistant pathogens and could help reduce antibiotic use.

INTRODUCTION

Les *E. coli* sécrétant des β -lactamases à spectre étendu (BLSE) représentent l'un des problèmes d'antibiorésistance les plus émergents au monde. Les enzymes β -lactamases compromettent l'efficacité de presque tous les antibiotiques de type β -lactamines et contribuent à la résistance des antibiotiques de type céphalosporines utilisés en médecine humaine et vétérinaire. Les enzymes de type céfotaxime M sont en croissance rapide et représentent maintenant la famille de BLSE dominante et la plus diversifiée génétiquement. La présence de BLSE chez les animaux de production entraîne des répercussions importantes sur la santé animale et humaine, ce qui accroît dans le monde entier la pression pour limiter l'utilisation d'antibiotiques uniquement aux usages curatifs. Cela a contraint les éleveurs à développer depuis plus de dix ans, très souvent avec succès, des stratégies alternatives afin de réduire l'usage d'antibiotiques en élevage. Les fractions de

paroi cellulaire de levure de type *Saccharomyces cerevisiae* riches en mannane (MRF) sont connues pour réguler et soutenir l'environnement intestinal et son microbiote (Fouhse *et al*, 2019). L'objectif de cette recherche était d'évaluer le rôle des MRF sur la réduction de la résistance aux antibiotiques chez les *E. coli* BLSE. L'effet des MRF sur les *E. coli* BLSE multirésistantes (*E. coli* BLSE-MR) présentant une résistance à la fois à l'ampicilline, à la céfotaxime et à la tétracycline a été évalué en déterminant la croissance microbienne en présence et en l'absence de MRF et d'antibiotiques.

1. MATERIEL ET METHODES

Les *E. coli* BLSE-MR ont été isolées chez des porcelets provenant de trois fermes différentes en Irlande. La croissance microbienne d'*E. coli* BLSE a été évaluée *in vitro* en présence d'antibiotiques, avec ou sans supplémentation en MRF (prébiotique dérivé de paroi cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae*). Les antibiotiques examinés dans cette étude

comprenaient l'ampicilline, la céfotaxime et la tétracycline. Le taux de croissance bactérienne a été surveillé en présence de 0,5% MRF (poids par unité de volume) et d'antibiotiques (1mg/ml).

La croissance microbienne d'*E. coli* BLSE résistante a été mesurée à l'aide d'un lecteur de microplaques Tecan Infinite M200 Pro après 18 heures. La concentration bactérienne a été ajustée à 0,01 avec une densité optique (DO) à 595nm sur chaque microplaque. Trois essais répliqués par antibiotique ont été réalisés et chacun contenaient quatre répliquats par condition. Un témoin sans antibiotique a été inclus pour la comparaison avec des cultures supplémentées en MRF (0,5 %, poids par unité de volume). L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel statistique Minitab (version 20.4). Une ANOVA unidirectionnelle avec la différence la moins significative (LSD) de Fisher a été réalisée pour tester les différences significatives entre les moyennes, avec un niveau de confiance de 95%.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Lorsque les MRF ont été ajoutés au milieu de croissance, il y avait significativement moins de croissance d'*E. coli* BLSE-MR ($p \leq 0,05$) (Figure 1 et 2).

Lorsque la supplémentation en MRF a été associée à un traitement antibiotique (ampicilline, céfotaxime ou tétracycline) un effet supérieur sur la diminution de croissance de bactéries résistantes a été observé ($p \leq 0,05$) comme le montre l'exemple avec l'ampicilline. (Figure 1)

La croissance d'*E. coli* BLSE-MR était inférieure de 54 à 63 % lorsque les MRF étaient ajoutées au milieu de croissance par rapport au témoin ($p \leq 0,05$), tandis que la supplémentation en MRF associée à un traitement antibiotique a résulté en une croissance bactérienne plus faible de 73 à 92 % ($p \leq 0,05$) (Figure 2).

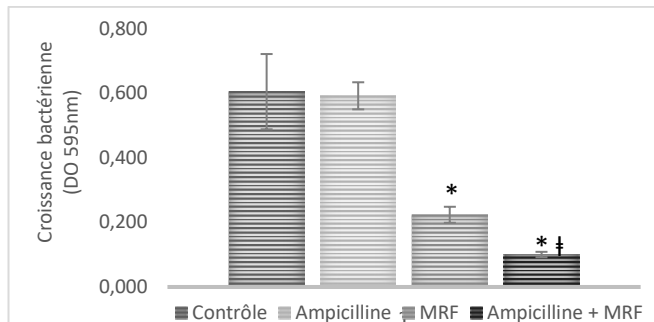


Figure 1 - Croissance d'*E. coli* BLSE-MR avec ou sans MRF et/ou ampicilline (1mg / ml).

Une croissance significativement plus faible par rapport au « contrôle » est marquée d'un astérisque [*] (Fisher-LSD, ANOVA, $p \leq 0,05$). Une croissance significativement plus faible par rapport à la MRF (Fraction Riche en Mannane), ou traitement antibiotique seul, est marquée par [†] (Fisher-LSD, ANOVA, $p \leq 0,05$). DO = Densité optique

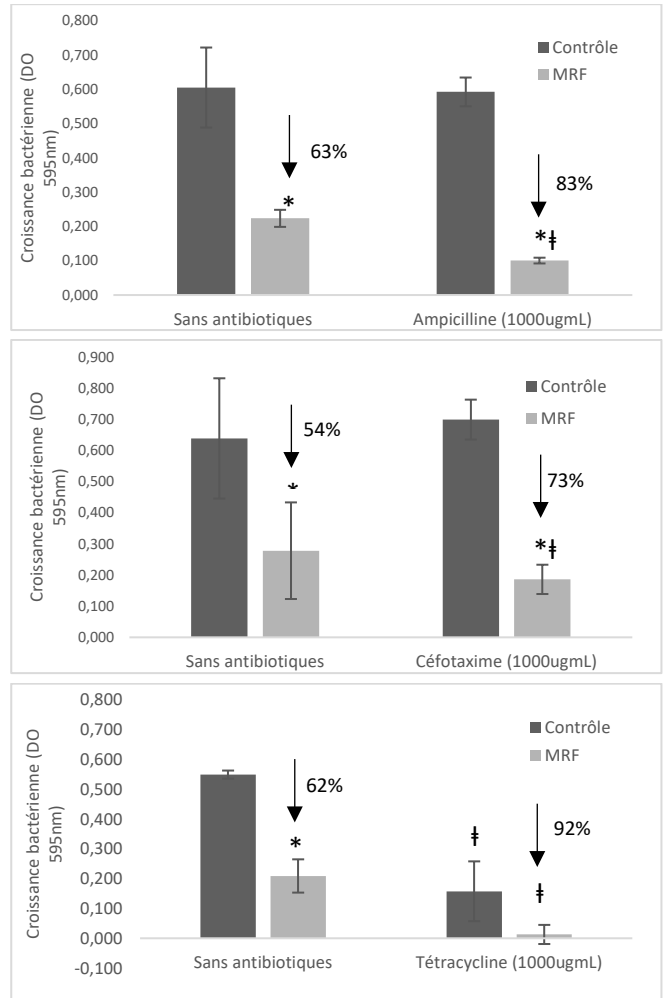


Figure 2 - Différence relative en pourcentage de croissance d'*E. coli* BLSE-MR avec supplémentation en MRF et en l'absence ou en présence de traitements antibiotiques (1mg / ml).

Une croissance significativement plus faible par rapport au « contrôle » pertinent est marquée d'un astérisque [*] (Fisher-LSD, ANOVA, $p \leq 0,05$). Une croissance significativement plus faible par rapport à la MRF, ou traitement antibiotique seul est marquée par [†] (Fisher-LSD, ANOVA, $p \leq 0,05$). DO = Densité optique

CONCLUSION

La MRF a entraîné une croissance significativement plus faible de bactéries *E. coli* BLSE-MR ($p \leq 0,05$). Ces résultats complètent les résultats obtenus lors d'études précédentes sur le mécanisme d'interaction des MRF avec les agents pathogènes (Smith *et al.*, 2020 ; Smith *et al.* 2022) et suggèrent que l'application de MRF peut faciliter de nouvelles méthodes de contrôle des maladies en améliorant la sensibilité des agents pathogènes infectieux résistants aux antibiotiques. L'amélioration de la sensibilité des agents pathogènes résistants aux antibiotiques pourrait entraîner une réduction de l'utilisation des antibiotiques en élevage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- JM Fouhse, K Dawson, D Graugnard, M Dyck, BP Willing. 2019. Dietary supplementation of weaned piglets with a yeast-derived mannan-rich fraction modulates cecal microbial profiles, jejunal morphology and gene expression. *Animal*, 13, 1591-1598,
- Smith, H., Grant, S., Parker, J. et al. 2020. Yeast cell wall mannan rich fraction modulates bacterial cellular respiration potentiating antibiotic efficacy. *Sci. Rep.*, 10, 21880.
- Smith, H., Grant, S., Meleady, P., Henry, M., O'Gorman, D., Clynes, M., & Murphy, R. 2022. Yeast Mannan-Rich Fraction Modulates Endogenous Reactive Oxygen Species Generation and Antibiotic Sensitivity in Resistant *E. coli*. *Int. J. Mol. Sci.*, 24, 218



Résistance à la colistine chez le porc

- des mesures de maîtrise efficaces

Claire CHAUVIN (1), Elsa COZ (2), Eric JOUY (1), Marie-Laure DELIGNETTE-MULLER (2), Agnès PERRIN-GUYOMARD (3), Xavier SAUZZA (4), Philippe LE COZ (5), Alexandre POISSONNET (6), Anne HEMONIC (6), Anne CHEVANCE (7), Delphine URBAN (7)

(1) Anses Laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort, Ploufragan, France

(2) Université de Lyon, Université Lyon 1, CNRS, VetAgro, Lyon, France

(3) Anses Laboratoire de Fougères, Fougères, France

(4) Selas vétérinaire du Gouessant, Lamballe, France

(5) Chêne Vert, Chateaubourg, France

(6) IFIP, Institut du porc, Le Rheu, France

(7) Anses, Agence Nationale du Médicament Vétérinaire, Fougères, France

claire.chauvin@anses.fr

Colistin resistance in pigs – assessing the effectiveness of mitigation measures

The discovery of the plasmid gene for resistance to colistin *mcr-1* in 2015 profoundly changed how this widely used molecule in veterinary medicine in France was considered. Subsequently, national management measures were set up to reduce its use in animals, in line with European Union recommendations aiming at preserving usefulness of colistin for human multiresistant infections treatment. To assess the effectiveness of these measures, French sales, usage and resistance surveillance data from the pig production sector were analysed. Based on national antibiotic sales data and INAPORC Panel results, the use of colistin in pig production in France strongly decreased from 2010 to 2019. Resistance to colistin was rare or absent in commensal bacteria isolated from slaughterhouse surveillance. In contrast, analysis of susceptibility tests collected by Resapath and carried out on clinical isolates in the context of digestive disorders in pigs showed an initial increase in resistance from 2006 to 2011 and a steady decrease thereafter. The correlation between sales and clinical isolate resistance over this period was strong and significant. Thus, applications measures to decrease colistin use were effective in France, leading to a strong decrease in consumption and a simultaneous decrease in colistin-resistance of clinical *E. coli* isolates.

INTRODUCTION

En 2015, l'identification du gène plasmidique de résistance à la colistine *mcr-1* a profondément modifié la perception de cet antibiotique largement utilisé en élevage. La perspective d'une large diffusion de cette résistance, alors même que la colistine bénéficiait d'un regain d'intérêt en médecine humaine (particulièrement dans le traitement des infections multirésistantes), a conduit de nombreuses instances à recommander la réduction de son usage chez l'animal. Afin de juger de l'évolution de la résistance, depuis ce changement de perception, en regard de celle de l'usage, une analyse rétrospective des informations disponibles sur la période 2010-2019 a été conduite.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données d'usage

Deux dispositifs complémentaires permettent de documenter l'usage de la colistine, principale représentante de la famille des polymyxines.

1.1.1. Données de ventes

Les ventes de médicaments vétérinaires contenant des polymyxines (i.e. la colistine pour le porc) sont annuellement recueillies par l'Anses-ANMV auprès des détenteurs d'AMM, assorties de la part estimée destinée à la production porcine. Ces données sont ensuite exprimées en biomasse traitée - journallement ou complètement - rapportées à la biomasse de porcs présente ou produite la même année en France (unités : nDDkg/kg de biomasse ou ALEA respectivement).

1.1.2. Panel INAPORC

Le Panel INAPORC (Poissonnet *et al.*, 2022) permet depuis 2010 de documenter finement l'utilisation des antibiotiques dans un large échantillon d'élevages de porcs tirés au sort. Les pourcentages d'élevages utilisateurs et l'exposition des animaux (en nDDkg/animal) peuvent être rapportés par stade physiologique, indication majeure, ou voie d'administration.

1.2. Données de résistance bactérienne

Parmi les différentes espèces bactériennes dont la résistance est surveillée, seule *Escherichia coli* présente un nombre d'isolats suffisant pour documenter l'évolution de la résistance à la colistine.

1.2.1. Surveillance à l'abattoir

La surveillance de la résistance à la colistine d'isolats d'*E. coli* issus de contenu digestif de porcs abattus tirés au sort est conduite depuis 2014 selon la réglementation européenne. La molécule avait toutefois été incluse aux antibiotiques testés dès 2011, notamment dans le cadre d'une convention INAPORC.

1.2.2. Resapath

Le Resapath centralise les résultats d'antibiogrammes des laboratoires d'analyses vétérinaires adhérents. Faute de critère d'interprétation reconnu pour la méthode de diffusion en milieu gélosé, une analyse statistique des données de diamètres d'inhibition a été réalisée afin d'estimer une proportion annuelle d'isolats résistants (Coz *et al.*, 2023).

1.3. Mesures de maîtrise

Un inventaire de toutes les dispositions réglementaires, techniques, médicales ayant pu contribuer à la réduction de l'usage de la colistine en alertant, fixant des objectifs ou permettant de réduire les troubles sanitaires a été réalisé.

1.4. Analyse des données

Les séries de données ont été représentées graphiquement et leur corrélation analysée par un test de Spearman.

2. RESULTATS

L'usage de la colistine a nettement diminué depuis 2010, comme en témoignent de manière concordante les données de ventes et les résultats du Panel INAPORC (Figure 1). Les objectifs du plan EcoAntibio et de l'agence européenne, respectivement d'une réduction de 50 % en 5 ans depuis 2014-2015 et d'un usage inférieur à 5 mg/kg, ont été dépassés.

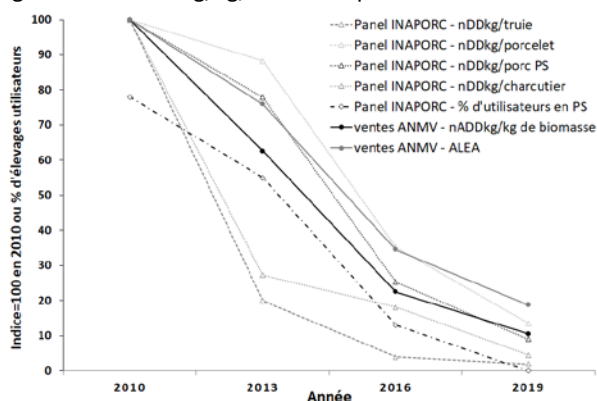


Figure 1 – Evolution des usages de la colistine

Cette réduction d'exposition des animaux semble aller de pair avec une réduction de la résistance des colibacilles isolés de troubles digestifs (Figure 2). Après une période d'augmentation marquée de la résistance entre 2006 et 2011, la diminution notée est significativement corrélée ($P < 0,05$) aux ventes.

Le faible nombre de colibacilles résistants isolés à l'abattoir (0 à 2 / an) ne permet en revanche pas d'illustrer l'impact sur la flore commensale (Figure 2). En 2021, aucun isolat n'était résistant.

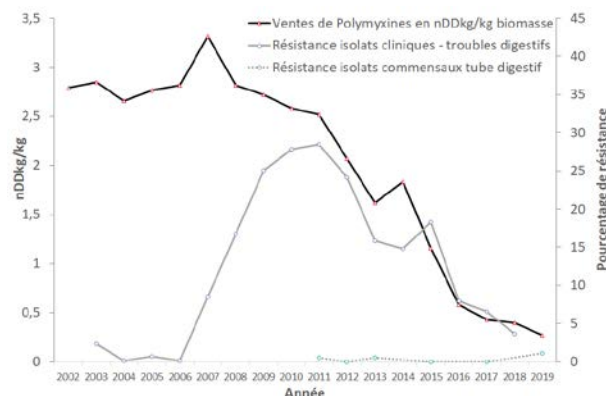


Figure 2 – Evolutions des ventes de polymyxines destinées aux porcs et de la résistance d'isolats d'*E. coli* porcins vis-à-vis de la colistine en France.

L'année 2011, qui marque le début de la diminution d'usage, correspond à la publication du 1^{er} plan EcoAntibio. Depuis lors, un ensemble de mesures variées (médicales, réglementaires, techniques) a concouru à cette réduction constatée de l'usage et de la résistance (Tableau 1).

Tableau 1 – Principales mesures ayant pu contribuer à la réduction d'usage de la colistine et la maîtrise de sa résistance

| année | Origine ¹ | Mesure |
|------------------|----------------------|--|
| 2010 | EMA | Harmonisation RCP référé Article 35 |
| 2011 | Min. Agr. | 1er plan EcoAntibio |
| 2013 | EMA | Avis scientifique – arrêt usage préventif |
| 2013 | I.Pharm. | AMM vaccin <i>E. coli</i> |
| 2014 | Min. Agr. | Loi d'avenir – arrêt marges arrières |
| 2014 | SNGTV | Guide d'antibiothérapie |
| 2015 | EMA | Harmonisation RCP référé Article 35 |
| 2015 | I.Pharm. | AMM vaccin <i>E. coli</i> |
| 2016 | I.Pharm. | AMM oxyde de zinc |
| 2016 | EMA | Avis scientifique – objectif < 5mg/kg |
| 2017 | OMS | colistine antibiotique critique |
| 2017 | Min. Agr. | 2nd plan EcoAntibio – objectif -50% |
| 2017 | I.Pharm. | AMM vaccin <i>E. coli</i> |
| 2020 | EMA | Catégorisation « usage restreint » |
| toute la période | Filière | Développement : pompes doseuses, aliment sécurisé, bonnes pratiques d'élevage... |

¹EMA : European Medicine Agency ; Min. Agr. : ministère de l'Agriculture ; I. Pharm. : industrie pharmaceutique ; RCP : résumé des caractéristiques du produit

CONCLUSION

L'application des mesures de réduction des usages de la colistine a conduit à une très forte réduction de l'exposition des porcs. Celle-ci est corrélée à une forte diminution de la résistance des colibacilles cliniques isolés de troubles digestifs, dont l'évolution a pu être documentée grâce au Résapath.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coz E., Jouy E., Cazeau G., Jarrige N., Chauvin C., Delignette-Muller M.L., 2023. Estimation of colistin-resistance in animal clinical *Escherichia coli* isolates using a hierarchical mixture model. *Prev. Vet. Med.*, 213, 105881.
- Poissonnet A., Corrége I., Chauvin C., Hemonic A., 2022. Panel INAPORC, suivi des usages d'antibiotiques en élevage de porcs en France entre 2010, 2016 et 2019. *Journées Rech. Porcine*, 54, 369-370.



Evolution des performances de croissance de lot en lot dans un contexte d'exposition élevée et variable au virus du SDRP

Raphaël GAUTHIER (1), Simon BINGGELI (2), Patrick GAGNON (3), Marie-Pierre LÉTOURNEAU-MONTMINY (2)

(1) AgriTech Consulting, 1695 Rueyres-St-Laurent, Suisse

(2) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada

(3) Centre de Développement du Porc du Québec inc., Lévis, G7A 3S6, Canada

raphael.gauthier@agritechconsulting.fr

Avec la collaboration de Léonie Morin-Doré (3), Laetitia Cloutier (3) et Frédéric Fortin (3)

Evolution of growth performance from batch to batch in a context of high and variable exposure to PRRS virus

PRRS is one of the most damaging viral diseases to pig production. Its presence on a farm is accompanied by co-infections by other viruses and bacteria, heavy use of antibiotics, increased mortality, and reduced growth and reproductive performance. A data set derived from the Natural Disease Challenge Model at the Deschambault research station, and collected over 6 years from weaning to slaughter (i.e., > 5,700 piglets divided into 95 batches), was used to better understand changes in growth performance from batch to batch in a context of high and variable PRRS virus exposure. Several time series (mortality rates in nursery (TMp) and fattening (TMe); overall health score estimated from clinical signs (NSg)) were modelled with ARIMAX to characterise their change from batch to batch and effects of potentially explanatory exogenous variables. The mortality rate for all batches was 23 % (\pm 14 %). Feed consumption, average daily gain and the feed:gain ratio were generally lower than those of healthy populations, especially in the nursery. Correlation coefficients between observed and modelled TMp, TMe and NSg were 0.406, 0.477 and 0.630, respectively. For each batch (k), TMp and TMe were positively correlated with those for batches k-1 and k-2. Feed intake decreased significantly ($P < 0.001$) as TMp increased. TMp increased significantly ($P = 0.001$), and lean slaughter yield decreased significantly ($P < 0.05$), as TMe increased. The average daily gain, presence of other pathogens during fattening, temperature, and the proportion of medicated feed were not significant for any models. These analyses improve understanding of how the PRRS virus influences performance.

INTRODUCTION

Le Syndrome Dysgénésique et Respiratoire du Porc (SDRP) est une maladie d'origine virale parmi les plus pénalisantes pour la production porcine. Sa présence en élevage s'accompagne généralement de co-infections par d'autres virus et bactéries, d'utilisation importante d'antibiotiques, d'une mortalité accrue et de performances moindres. Afin d'étudier les effets de cette maladie sur les porcs en croissance, un modèle de challenge naturel (*Natural Disease Challenge Model*, NDCM) proche des conditions d'élevage commercial a été développé en 2015 par des chercheurs de l'Université d'Alberta et de l'Université de la Saskatchewan en collaboration avec PigGen Canada et le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ). Ce modèle imite la pression de maladies causées par de nombreux agents pathogènes couramment retrouvés sur le terrain, tel que le virus du SDRP, pour ensuite permettre la sélection génétique d'animaux plus résilients. Le NDCM a permis de collecter un nombre important de données diversifiées mais celles-ci n'ont jusqu'à présent pas été exploitées dans leur entièreté. L'objectif de cette étude est donc d'étudier la dégradation des performances en post-sevrage (PS) et en engraissement dans

des conditions variables de pression exercée par le virus du SDRP sur plusieurs années.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Le modèle de challenge naturel

Les divers projets impliquant le NDCM ont été approuvés par le comité de protection des animaux du Centre de Recherche en Sciences Animales de Deschambault. Le fonctionnement du NDCM s'insère dans le cadre d'une conduite d'élevage dans laquelle aucun vide sanitaire complet n'est effectué entre deux lots en salles de PS. Les porcelets d'un lot indemne de SDRP, et âgés d'environ 20 jours au moment du sevrage, sont d'abord isolés des porcs des autres lots pendant 19 jours en quarantaine. Ils sont ensuite déplacés dans la salle de PS où se trouvent des porcs excréteurs de SDRP issus du lot précédent. Les porcs nouvellement arrivés sont ainsi contaminés et transmettront à leur tour le SDRP au lot suivant 21 jours plus tard. Après 28 jours en PS, les animaux d'un même lot sont tous transférés dans la salle d'engraissement jusqu'à l'abattage.

1.2. Constitution de la base de données

De novembre 2015 à décembre 2021, 95 lots de porcs ont été élevés dans un environnement contaminé par le SDRP, soit 5747 porcs dont 5530 mâles castrés et 217 femelles. Des données environnementales, vétérinaires, de performance, et de carcasse ont été enregistrées pour chacun des lots et compilées en une base de données unique (Python 3.11). Les températures et humidités extérieures pour chacun des lots ont été relevées en utilisant les données de stations météorologiques proches de la station de Deschambault. Les températures minimales, moyennes et maximales de chaque salle, PS et engraissement, ont aussi été relevées. Des notes de santé globale à l'échelle de l'animal (NSg) allant de 1 (euthanasie requise) à 5 (parfaite santé) ont été établies visuellement chaque semaine. La proportion d'aliment médicamenteux distribuée en PS a été mesurée. Des tests PCR et ELISA ont été pratiqués en engraissement pour connaître respectivement l'exposition des lots au *Mycoplasma Hyopneumoniae* et au virus de l'Influenza. Concernant la croissance, les gains moyens quotidiens (GMQ) de chaque lot et l'indice de consommation (IC) ont été calculés par salle à partir des pesées réalisées. Les consommations alimentaires moyennes de chaque lot sont également connues par salle. Les données d'abattage (poids de carcasse, épaisseur de lard dorsal (ELD) et rendement maigre) ont été recueillies. D'autres variables permettant possiblement d'expliquer l'intensité du challenge ont également été générées, telles que les taux de mortalité en PS (TMp) et en engraissement (TMe) à partir des effectifs animaux en début et fin de chaque période étudiée.

1.3. Analyses statistiques

Des statistiques descriptives (moyennes et écarts-type) ont d'abord été établies en PS et en engraissement. Les variables TMp, TMe et NSg ont ensuite été modélisées avec le modèle ARIMAX (statsmodels 0.13.5, Seabold et Perktold, 2010). Ce modèle présente l'avantage d'étudier à la fois l'autocorrélation $AR(p)$ d'une variable, sa tendance $I(d)$, sa moyenne mobile $MA(q)$, et l'effet de covariables (X) explicatives. L'erreur de modélisation est notée ϵ . Pour chacune des trois variables à modéliser, la combinaison de paramètres permettant d'obtenir le modèle le plus parcimonieux au regard des critères d'information d'Akaike (AIC) et bayésien (BIC), et l'erreur de modélisation la plus faible au regard du coefficient de corrélation (r^2), des erreurs moyennes absolue et quadratique, a été sélectionné pour la suite des analyses.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances moyennes observées

Le TMp s'élève à 10,6 % ($\pm 9,63$) et la NSg en PS à 4,6 ($\pm 0,28$). Les animaux consomment en moyenne 545 g/j (± 134) pour un GMQ de 313 g/j (± 94) et un IC de 1,79 ($\pm 0,302$). Les lots sont engraisés pendant 101,5 jours. Le TMe s'élève à 14,3 % ($\pm 9,29$) et la NSg en engraissement à 4,6 ($\pm 0,22$). Les animaux consomment en moyenne 2 363 g/j (± 272) pour un GMQ de

877 g/j ($\pm 57,1$) et un IC de 2,69 ($\pm 0,247$). Le poids de carcasse, l'ELD et le rendement maigre à l'abattage sont respectivement de 95,7 kg ($\pm 5,41$), 16,1 mm ($\pm 3,19$) et 61,1 % ($\pm 0,87$). Ces performances, intégrant les mortalités en cours d'élevage, présentent une forte variabilité. Bien que nous ne disposions pas de groupe contrôle, nous considérons à titre de comparaison que les consommations alimentaires en PS et en engraissement sont respectivement inférieures d'environ 200 et 350 g par rapport à des consommations attendues (NRC, 2012) en conditions saines. Les GMQ en PS et engraissement sont quant à eux respectivement inférieurs d'environ 200 et 130 g par rapport à des GMQ attendus en conditions saines.

2.2. Modèles des taux de mortalité et de la note de santé

En PS, le r^2 du modèle ARIMAX s'élève à 0,406 indiquant que le modèle décrit avec succès le TMp, sans en expliquer pour autant toutes les variations, notamment les plus extrêmes. Ainsi, ϵ est significative ($P < 0,001$), tout comme la consommation alimentaire ($P < 0,001$) et les paramètres $MA(1)$ ($P < 0,01$) et $MA(4)$ ($P < 0,05$). En détail, la consommation alimentaire diminue significativement avec l'augmentation du TMp et donc avec l'intensité du challenge en PS.

En engraissement, le r^2 du modèle ARIMAX s'élève à 0,477 suggérant que l'évolution du taux de mortalité est un peu plus facile à décrire qu'en PS. Ainsi, ϵ est très significatif ($P < 0,001$), tout comme le TMp ($P = 0,001$), et le rendement maigre ($P < 0,05$). En détail, le rendement maigre diminue significativement et le TMp augmente significativement avec l'augmentation du TMe et donc avec l'intensité du challenge en engraissement. Le GMQ, la proportion d'aliments médicamenteux en PS, la présence d'autres pathogènes pendant l'engraissement et la température n'étaient pas significatifs pour ces modèles.

Le r^2 du modèle ARIMAX de la NSg s'élève à 0,63 ce qui indique que le modèle s'ajuste efficacement aux données à modéliser. Le paramètre le plus significatif est ϵ ($P < 0,001$), avec une tendance observée pour les paramètres $AR(1)$ ($P = 0,058$) et $AR(4)$ ($P = 0,064$) ; ceci signifie que la NSg d'un lot pourrait être déterminée à partir des NSg des deux lots précédents.

CONCLUSION

Cette étude permet de comprendre l'évolution des performances en présence du virus du SDRP. La modélisation des taux de mortalité et de la note de santé a permis de mettre en avant de fortes dépendances temporelles, signes d'une transmission de la contamination de lot en lot. En PS, le taux de mortalité par lot s'explique également par la consommation alimentaire. En engraissement, la mortalité en PS et le rendement maigre sont des facteurs majeurs d'explication du taux de mortalité et une tendance est observée pour la consommation. Les notes de santé, reliées aux signes cliniques du SDRP, nous renseigneraient quant à elles sur l'évolution de la virulence du virus. De prochains travaux essayeront de déterminer si cette évolution provient des différentes souches rencontrées ou de l'évolution de la charge virale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Seabold S., Perktold J., 2010. Statsmodels: Econometric and statistical modeling with python. 9th Python in Science Conference.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine. National Academies Press, Washington, D.C, 11th rev, 400 p.



Mise en place de protocoles de stabilisation du SDRP : un moyen efficace pour réduire l'utilisation des antibiotiques dans les élevages ?

Charlotte TEIXEIRA COSTA, Gwenaël BOULBRIA, Valérie NORMAND, Céline CHEVANCE, Justine JEUSSELIN, Théo NICOLAZO,
Arnaud LEBRET

REZOLUTION, ZA de Gohélève, 56920 Noyal-Pontivy, France

c.teixeira-costa@rezolution.fr

PRRSV-1 stabilization programs in French farrow-to-finish farms: a way to reduce the use of antibiotics?

PRRSV-1 affects more than 60 % of farrow-to-finish farms in Brittany, France, which has serious economic consequences. Often described but rarely demonstrated, an increase in antibiotic use is associated with PRRS circulation on farms. The objective of this study was to assess effects of PRRSV-1 stabilization programs on reducing antibiotic use. The study was carried out on 19 farrow-to-finish farms that successfully implemented a PRRSV-1 stabilization protocol from 2007 to 2019. For each, antibiotic use (expressed in mg/Population Correction Unit and Animal Level of Exposure to Antibiotics) was compared one year before (P1) and one year after the implementation of control measures (P2). Then, the change in antibiotic use (percentage difference between P1 and P2) was calculated and analysed as a function of the level of antibiotic use at P1. To this end, three levels of use at P1 were created for ALEA (high, medium and low) and two levels of use for mg/PCU (high and low). All means were compared using non-parametric tests with R software. Antibiotic use decreased significantly from P1 to P2 expressed in mg/PCU ($P = 0.049$) and tended to do so expressed in ALEA ($P = 0.061$). The change in antibiotic use, expressed in ALEA, differed significantly between high and low levels of use at P1 ($P < 0.01$). Similarly, a trend was observed in the change between high and low antibiotic use expressed in mg/PCU ($P = 0.07$). To our knowledge, this is the first study showing the impact of PRRSV-1 stabilization programmes on antibiotic use. These results highlight the impact of these programmes on antibiotic use especially on high use farms but should be interpreted with concerns.

INTRODUCTION

Le syndrome dysgénésique et respiratoire porcin (SDRP) est une maladie virale enzootique en Bretagne où plus de la moitié de la production française est concentrée. Elle affecte plus de 60 % des élevages sous forme de problèmes respiratoires et de reproduction avec de graves conséquences économiques (Renken *et al.*, 2021). Les co-infections bactériennes sont fréquentes en présence du SDRP et nécessitent souvent le recours à des traitements antibiotiques (Saade *et al.*, 2020). La vaccination seule n'étant pas suffisante à la stabilisation des élevages concernés, il est nécessaire d'appliquer des protocoles spécifiques associant vaccination et strictes mesures de biosécurité interne (Berton *et al.*, 2017). Le succès de tels protocoles de stabilisation se traduit par l'absence de la circulation virale dans le troupeau reproducteur.

Dans ce contexte, il est apparu pertinent d'évaluer l'impact de ces protocoles de stabilisation sur la réduction de l'utilisation d'antibiotiques dans les élevages porcins concernés.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Elevages sélectionnés

Dans cette étude, 19 élevages naisseurs-engraisseurs situés en Bretagne ont été sélectionnés entre 2007 et 2019 sur la base

des critères suivants : (i) Les élevages devaient avoir mis en place un programme de stabilisation contre le SDRP. Celui-ci consistait en une vaccination de masse des truies et de leurs porcelets, couplée à des mesures strictes de biosécurité interne. Toutes les étapes de la mise en œuvre des programmes de stabilisation contre le SDRP sont décrites dans Berton *et al.* (2017). (ii) Toutes les données descriptives sur l'usage des antibiotiques quelle que soit la voie d'administration devaient être disponibles. (iii) Les données relatives à la biomasse devaient être fournies pour les porcs abattus (*via* UNIPORC) et les truies présentes (*via* la Gestion Technico-Economique). (iv) Enfin, les vétérinaires prescripteurs devaient être les mêmes avant et après la mise en place du protocole de stabilisation, soit sur toute la durée des périodes étudiées.

1.2. Données analysées

1.2.1. Enregistrement des données

Les consommations d'antibiotiques ont été enregistrées à partir des délivrances de produits vétérinaires et d'aliments médicamenteux un an avant la mise en place du protocole (P1) et un an après son achèvement (P2). Pour chaque élevage, le type de médicament (familles d'antibiotiques et substances administrées) a été relevé. La posologie (issue du résumé des caractéristiques du produit et exprimée en mg d'ingrédient actif/kg/jour) de chaque traitement a également été

enregistrée afin de calculer la quantité de matière active administrée pour chaque traitement.

1.2.2. Calcul des indicateurs

Deux indicateurs ont été choisis dans cette étude. L'ALEA (Animal Level of Exposure to Antimicrobials), indicateur français calculé *via* la formule suivante :

$$\text{ALEA} = \frac{\text{quantité de matière active (mg) / dose journalière } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)}{\text{biomasse potentiellement traitée (kg)}}$$

La biomasse potentiellement traitée est obtenue en multipliant le nombre de porcs abattus et de truies par un poids fixé à 105 kg et 300 kg pour les porcs et les truies respectivement.

Puis, compte tenu du fait que l'indicateur « mg/PCU » est officiel au sein de l'UE (ESVAC – European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption), il a été choisi également. Cet indicateur est obtenu en divisant la quantité de matière active par une biomasse standardisée (Population Correction Unit : PCU). Dans ce cas, la biomasse est obtenue en multipliant le nombre de porcs abattus et de truies par un poids standardisé (respectivement 65 kg et 250 kg). A partir de ces données, il a été possible de catégoriser des niveaux de consommations en P1. Trois catégories de consommation ont été utilisées pour l'ALEA ; à savoir, faible ($\text{ALEA} \leq 0,5$), moyen ($0,5 < \text{ALEA} < 0,9$) et fort consommateurs ($\text{ALEA} \geq 0,9$). Pour l'indicateur en mg/PCU, seules deux catégories ont été comparées (seuil fixé à 100 mg/PCU).

1.3. Analyses statistiques

Les données ont été enregistrées sur Excel. Les calculs ont été effectués sur ce même logiciel. Les moyennes globales des 19 élevages entre P1 et P2 ont été comparées grâce à des tests non-paramétriques (tests de Wilcoxon) en raison de la distribution anormale des données. Pour chaque indicateur et chaque élevage, les pourcentages d'évolution entre P1 et P2 ont été calculés et comparés selon le niveau de consommation en P1. Pour l'ALEA, un test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer le pourcentage d'évolution moyen entre les trois groupes. Pour les mg/PCU, les deux groupes ont été comparés à l'aide d'un test de Wilcoxon. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (v 4.2.2, R Core Team, 2022).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Consommations globales et trajectoires individuelles

Onze exploitations sur 19 ont réduit leur consommation entre P1 et P2 lorsqu'elle est mesurée en mg/PCU, et huit lorsqu'elle est mesurée en ALEA. Dans les élevages ayant réduit leur consommation d'antibiotiques entre P1 et P2, la baisse d'ALEA est en moyenne de 0,80 et la baisse de mg/PCU de 54 mg. En

moyenne, sur l'ensemble des élevages, l'analyse a montré que les utilisations d'antibiotiques ont diminué de manière significative pour les mg/PCU, avec une réduction moyenne de 4,7 mg/PCU ($P = 0,05$). Pour l'ALEA, une tendance à la baisse a été observée, avec une réduction de 0,2 (Tableau 1).

Tableau 1 – Moyennes des consommations d'antibiotiques obtenus par période et par indicateur (n= 19 élevages)

| | P1 | P2 | P-value* |
|--------|------|------|----------|
| ALEA | 0,91 | 0,73 | 0,06 |
| mg/PCU | 94,4 | 89,7 | 0,05 |

*La significativité statistique est indiquée en **gras** ($p \leq 0,05$) et la tendance est indiquée en *italique* ($0,05 < P \leq 0,10$) ; P1 = un an avant la mise en place du protocole ; P2 = un an après l'achèvement ; PCU = Population Correction Unit ; ALEA = Animal Level of Exposure to Antimicrobials.

A périodes équivalentes, les valeurs observées dans notre étude sont cohérentes avec les moyennes présentes dans la littérature (Rapport Anses, 2021 ; Bondt *et al.*, 2020).

2.2. Selon les niveaux de consommation en P1

Plus le niveau de consommation est élevé en P1, plus la réduction de l'utilisation d'antibiotiques en P2 est importante. En moyenne, les forts consommateurs ont réduit leurs consommations d'antibiotiques de 38,7 % pour les mg/PCU (n=9) et de 54,8 % pour l'ALEA (n=7). Concernant l'ALEA, les forts consommateurs ont significativement diminué leurs utilisations d'antibiotiques par rapport aux faibles consommateurs (n=4) ($P = 0,006$). Dans une moindre mesure, l'ALEA a eu tendance à diminuer davantage chez les forts consommateurs par rapport aux moyens consommateurs (n=8) ($P = 0,08$). Toutefois, aucune différence significative n'a été constatée sur le pourcentage d'évolution entre les faibles et les moyens consommateurs ($P = 0,25$). En ce qui concerne les mg/PCU, les élevages forts consommateurs ont eu tendance à réduire davantage leur consommation par rapport aux faibles consommateurs (n=10) ($P = 0,07$).

CONCLUSION

A notre connaissance, il s'agit de la première étude montrant l'impact des programmes de stabilisation du SDRP sur l'utilisation des antibiotiques. Ces résultats sont à interpréter avec prudence compte tenu de la baisse des usages d'antibiotiques globale observée au niveau national dans les élevages porcins sur cette même période. Pour autant, ils sont prometteurs et montrent qu'il est nécessaire de poursuivre les recherches sur les bénéfices des mesures de contrôle du SDRP car ces mesures peuvent avoir un impact positif sur la réduction de la consommation d'antibiotiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anses, 2021. Sales survey of veterinary medicinal products containing antimicrobials in France in 2020. ANSES-ANMV.
- Berton P., Normand V., Martineau G.P., Bouchet F., Lebret A., Waret-Szkuta A., 2017. Evaluation of porcine reproductive and respiratory syndrome stabilization protocols in 23 French Farrow-to-finish farms located in a high-density swine area. *Porc. Health Manag.* 3, 11.
- Bondt N., Jensen V.F., Puister-Jansen L.F., Van Geijlswijk I.M., 2013. Comparing antimicrobial exposure based on sales data. *Prev. Vet. Med.* 108:10–20.
- Renken C., Nathues C., Swam H., Fiebig K., Weiss C., Eddicks M., Ritzmann M., Nathues H., 2021. Application of an economic calculator to determine the cost of porcine reproductive and respiratory syndrome at farm-level in 21 pig herds in Germany. *Porc. Health Manag.* 7, 3.
- Saade, G., Deblanc, C., Bougon, J., Marois-Créhan C., Fablet C., Auray G., Belloc C., Leblanc-Maridor M., Gagnon C.A., Zhu J., Gottschalk M., Summerfield A., Simon G., Bertho N., Meurens F., 2020. Coinfections and their molecular consequences in the porcine respiratory tract. *Vet. Res.* 51, 80.



Etude des facteurs influençant l'hémoglobinémie du porcelet entre 1 et 42 jours d'âge et proposition d'un protocole d'évaluation du niveau d'anémie au sevrage

Lucie GAUTIER et Emma CANTALOUBE

Chêne Vert, 4 rue Théodore Botrel, 22600 Loudeac

l.gautier@chenevert.vet / e.cantaloube@chenevert.vet

Evaluation of factors influencing anaemia in piglets from 1-42 days old and development of a method to assess the degree of anaemia at weaning

The haemoglobin level of piglets is often checked when they are 21-28 days old. To our knowledge, there are no official methods to assess the degree of anaemia on farm. The aim of this study was to investigate factors that could influence piglets' haemoglobin level in order to develop a method to estimate the prevalence of anaemia. In the same batch, 257 piglets from 21 sows (parity 1-8) were identified 24 hours after farrowing. At 24 hours, 21 days, and 42 days old, piglets were weighed, and their blood was collected to measure their haemoglobin level. Half of the piglets received an iron injection and half received oral iron. There was no correlation between haemoglobinaemia and average daily gain (ADG) at each stage ($P > 0.05$). Piglets with a haemoglobin level less than 85 g/L at 21 days old tended to have lower ADG after weaning. Sow parity had a significant effect ($P < 0.001$) on piglets' haemoglobin level. Haemoglobin level varied little among piglets from the same litter (coefficient of variation = 11.7 %). At 21 days old, haemoglobin level was lower for piglets that had received oral iron, and the proportion of piglets less than 85 g/L was higher. This difference was no longer significant at 42 days old. The 1-42 ADG of piglets that had received oral iron was significantly higher. Based on a 10 % prevalence, we recommend sampling 50 piglets in a batch. There is no need to sample full litters or piglets of different weight, but sow parity needs to be considered.

INTRODUCTION

Le contrôle de l'anémie du porcelet se fait en général au sevrage par la mesure de l'hémoglobinémie. Dans la littérature, la valeur seuil utilisée varie de 70 – 80 g/L (NRC, 2012), à 85 - 90 g/L (Thorn, 2010, Leblanc-Maridor *et al.*, 2022). Il n'existe pas, à notre connaissance, de recommandations concernant la méthode d'échantillonnage lors d'un contrôle de l'anémie des porcelets au sevrage.

L'objectif de notre étude était d'étudier les facteurs ayant un impact significatif sur l'hémoglobinémie afin de proposer une méthode d'évaluation du niveau d'anémie des porcelets au sevrage.

1. MATERIEL ET METHODES

Au sein d'une même bande, 257 porcelets, issus de 21 truies de rangs 1 à 8, ont été identifiés individuellement. Ont été réalisées des mesures individuelles d'hémoglobinémie, avec un appareil Hemocue® Hb201+, et des mesures de poids à 1, 28 et 42 jours d'âge. Ces porcelets ont reçu du fer oral (Ferkofer®, chélates de fer) ou du fer injectable (Gleptovex®, fer sous forme gleptoferron). La consommation d'aliment par portée a été mesurée entre 12 et 26 jours de vie.

Les données ont été analysées avec le logiciel R 4.2.0. Les données paramétriques ont été analysées par un test Anova (post-hoc Tukey) ou un test de Student, les données non paramétriques par un test des rangs de Mann-Whitney-Wilcoxon ou un test de Kruskal-Wallis (post-hoc Bonferroni Holm). Les tests du khi2 ou de Fisher ont été utilisés pour les données de fréquence. L'étude des corrélations linéaires a été réalisée à l'aide du test de corrélation de Pearson.

2. RESULTATS

Nous n'avons observé aucune corrélation linéaire entre la valeur de l'hémoglobinémie et le Gain Moyen Quotidien (GMQ) quel que soit l'âge. En revanche, les porcelets ayant une hémoglobinémie au sevrage inférieure à 85 g/L (15 porcelets) avaient en moyenne un GMQ inférieur aux autres ($P \leq 0,02$), Figure 1. Le seuil d'anémie utilisé dans le reste de l'analyse est < 85 g/L.

L'hémoglobinémie a varié très significativement avec l'âge ($P < 0,001$) : elle a augmenté de $81,1 \pm 16,2$ g/L (moyenne \pm écart type) à 1 jour à $106,7 \pm 12,5$ g/L à 21 jours pour ensuite décroître à $96,4 \pm 10,2$ g/L à 42 jours. Il y a eu un impact significatif ($P < 0,001$) du rang de portée de la mère : à 1 et 21 jours d'âge les porcelets des truies de rang supérieur ou égal à 5 avaient des hémoglobinémies inférieures aux autres (respectivement $-7,4$ g/L et $-6,7$ g/L).

Nous avons observé une faible variation de l'hémoglobininémie (coefficient de variation moyen = 11,7 %) au sein d'une même portée à 21 jours d'âge.

Le poids à la naissance a eu un impact significatif ($P < 0,01$) sur la proportion de porcelets anémiés à 1 jour d'âge avant l'apport de fer : 12 % pour les porcelets de moins de 1,2 kg, 7 % pour les porcelets entre 1,2 et 1,5 kg contre 3 % pour les porcelets de plus de 1,5 kg.

A 21 jours, l'hémoglobininémie moyenne a été inférieure chez les porcelets ayant reçu du fer oral et la proportion de porcelets anémiés plus élevée ($P < 0,01$), mais cet écart n'était plus significatif à 42 jours d'âge, Tableau 1. En revanche, le GMQ moyen 1 - 42 jours des porcelets ayant reçu du fer oral a été significativement plus important. Il n'y a pas eu de différence significative de consommation d'aliment sous la mère entre les deux groupes.

3. DISCUSSION

La valeur seuil de l'anémie à 21 jours (85 g/L) est à confirmer sur un échantillon plus important de porcelets anémiés. Etant donné l'absence de corrélations entre la valeur d'hémoglobininémie à cet âge et le poids ou le GMQ en post sevrage nous conseillons d'utiliser ce paramètre au sevrage comme un moyen de contrôle de la bonne gestion de l'apport de fer et non comme un indicateur de santé ou de bonnes performances. Cette recommandation est en accord avec Bhattarai *et al.* (2015) pour qui la mesure d'hémoglobininémie n'est pas assez sensible pour détecter précocement l'anémie.

A 21 jours d'âge, la proportion de porcelets anémiés était supérieure dans le groupe des porcelets ayant reçu du fer oral, ce qui peut s'expliquer par l'absorption plus lente et plus régulée de la forme orale au niveau de la barrière intestinale en comparaison de la voie parentérale plus « rapide » (Dawson *et al.*, 2006, Hussain *et al.*, 2015). Toutefois, à 42 jours d'âge, il n'y a plus de différence significative entre les deux groupes et le GMQ 1-42 jours d'âge des porcelets ayant reçu du fer oral est même supérieur. Ce dernier résultat ne s'explique pas par une différence de consommation d'aliment sous la mère.

CONCLUSION

Au vu de nos résultats dans cet essai, et des mesures d'hémoglobininémie réalisées au sevrage sur 8173 porcelets depuis 20 ans par des vétérinaires et des technicien-ne-s (base de données non présentée ici), nous estimons à 10 % la prévalence de l'anémie du porcelet entre 21 et 28 jours d'âge. Avec une précision relative de 90 %, une telle prévalence nous

amène à recommander de prélever un échantillon de 50 porcelets pour évaluer l'hémoglobininémie d'une bande. Etant donné l'absence de corrélation entre le poids et l'hémoglobininémie au sevrage, ainsi que la faible variation au sein d'une portée, il nous paraît inutile de prélever des portées entières ou de prendre un petit, un moyen ou un gros porcelet par portée, comme ce qui pouvait se faire sur le terrain. En revanche, il nous paraît pertinent de faire attention au rang des mères des porcelets prélevés. En considérant la proportion recommandée de 35 % de truies de rang 5 et plus par bande, nous proposons donc de prélever 18 porcelets issus de ces truies et 32 porcelets de truies plus jeunes en prenant au maximum deux porcelets par portée.

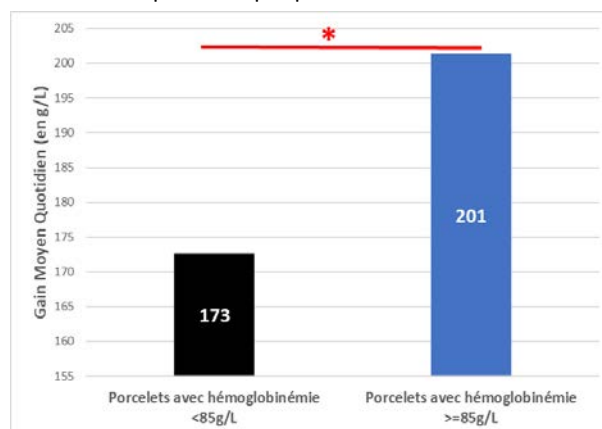


Figure 1 - Gain Moyen Quotidien entre 21 et 42 jours selon si l'hémoglobininémie à 21 jours est supérieure ou inférieure à 85g/L

Significativité : * $P < 0,05$

Tableau 1 - Effectifs et résultats des porcelets ayant reçu du fer oral (« Oral ») et ceux ayant eu une injection intramusculaire de fer (« Injectable »)

| | Oral | Injectable | P value ¹ | |
|-----------------------------|-------------|------------|----------------------|------|
| Effectifs | 127 | 130 | | |
| Rang moyen de portée | 2,2 | 1,9 | NS | |
| Sevrés par truie par portée | 13,9 | 13,8 | NS | |
| Hémoglobininémie (g/L) | 1 jour | 83,4 | 78,8 | 0,06 |
| | 21 jours | 104,7 | 108,7 | *** |
| | 42 jours | 95,4 | 97,4 | NS |
| GMQ (g/jour) | 1-21 jours | 210 | 201 | NS |
| | 21-42 jours | 205 | 195 | NS |
| | 1-42 jours | 207 | 198 | * |

¹ Significativité : * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bhattarai S., Nielsen J. P., 2015. Early indicators of iron deficiency in large piglets at weaning. *J. Swine Health Prod.*, 23(1), 10-17.
- Dawson B., Goodman C., Blee T., Claydon G., Peeling P., Beilby J., Prins A., 2006. Iron supplementation: oral tablets versus intramuscular injection. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 16, 180-186.
- Hussain S., Ahmad T.M., Sabir M.U.D., Tatar S.H., 2015. Comparison of efficacy of oral and intramuscular iron supplementation for treatment of iron deficiency anemia in children: Oral and Intramuscular Iron Supplementation. *Pak. Armed Forces Med. J.* 65, 153-159.
- Leblanc-Maridor M., Picq D., Montfort C., Buchet A., Lieubeau B., Herve J., Belloc C., 2022. Validation d'un automate d'hématologie et établissement d'intervalles pour les paramètres hématologiques du porcelet autour du sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 54, 403-404.
- National Research Council, 2012. Nutrient requirements of swine 11th. p85.
- Thorn C., 2010. Hematology of the pig. In: Schalm's Veterinary Hematology. 6 ed. 2010. p. 843-51.



Mammites subcliniques chez la truie : caractérisation, impact sur la croissance des porcelets

Noémie KERMARREC (1), Yves DOUSSAL (1), Pierre LEVRARD (2), Mathieu GLOAGUEN (2)

(1) Cooperl Nutrition, 1 Rue de la Gare, 22640 Plestan, France

(2) Cooperl Innovation SAS, 1 Rue de la Gare, 22640 Plestan, France

noemie.kermarrec@cooperl.com

Subclinical mastitis in sows: characterization and impact on piglet growth

Subclinical mastitis (SCM) is an asymptomatic pathology well known in cows to decrease milk production and quality. The aim of this study was to determine the presence of leucocytes in sow milk and its impact on the growth of suckling piglets. The study involved milking the teats of 18 sows without clinical mastitis at 5 days of lactation (i.e. 205 milk samples). Quantitative and semi-quantitative cell counts (Leucocytest) were performed and compared. Individual preweaning growth of piglets was assessed between 2 and 19 days after birth and compare to the leucocyte count of the teat suckled. Results showed that 17.5 % of samples had a leucocyte count greater than 250,000 cells/mL, suggesting the presence of inflammation and SCM. Six sows were free of SCM, while four had more than 25 % of their teats infected. Cross-checking quantitative and semi-quantitative counts validated the Leucocytest screening method for sow's milk, with a sensitivity and specificity of 71 % and 67 %, respectively. Analysis of individual piglet behaviour showed that 131 piglets were identified as stable at the teats at feeding. The average daily gain of individual pigs was 0.21 kg/day and the growth rate tended to be decrease when the teat suckled had a high leucocyte count. The presence of high leucocyte count in sow milk suggested that inflammation and SCM occur in sows with a possible reduction in milk production.

INTRODUCTION

La mammite subclinique (MSC) est une maladie asymptomatique de la mamelle/glande mammaire d'origine traumatique, toxique ou bactérienne. Elle se définit par une réponse inflammatoire et une augmentation des cellules épithéliales et leucocytaires dans le lait.

Cette pathologie, la MSC, est bien décrite chez la vache laitière et a fait l'objet de nombreuses études puisqu'elle compromet la production et la qualité du lait (Martins *et al.*, 2020). Son diagnostic est réalisé en élevage par un test semi-quantitatif des leucocytes du lait (Leucocytest) et permet d'identifier le trayon infecté et de traiter l'animal malade.

Chez la truie, la MSC n'est pas décrite en élevage et a été peu étudiée. Cependant, Persson *et al.* (1996) ont montré une forte variabilité du nombre de cellules présentes dans le lait de la truie. La présence de MSC chez la truie pourrait pénaliser la production et la composition laitière et, par conséquent, la santé et la croissance du porcelet.

Cette étude vise à diagnostiquer la MSC chez la truie en lactation par une méthode quantitative et semi-quantitative, et étudier la corrélation entre la concentration des cellules leucocytaires du lait et la vitesse de croissance des porcelets sous la mère.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Mesures sur animaux

L'étude s'appuie sur un échantillon de 18 truies, de rangs 2 à 7, croisées Large White x Landrace issues de la ferme

expérimentale de la Cooperl (22). Les truies prélevées n'avaient pas d'antécédents de mammites cliniques et ont été intégralement traitées à la main au 5^{ème} jour de lactation après administration d'1 mL d'ocytocine (Biocytocine) par voie intramusculaire.

Le positionnement des porcelets à la tétine lors de la tétée a été déterminé par cinq observations afin de croiser la vitesse de croissance des porcelets au dénombrement cellulaire de la tétine prélevée.

Au total, 287 porcelets nés vivants ont été répartis en nombre égal, sur les 18 truies, et équipés de puces RFID. Ils n'ont pas reçu d'alimentation sous la mère et ont été pesés individuellement, à 2 j et 19 j avant d'être sevrés à 21 j.

1.2. Analyses

Deux-cent-cinq échantillons de lait ont été analysés au laboratoire BIOSIT pour un dénombrement cellulaire par une méthode directe (cytométrie de flux). En parallèle, une mesure indirecte a été effectuée avec un Leucocytest sur l'ensemble des échantillons, test semi-quantitatif, avec des notes de 0 à 3, les notes de 1 à 3 indiquant la présence de leucocytes. Une régression entre le GMQ du porcelet et le taux de cellules leucocytaires a été établie.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les dénombrements cellulaires quantitatifs du lait des tétines présentent une moyenne de 170 milliers de cellules vivantes par mL (\pm 110), 153 milliers de cellules leucocytaires (\pm 224) et 6

milliers de cellules épithéliales (± 6). Concernant les cellules leucocytaires, 17,5 % des échantillons ont un taux supérieur à 250 milliers de cellules par mL de lait. Ce seuil, utilisé en vache laitière pour définir la présence de MSC, suggère la présence significative de MSC chez la truie en lactation.

La note moyenne des Leucocyttests est de 0,35 ($\pm 0,49$). Les échantillons de lait notés 1 avec le Leucocyttest ont une moyenne de 286 milliers de cellules leucocytaires et diffèrent de ceux notés 0 à 0,5 avec une moyenne de 119 milliers de cellules leucocytaires ($P < 0,01$, Figure 1). Sur les 184 laits analysés au Leucocyttest, 34 sont considérés comme positifs avec une note supérieure ou égale à 1. Le test présente 72 % de vrais positifs avec une sensibilité et une spécificité de respectives de 71 et 67 %. Les résultats doivent donc être interprétés avec précaution car ils comportent une part non négligeable de faux positifs et faux négatifs.

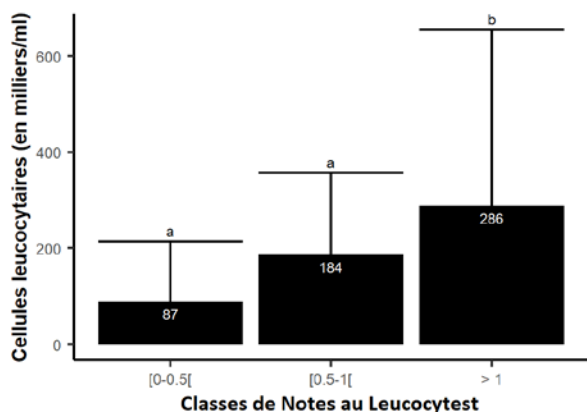


Figure 1 – Nombre de cellules leucocytaires en fonction de la classe de notes au Leucocyttest

Douze truies présentent au moins une tétine avec une note au Leucocyttest supérieure ou égale à 1, ce qui suggère que six truies prélevées sur les 18 sont indemnes de MSC. Les résultats montrent une variabilité importante de la MSC intra- et inter-truies (Figure 2).

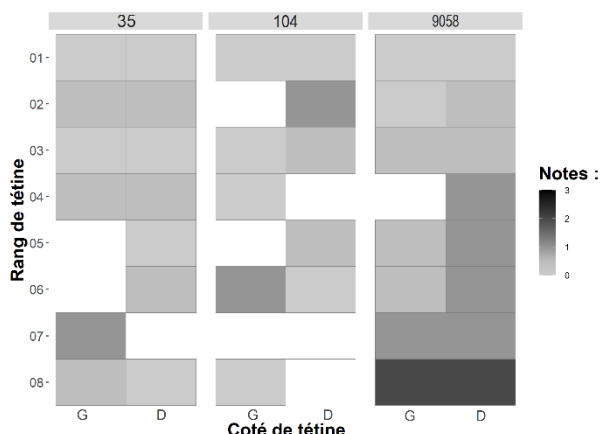


Figure 2 – Notes au Leucocyttest des tétines chez les truies n° 35, 104, 9058. Cases blanches = tétines sans prélèvements de lait, potentiellement non fonctionnelles. G : gauche, D : droit.

Il serait intéressant d'étudier des facteurs truies comme l'effet de la parité sur la présence de MSC avec une puissance statistique plus élevée.

Le poids moyen des porcelets nés vivants est de 1,4 kg ($n = 287$; $\pm 0,31$) à la naissance, de 1,6 kg à J2 ($n = 250$; $\pm 0,39$) et de 5,2 kg ($n = 235$; $\pm 1,24$) à J19. Le GMQ moyen est de 0,21 kg par jour entre 2 j et 19 j de lactation. L'observation des porcelets en maternité a permis d'associer la croissance de 70 % des porcelets ($n = 131$) identifiés fidèles à la tétine au taux de cellules leucocytaires du lait correspondant. Le GMQ a tendance à diminuer lorsque le taux de cellules leucocytaires augmente ($P = 0,06$, Figure 3). La MSC chez la truie pourrait donc diminuer la production et/ou la qualité du lait.

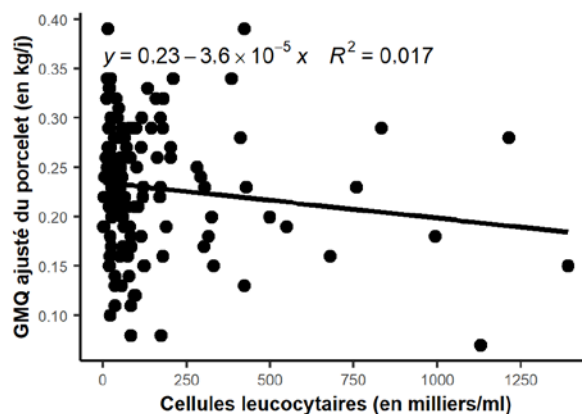


Figure 3 – Evolution de la croissance du porcelet (ajustée au poids de naissance) en fonction de la teneur en cellules leucocytaires du lait tété

Ces résultats n'ont pas permis de déterminer un seuil cellulaire à partir duquel le GMQ est dégradé. Certains porcelets présentent un GMQ élevé bien que la tétine présente un fort taux de cellules leucocytaires. Il est fort probable que la fidélité des porcelets à la tétine ne soit pas quotidienne et que le GMQ individuel ne représente pas parfaitement un ingéré de lait issu de tétines présentant un fort taux de cellules leucocytaires. Cette étude mériterait d'être complétée par un jeu de données plus conséquent ou des analyses de la composition du lait pour pouvoir définir la MSC chez la truie par un seuil de cellules leucocytaires compromettant soit la qualité laitière soit la vitesse de croissance des porcelets.

CONCLUSION

La présence de taux élevés de leucocytes dans le lait de la truie en lactation suppose la présence d'une inflammation et de MSC. La méthode de diagnostic des leucocytes par le Leucocyttest pourrait être utilisée chez la truie sachant que la sensibilité et la spécificité du test sont de l'ordre de 70 %. La présence d'inflammation à une tétine aurait tendance à ralentir la vitesse de croissance des porcelets suggérant une altération de la production laitière.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Martins L., Barcelos M.M., Cue R.I., Anderson K.L., Santos M.V.D., Gonçalves J.L, 2020. Chronic subclinical mastitis reduces milk and components yield at the cow level. *J. Dairy Res.* 87(3), 298-305.
- Persson A., Pedersen Mörner A., Kuhl W., 1996. A long-term study on the health status and performance of sows on different feed allowances during late pregnancy. II. The total cell content and its percentage of polymorphonuclear leucocytes in pathogen-free colostrum and milk collected from clinically healthy sows. *Acta Vet Scand.* 37(3), 279-291.

Alimentation





Valeurs énergétiques et protéiques de 10 fourrages chez le porc

David RENAUDEAU (1), Sarah LOMBARD (2), Florine MARIE (3), Eloise DELAMAIRE (4)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

(2) Institut de l'Agriculture et de l'Alimentation Biologiques, 49105 Angers, France

(3) Initiative Bio Bretagne, 35700 Rennes, France

(4) UE Physiologie et Phénotypage des Porcs, INRAE, 35590 Saint-Gilles, France

david.renaudeau@inrae.fr

Avec la collaboration technique de Benjamin BLOT (1), Laurence LE NORMAND (1), Colette MUSTIERE (1), Cécile PERRIER (1), Amandine CAUCHI (4), Simon DUTEIL (4), Julien GEORGE (4), Mickaël GENISSEL (4), Ewen POULNAIS (4), Guillaume POUPEAU (4), Jean-François ROUAUD (4).

Valeurs énergétiques et protéiques de 10 fourrages chez le porc

L'objectif de cette étude est d'évaluer la valeur nutritionnelle de 10 fourrages chez le porc en croissance-finition. Les ressources sont distribuées en frais (chicorée, trèfle violet, raygrass), sous forme déshydratée (luzerne et trèfle violet) à deux niveaux de température en sortie du séchoir (NT : 130°C ; BT : 48°C), sous forme de foin (luzerne, mélange trèfle violet/raygrass) ou d'enrubanné (mélange luzerne/trèfle violet). Elles ont été évaluées à la fois pour leur valeur énergétique et protéique. La digestibilité fécale (CUD) de l'énergie (E) et des nutriments a été mesurée sur quatre à cinq porcs/fourrage (essais 1 à 3). La digestibilité iléale (CUDs) des acides aminés (AA) a été mesurée sur quatre porcs/fourrage équipés d'une anastomose iléo-rectale (essais 4 et 5). Dans l'essai 1, le CUDE est supérieur pour la chicorée comparativement au trèfle et au raygrass (63,8 vs. 57,6 % en moyenne). Dans l'essai 2, Le CUDE de la luzerne NT est plus faible que celui du trèfle NT (52,6 vs. 57,9 %) et ne varie pas quand la température de déshydratation est abaissée. En revanche, la valeur énergétique du trèfle chute de 10 points quand la température est réduite. Enfin, le CUDE des foin est diminué comparativement à celui de l'enrubanné (37,2 en moyenne vs. 54,9 %). Le CUDs des AA varie de manière très importante selon la nature, l'origine botanique et les conditions de conservation des fourrages. La luzerne déshydratée a le CUDs de la lysine le plus élevé (58,8 %) ; le foin de trèfle a la valeur la plus faible (25,9 %). Les différences de valeurs nutritionnelles observées entre fourrages sont expliquées à la fois par une variation de leur teneur en parois végétales mais également par la présence d'autres facteurs antinutritionnels.

Energy and protein value of 10 pig forages in growing pig

The aim of this study was to evaluate the nutritional value of fresh and preserved forages for growing pigs. A total of 10 forages, distributed fresh (chicory, red clover, ryegrass) or in a form (lucerne and red clover) that had been dehydrated at one of two temperatures (NT and LT, at 130°C or 48°C, respectively), as hay (lucerne, red clover/grass mix) or as wrapped bales (lucerne/red clover mix), were assessed for their energy and protein contents or their energy content alone. The total tract digestibility (TTD) of the energy (E) and nutrients was assessed for four to five pigs/forage (trials 1 to 3). Ileal digestibility (SID) of amino acids (AA) was measured for four pigs/forage fitted with an ileo-rectal anastomosis (trials 4 and 5). In trial 1, the TTDE was higher for chicory than for red clover and ryegrass (mean of 63.8 % vs. 57.6 %, respectively). In trial 2, the TTDE of lucerne NT was lower than that of clover NT (52.6 % vs. 57.9 %, respectively) and did not differ for the lower dehydration temperature. In contrast, the energy content of red clover was 10 percentage points lower for the dehydration temperature. Finally, the TTDE of hay was lower than that of the wrapped bales (mean of 37.2 % vs. 54.9 %, respectively). The SID of AA varied considerably as a function of the nature, botanical origin and preservation conditions of the forages. Dehydrated lucerne had the highest lysine standardized ileal digestibility (58.8 %), whereas clover hay had the lowest (25.9 %). The differences in nutritional contents observed among forages were explained by both differences in their plant-wall content and the presence of other anti-nutritional factors.

INTRODUCTION

En élevage de porc biologique, l'affouragement, que ce soit *via* le pâturage des animaux dans le cas d'élevage en plein-air ou *via* la distribution de fourrages conservés pour les animaux élevés en bâtiments, est une obligation réglementaire. Dans certains autres systèmes dits alternatifs (non biologiques), les truies gestantes et les porcs en croissance-finition peuvent avoir accès au pâturage dont la ressource fourragère peut contribuer à la couverture des besoins nutritionnels des animaux. D'un point de vue fonctionnel, les fourrages sont connus pour avoir des effets positifs sur la santé digestive et le bien-être des animaux. Pendant la gestation, au-delà de son effet récréatif, l'apport de fourrages (paille et pâturage compris) permet de contribuer à la satiété alimentaire et au bien-être des truies (Edwards, 2003). Pour les porcs charcutiers, la distribution de fourrages permet de réduire les comportements agonistiques en particulier chez les mâles entiers et de réduire les problèmes de caudophagie (Chou *et al.*, 2020).

D'un point de vue nutritionnel, peu d'informations sont disponibles dans la littérature sur la valeur nutritionnelle des fourrages pâturés ou conservés ce qui limite fortement leur utilisation en alimentation porcine. L'évaluation de la valeur nutritionnelle des légumineuses fourragères (en particulier la luzerne déshydratée) chez le porc a fait l'objet de publications dont les résultats ont été synthétisés dans les tables alimentaires (Heuzé *et al.*, 2016). La faible utilisation digestive des protéines des légumineuses fourragères pourrait être liée aux conditions de déshydratation standards qui favoriseraient des réactions de Maillard (Renaudeau *et al.*, 2020). Par ailleurs, la valeur nutritionnelle des fourrages verts ou conservés en foin ou en enrubannage reste encore mal connue chez le porc. Cela est problématique notamment pour le foin de légumineuses qui est le fourrage le plus utilisé actuellement dans les élevages de porcs biologiques en France.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la valeur nutritionnelle de 10 fourrages présentés sous forme fraîche ou conservée chez le porc en croissance-finition.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Aliments expérimentaux

Cinq essais ont été réalisés à l'UE 3P (<https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) : trois essais de digestibilité fécale (essais 1 à 3) et deux essais de digestibilité iléale (essais 4 et 5). Dans l'essai 1, de la chicorée (au stade 6-7 feuilles), du trèfle violet (TV, stade : 3^{ème} semaine de repousse), du raygrass (RGA, stade non déterminé) ont été récoltés et distribués sous forme fraîche. Dans l'essai 2, deux légumineuses fourragères (luzerne (LUZ) et TV) ont été récoltées (stade : début de bourgeonnement) et déshydratées à une température normale (NT) ou basse (BT). Pour les produits NT et BT, les températures mesurées en sortie de séchoir étaient, respectivement, de 130 et 48°C. Dans l'essai 3, la digestibilité fécale a été mesurée sur un foin composé principalement de LUZ, un foin de TV et RGA et un enrubanné de LUZ et TV. La digestibilité iléale a été mesurée sur la LUZ déshydratée NT et BT et sur le foin de LUZ dans l'essai 4, et sur le TV déshydraté NT et BT et le foin TV et RGA dans l'essai 5. La composition chimique de l'ensemble des fourrages est donnée dans le tableau 1. Dans les essais 1 à 3, le régime témoin (T1) été formulé à base de blé et de tourteau de soja.

Sur la base de la matière sèche (MS), l'aliment T1 contenait en moyenne 2,8 % d'azote (N) total, 13,9 % de NDF et 17,7 MJ/kg d'énergie brute (EB). Les régimes expérimentaux ont été constitués sur la base du régime T1 associé avec un des fourrages. Les taux d'incorporation ont été fixés à 20 % sur la base de la MS sauf pour les formes fraîches (de 11 à 15 %). Dans les essais 4 et 5, un régime témoin (T2) a été formulé à base d'amidon de maïs et de caséine comme seule source de protéines. L'aliment T2 contenait en moyenne 2,5 % de N total, 1,8 % de NDF et 17,6 MJ/kg d'EB. Les régimes expérimentaux ont été constitués à partir de 80 % de T2 et 20 % d'un fourrage unique. Un régime protéoprive formulé principalement à base d'amidon de maïs a également été utilisé pour déterminer l'excrétion endogène basale de chaque animal. Tous les régimes expérimentaux ont été distribués en deux à quatre repas par jour (selon le fourrage) sous forme humidifiée. Les animaux avaient un accès libre à l'eau.

1.2. Animaux

Dans les essais 1 à 3, 56 porcs mâles entiers croisés Piétrain × (Large White × Landrace) d'environ 80 kg en début d'essai ont été utilisés. La digestibilité apparente totale de l'énergie et des nutriments a été mesurée sur quatre à cinq porcs mâles entiers par régime. Dans les essais 4 et 5, la digestibilité iléale de la protéine et des acides aminés a été mesurée avec quatre porcs mâles entiers par fourrage équipés d'une anastomose iléo-rectale. L'utilisation de ces animaux opérés permet de s'affranchir de l'impact des synthèses et dégradations microbiennes dans le gros intestin pendant la mesure de la digestibilité des acides aminés (AA) d'origine alimentaire.

1.3. Déroulement des essais

Dans les essais 1 à 3, les animaux ont été logés dans des cases individuelles de 2 m² pendant 11 jours d'adaptation au régime expérimental. Les animaux sont ensuite placés dans des cages de digestibilité pendant 11 jours. Le niveau d'alimentation a été fixé à 140 g/kg PV^{0.60} et la ration a été distribuée en deux repas équivalents. Après 3 jours d'adaptation à la cage, les fèces et les urines ont été collectées pendant 7 jours consécutifs. Les animaux ont été pesés à l'entrée et à la sortie des cages de digestibilité.

Après une période de repos post-opératoire de 3 semaines, les porcs des essais 4 et 5 ont reçu successivement un des quatre régimes expérimentaux selon un schéma en carré latin complet au cours de quatre périodes successives. Tous les animaux ont reçu le régime protéoprive dépourvu de protéines lors d'une cinquième période de collecte. La rotation des porcs sur les régimes assure un ordre moyen de mesure identique pour tous les régimes. Chaque période était constituée de 4 jours d'adaptation au régime et de 3 jours de collecte des excréta. Les animaux ont été pesés au début et à la fin de chaque période. Le niveau d'alimentation a été fixé à 100 g/kg PV^{0.60} et la ration a été distribuée (au moins) en deux repas.

Dans les deux essais, la totalité des digestats a été pesée, mélangée, échantillonnée en double et congelée à l'issue de chaque période de collecte. Un échantillon a été utilisé pour la mesure de la teneur en MS. L'autre échantillon a été lyophilisé pour les analyses de laboratoire. Pendant les périodes de collecte, des échantillons des régimes témoins et des fourrages représentatifs de ce qui a été distribué aux animaux ont été prélevés tous les jours et poolés en fin de période de collecte. Une partie de l'échantillon a été utilisée pour la mesure de la MS, l'autre partie a été conservée pour les analyses de laboratoire (repas fictifs).

1.4. Analyses de laboratoire, calculs et statistiques

Les repas fictifs et les digestats ont été analysés pour leurs teneurs en matières minérales (MM), matière organique (MO), N total, cellulose brute de Weende (CB), fibres de van Soest (NDF, ADF, ADL), et EB. Les teneurs en AA ont été mesurées sur le régime T2, les fourrages, et l'ensemble des digestats collectés dans les essais 4 et 5. La teneur en N protéique a été calculée comme la somme de l'N apporté par chaque AA.

Dans les essais 1 à 3, les coefficients d'utilisation digestive (CUD) fécaux apparents de MO, N et de l'énergie (E) ont été calculés sur la base des quantités d'aliments ingérées, de fèces excrétées et des analyses chimiques sur ces deux matrices. Dans les essais 4 et 5, les CUD iléaux apparents ont été calculés pour MO, N, EB et les AA. La digestibilité apparente a été corrigée par une excrétion azotée endogène basale moyenne supposée proportionnelle à la quantité de MS ingérée. Le CUD iléal obtenu ainsi est appelé CUD iléal standardisé (CUDs).

L'effet des différents régimes sur les CUD a été testé avec une analyse de variance (proc GLM) avec le logiciel SAS (V9.4 Inst. Inc. Cary, NC). Pour les essais 1 à 3, le modèle prenait en compte les effets du régime. Pour les essais 4 et 5, le modèle prenait en compte les effets de la période de collecte, de l'animal et du régime. Un seuil de significativité de 5 % a été retenu pour l'analyse.

Les valeurs des digestibilités fécales de la MO, N et de l'EB et de digestibilité iléale des AA ont été déterminées par une méthode reposant sur le principe de l'additivité des teneurs en MO, N, EB et AA digestibles entre les régimes témoins (T1 ou T2) et les régimes expérimentaux. Nous avons considéré que la variation des teneurs en éléments digestibles entre l'aliment témoin et un régime expérimental composé d'aliment témoin et d'un fourrage est strictement proportionnelle au taux d'incorporation du fourrage dans cet aliment expérimental. Ainsi, nous faisons l'hypothèse d'une absence d'interactions digestives entre les nutriments des régimes témoins et des fourrages.

Tableau 1 - Composition chimique des 10 fourrages¹

| Ressource | Formes « fraîches » | | | Formes « déshydratées » | | | | Foins | | Enrub. LUZ/TV |
|--------------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------------|------|------|------|-------|--------|------------------|
| | Chicorée | Trèfle violet (TV) | Raygrass (RGA) | Luzerne (LUZ) | | TV | | LUZ | TV/RGA | |
| | | | | NT | BT | NT | BT | | | |
| Matière sèche (MS), % | 19,2 | 20,0 | 26,6 | 88,5 | 89,7 | 85,9 | 87,5 | 86,9 | 88,8 | 59,2 |
| Minéraux, % MS | 13,9 | 12,3 | 8,2 | 10,3 | 10,3 | 9,8 | 9,5 | 14,9 | 7,0 | 9,6 |
| Azote, % MS | 2,4 | 3,4 | 1,8 | 3,5 | 3,5 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 1,6 | 3,0 |
| Azote non protéique, % N | 28,4 | 34,5 | 30,3 | 30,3 | 31,6 | 31,0 | 33,6 | 37,2 | 31,3 | 46,1 |
| Cellulose brute, % MS | 18,3 | 21,6 | 24,2 | 24,6 | 25,0 | 21,4 | 19,4 | 36,2 | 28,3 | 26,7 |
| NDF, % MS | 37,9 | 39,0 | 51,7 | 39,6 | 38,1 | 36,9 | 36,9 | 56,1 | 52,2 | 45,5 |
| ADF, % MS | 22,7 | 22,4 | 25,3 | 26,4 | 26,3 | 23,1 | 23,4 | 38,8 | 31,3 | 31,4 |
| ADL, % MS | 5,2 | 4,6 | 2,0 | 5,8 | 5,5 | 4,5 | 5,3 | 10,7 | 6,2 | 8,5 |
| Energie brute, MJ/kg MS | 17,4 | 18,3 | 18,2 | 18,4 | 18,5 | 18,3 | 18,4 | 17,4 | 18,3 | 19,0 |
| Acides aminés, % MS | | | | | | | | | | |
| Essentiels | 6,48 | 8,16 | 4,79 | 8,51 | 8,30 | 7,44 | 7,45 | 5,60 | 3,97 | 5,72 |
| Arginine | 0,72 | 0,91 | 0,56 | 0,93 | 0,91 | 0,76 | 0,78 | 0,56 | 0,42 | 0,61 |
| Histidine | 0,30 | 0,37 | 0,21 | 0,45 | 0,42 | 0,37 | 0,37 | 0,23 | 0,19 | 0,27 |
| Isoleucine | 0,65 | 0,79 | 0,46 | 0,84 | 0,83 | 0,76 | 0,75 | 0,58 | 0,40 | 0,62 |
| Leucine | 1,19 | 1,46 | 0,84 | 1,45 | 1,42 | 1,33 | 1,32 | 1,00 | 0,70 | 1,11 |
| Lysine | 0,77 | 1,02 | 0,63 | 1,11 | 1,06 | 0,81 | 0,78 | 0,67 | 0,46 | 0,45 |
| Méthionine | 0,38 | 0,42 | 0,27 | 0,45 | 0,43 | 0,40 | 0,41 | 0,33 | 0,21 | 0,30 |
| AA soufrés | 0,75 | 0,93 | 0,55 | 0,94 | 0,93 | 0,87 | 0,85 | 0,65 | 0,44 | 0,71 |
| Phénylalanine | 0,62 | 0,84 | 0,49 | 0,89 | 0,84 | 0,77 | 0,79 | 0,60 | 0,44 | 0,61 |
| Thréonine | 0,24 | 0,32 | 0,20 | 0,35 | 0,34 | 0,31 | 0,30 | 0,19 | 0,15 | 0,23 |
| Valine | 0,86 | 1,09 | 0,60 | 1,10 | 1,12 | 1,06 | 1,09 | 0,79 | 0,55 | 0,82 |
| Non essentiels | | | | | | | | | | |
| Alanine | 0,85 | 1,07 | 0,73 | 1,04 | 1,03 | 0,92 | 0,93 | 0,73 | 0,55 | 0,77 |
| Asparagine | 1,39 | 2,04 | 0,94 | 3,55 | 3,46 | 2,91 | 2,74 | 1,95 | 1,33 | 1,78 |
| Cystine | 0,13 | 0,15 | 0,11 | 0,22 | 0,22 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,11 | 0,14 |
| Glutamine | 1,58 | 1,98 | 1,14 | 1,99 | 1,92 | 1,74 | 1,78 | 1,35 | 1,01 | 1,38 |
| Glycine | 0,79 | 0,96 | 0,57 | 0,95 | 0,93 | 0,87 | 0,86 | 0,70 | 0,51 | 0,76 |
| Proline | 0,84 | 1,01 | 0,54 | 1,26 | 1,23 | 1,44 | 1,33 | 1,01 | 0,62 | 0,85 |
| Serine | 0,62 | 0,87 | 0,48 | 1,00 | 0,98 | 0,89 | 0,88 | 0,69 | 0,49 | 0,62 |
| Tyrosine | 0,53 | 0,73 | 0,37 | 0,72 | 0,70 | 0,68 | 0,64 | 0,48 | 0,36 | 0,52 |

¹ NT : déshydraté à une température normale, BT : déshydraté à une basse température, Enrub. : enrubanné.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Caractéristiques chimiques des matières premières étudiées

La composition chimique des fourrages testés dans le cadre de cette étude est donnée dans le tableau 1. Les fourrages distribués en vert contiennent de très fortes teneurs en eau qui nous ont obligé à limiter les taux d'incorporation dans les

régimes expérimentaux à 13,6, 15,0 et 10,9 %, respectivement pour la chicorée, le trèfle violet et le raygrass. Parmi ces trois fourrages, le raygrass à la teneur en N total la plus faible (1,8 %), le trèfle violet la teneur la plus élevée (3,4 %). Une teneur intermédiaire est rapportée pour la chicorée (2,4 %). Une proportion significative de N est sous la forme non protéique (de 28,4 à 34,5 %). Cette fraction azotée non protéique a une valeur nutritionnelle presque nulle pour les porcs si l'on excepte les AA libres qu'elle contient. Les teneurs en AA sont en accords

avec les dosages de N total. La teneur en AA essentiels est très nettement supérieure pour le trèfle violet en comparaison du raygrass (8,16 vs 4,79 %); une valeur intermédiaire est rapportée pour la chicorée (6,48 %). Les trois fourrages frais se distinguent également par leurs teneurs en parois végétales (estimées ici par les teneurs en cellulose brute ou en NDF et ADF) avec une des plus fortes teneurs pour le raygrass. La luzerne et le trèfle violet déshydratés se différencient aussi par leurs teneurs en N total et en parois végétales (luzerne > trèfle violet). Logiquement, la température de déshydratation n'a pas eu d'effet notable sur la composition chimique de ces deux légumineuses fourragères. Enfin, les foin sont les ressources qui contiennent le plus de parois végétales comparativement aux autres ressources fourragères.

Il est probable que les pertes de feuilles pendant les opérations de fanage et d'andainage aient occasionné une augmentation de la concentration en tiges dans les foin. Les très fortes teneurs en lignine dosée dans les foin semblent confirmer cette hypothèse. Près de 50 % du N total sont composés de N non protéique pour l'enrubannage de trèfle et de luzerne contre 37,2 et 31,3 % pour les foin de luzerne et de trèfle/raygrass. La forte teneur en N non protéique dans l'enrubannage traduit des phénomènes de protéolyse qui commencent dès que la plante est fauchée et qui se poursuivent durant la conservation, sous l'action des enzymes de la plante et des bactéries protéolytiques présentes dans le fourrage (Fijałkowska *et al.*, 2015).

Tableau 2 - Utilisation digestive et teneurs en énergie et en nutriments digestibles des différents types de fourrages chez le porc en finition

| Ressource | Formes « fraîches » | | | Formes « déshydratées » | | | | Foin | | Enrub. |
|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------------------------|------|---------------|------|------|--------|--------|
| | Chicorée | Trèfle Violet (TV) | Raygrass (RGA) | Luzerne | | Trèfle violet | | LUZ | TV/RGA | LUZ/TV |
| | | | | NT | BT | NT | BT | | | |
| Digestibilité, % | | | | | | | | | | |
| Matière organique (MO) | 68,6 | 62,1 | 63,2 | 60,0 | 60,0 | 64,4 | 55,6 | 40,3 | 45,9 | 61,1 |
| Azote (N) | 59,8 | 52,6 | 52,7 | 57,7 | 60,3 | 45,4 | 35,5 | 43,2 | 37,0 | 48,6 |
| Energie (E) | 63,6 | 56,7 | 58,5 | 52,6 | 52,9 | 57,9 | 47,2 | 34,4 | 40,0 | 54,9 |
| MO digestible, g/kg MS | 592 | 545 | 580 | 535 | 538 | 581 | 503 | 343 | 427 | 552 |
| N digestible, g/kg MS | 14,5 | 17,8 | 9,7 | 20,3 | 21,0 | 14,3 | 11,3 | 10,8 | 6,0 | 14,4 |
| E digestible, MJ/kg MS | 11,05 | 10,39 | 10,66 | 9,69 | 9,78 | 10,63 | 8,69 | 6,00 | 7,34 | 10,41 |
| E métabolisable, MJ/kg MS | 10,85 | 10,21 | 10,51 | 9,45 | 9,54 | 10,38 | 8,48 | 5,84 | 7,18 | 10,13 |

2.2. Utilisation digestive fécale et valeur énergétique des fourrages chez le porc

Comparativement aux matières premières « conventionnelles », les données de la littérature sur la mesure de la digestibilité fécale des fourrages sont limitées aux fourrages déshydratés (Lindberg et Andersson, 1998 ; Renaudeau *et al.*, 2020).

Même à des taux d'incorporation faibles dans le mélange avec le régime T1, l'introduction de fourrages dans la ration se traduit par une réduction significative du CUDE (résultats non présentés). A partir de nos résultats obtenus sur les régimes expérimentaux, il est possible de calculer des régressions entre les teneurs en parois végétales (CB ou NDF, % de la MS) et le CUDE (équations 1 et 2). En accord avec les données de la bibliographie (Le Goff et Noblet, 2001), ces équations illustrent les effets négatifs des parois végétales sur l'utilisation digestive de l'énergie. Le CUDE diminue d'environ 1,2 points par point de NDF supplémentaire dans le régime. Cette pente est légèrement supérieure à la pente négative de 0,9 % calculée à partir de données de digestibilité obtenues sur un grand nombre de régimes formulés à partir de matières premières conventionnelles (Le Goff et Noblet, 2001).

$$\text{CUDE, \%} = 102,5 - 1,16 \times \text{NDF, ETR} = 1,42 \%, R^2 = 0,86 \text{ (Eq. 1)}$$

$$\text{CUDE, \%} = 90,9 - 1,57 \times \text{CB, ETR} = 1,43 \%, R^2 = 0,86 \text{ (Eq. 2)}$$

Sur la base des teneurs moyennes en énergie digestible (ED) calculées sur le régime T1 seul et sur les régimes expérimentaux (T1+fourrages), il est possible de calculer la teneur en ED et le CUDE de chaque fourrage. Pour une température de séchage classique, le CUDE (52,6 %) et la teneur en ED (9,7 MJ/kg MS) de la luzerne déshydratée sont proches des valeurs obtenues dans un essai précédent (50,8 % et 9,8 MJ/kg MS ; Renaudeau *et al.*, 2020) et légèrement supérieures aux valeurs rapportées par

Lindberg et Andersson (1998, respectivement 50 % et 9,1 MJ/kg MS). Cette variation est probablement liée à des différences de teneur en NDF (46,5 vs. 39,6 %) des luzernes utilisées dans les deux études. En accord avec Lindberg et Andersson (1998), la valeur énergétique du trèfle violet déshydraté est supérieure à celle de la luzerne (ED : 10,6 vs. 9,7 MJ/kg MS) ce qui cohérent avec la différence de teneurs en parois végétales entre les deux légumineuses fourragères. La diminution de la température de séchage n'a eu aucun effet sur la valeur énergétique de la luzerne alors qu'elle réduit fortement celle du trèfle violet (ED : 10,6 vs. 8,7 MJ/kg MS, respectivement pour les formes NT et BT). Etant donnée que la teneur en parois végétales ne varie pas entre les formes NT et BT, ce résultat indique qu'une température de déshydratation trop faible n'est pas suffisante pour réduire l'activité des facteurs antinutritionnels thermosensibles présents naturellement dans le trèfle.

A notre connaissance, les données sur la valeur nutritionnelle des fourrages frais ou conservés en foin ou en enrubannage sont rares voire inexistantes chez le porc. Globalement, les fourrages distribués sous forme fraîche ont un CUDE et une teneur en ED plus élevés comparativement aux formes déshydratées. En revanche, compte tenu de leur très faible teneur en MS, la hiérarchie s'inverse totalement quand la teneur en ED est exprimée sur la base du frais. La teneur en ED du raygrass frais est supérieure à la valeur rapportée dans la littérature pour une forme déshydratée (10,6 vs 9.1 MJ/kg MS ; Lindberg et Andersson, 1998). Sur la base du sec, la teneur en ED du trèfle violet distribué en frais est similaire à celle du trèfle NT. Dans nos conditions expérimentales, le CUDE de la chicorée est supérieur à celui du trèfle violet ou du raygrass frais (Tableau 2). Compte tenu de la plus faible valeur en EB de la chicorée, ces différences entre fourrages s'annulent lorsque l'on s'intéresse à leur teneur en ED.

Les teneurs réduites en ED des foins de luzerne et de trèfle violet/raygrass (respectivement 5,8 et 7,2 MJ/kg MS) sont à mettre en relation avec leurs très faibles CUDE (respectivement 34,4 et 40,0 %). Cette faible digestibilité est probablement liée à leur forte teneur en parois végétales lignifiées. L'enrubannage d'une ressource riche en eau est connu pour aider à la préservation de sa valeur énergétique. Cet effet semble être vérifié dans notre étude car la teneur en ED de la forme enrubannée est assez similaire aux valeurs des fourrages déshydratés.

Tableau 3 – Digestibilité iléale standardisée de l'énergie (%), des nutriments et des acides aminés des fourrages chez le porc en croissance

| | Formes « déshydratées » | | | | Foins | |
|-------------------|-------------------------|------|---------------|------|-------|------------|
| | Luzerne | | Trèfle violet | | LUZ | TV/ RGA |
| | NT | BT | NT | BT | | |
| Energie | 28,1 | 28,9 | 33,4 | 30,7 | 15,4 | 19,2 |
| Azote total | 48,4 | 48,0 | 33,4 | 30,7 | 37,7 | -1,9 |
| Azote protéique | 52,5 | 53,6 | 47,3 | 43,1 | 43,2 | 17,2 |
| AA essentiels | | | | | | |
| Arginine | 73,2 | 74,1 | 67,4 | 64,3 | 64,1 | 40,2 |
| Histidine | 55,6 | 50,9 | 43,8 | 44,6 | 45,1 | 13,9 |
| Isoleucine | 45,1 | 46,7 | 45,1 | 42,7 | 34,5 | 13,3 |
| Leucine | 61,4 | 60,5 | 61,7 | 59,5 | 55,8 | 37,3 |
| Lysine | 58,8 | 57,2 | 46,8 | 42,0 | 46,9 | 25,9 |
| Méthionine | 70,0 | 66,6 | 52,5 | 49,9 | 65,2 | 13,5 |
| AA souffrés | 50,5 | 47,4 | 29,1 | 26,3 | 45,1 | -10,4 |
| Phénylalanine | 66,4 | 67,2 | 66,2 | 64,8 | 63,5 | 46,2 |
| Thréonine | 32,8 | 31,0 | 21,2 | 23,5 | 18,2 | -20,0 |
| Tryptophane | 37,3 | 34,6 | 28,4 | 25,0 | 23,3 | -15,5 |
| Valine | 49,2 | 52,6 | 46,2 | 46,7 | 40,8 | 14,7 |
| AA non essentiels | | | | | | |
| Alanine | 57,5 | 57,9 | 52,0 | 49,5 | 49,9 | 26,6 |
| Asparagine | 74,4 | 72,5 | 63,8 | 57,7 | 62,6 | 45,6 |
| Glutamine | 37,6 | 38,4 | 28,2 | 26,1 | 20,0 | 1,6 |
| Glycine | 34,7 | 33,9 | 31,8 | 33,5 | 15,5 | -8,2 |
| Proline | 54,2 | 58,9 | 54,6 | 44,9 | 46,3 | 13,1 |
| Serine | 11,3 | 16,1 | 4,8 | 3,1 | -3,7 | -45,7 |
| Tyrosine | 59,8 | 59,2 | 59,5 | 56,1 | 53,2 | 34,5 |

2.3. Utilisation digestive iléale et valeur protéique des fourrages chez le porc

Pour les essais 4 et 5, la digestibilité iléale des fractions azotées des régimes expérimentaux est significativement réduite par une introduction de fourrage à hauteur de 20 % (résultats non présentés). Nos résultats montrent que tous les AA ne sont pas affectés de la même manière en réponse à l'ajout de fourrages déshydratés ou de foin. Parmi les AA dont le CUDE est le plus affecté, nous retrouvons la glutamine, le tryptophane et surtout la thréonine et la glycine. Pour ces AA, la réduction du CUDE entre le régime T2 et les régimes avec fourrage atteint en moyenne 22 points contre seulement 6 points pour la lysine (résultats non présentés). Cet effet est accentué pour les régimes expérimentaux incluant du foin et se traduit directement par des faibles CUDE calculés pour chaque fourrage. La glycine comme la thréonine sont des AA dont la concentration est connue pour être élevée dans les sécrétions digestives d'origine endogène. Ces pertes endogènes peuvent être divisées en deux fractions : l'une correspondant au niveau de base inévitable (fraction non spécifique considérée constante pour un niveau d'ingestion donné) et l'autre liée aux facteurs alimentaires (fraction spécifique). En théorie,

l'utilisation d'un régime protéoprive dans nos essais 4 et 5 nous a permis de prendre en compte correctement la première fraction dans nos calculs de la digestibilité iléale standardisée. Cependant, la seconde fraction, qui peut devenir très importante pour certaines matières premières riches en facteurs antinutritionnels (parois végétales, etc.) (Leterme et Théwis, 1995), ne peut matériellement pas être prise en compte dans nos études. En conséquence, nous pouvons supposer que la digestibilité iléale de la glutamine, la thréonine et la glycine des fourrages est probablement sous-estimée en lien avec notre incapacité à corriger les fractions indigestibles par les flux provenant de l'endogène spécifique.

Quel que soit le fourrage considéré, la DIS du N total est systématiquement inférieure à la DIS de la fraction de N protéique (Tableau 3). Cet écart est lié à une plus forte concentration en N non protéique dans les digestats comparativement aux aliments distribués aux animaux (44 vs. 20 g/100 g N total pour les régimes intégrant des fourrages). Bien que la teneur en N non protéique dans les fourrages étudiés dans les essais 4 et 5 soit relativement similaire, l'écart entre les DIS du N total et du N protéique est plus important pour les fourrages produits à partir du trèfle violet (déshydratés ou foin). Ce résultat semble indiquer des différences dans la composition et/ou dans l'utilisation digestive de la fraction azotée non protéique du trèfle par rapport à celle de la luzerne.

Contrairement au régime T2 où la quasi-totalité de l'EB est digérée au niveau iléal, les CUDEs de l'EB mesurés pour les fourrages varient de 33,4 % pour le trèfle NT à 15,4 % pour le foin de luzerne. Cette faible digestibilité est probablement liée à la forte teneur en parois végétales des fourrages qui ont pour effet d'augmenter les flux endogènes (effet abrasif sur la paroi, production de mucus, augmentation du transit) mais également réduire la réabsorption des matières endogènes par le tube digestif (Leterme et Théwis, 1995). Nos résultats montrent aussi que les différences de CUDEs entre fourrages ne sont pas totalement expliquées par une variation de la concentration en parois végétales. Ainsi, le CUDE du trèfle NT est supérieur à celui de la luzerne NT (33,4 vs. 28,1 %). La même observation peut être faite lorsque l'on compare le foin de luzerne et le foin de trèfle violet/raygrass. Ces résultats semblent indiquer qu'au-delà de la teneur en parois végétales, leur nature et/ou la présence d'autres facteurs antinutritionnels pourraient également expliquer des différences de digestibilité de l'énergie mesurées au niveau iléal. Même si les essais de digestibilité fécale et iléale n'ont pas été conduits sur des porcs ayant la même gamme de poids, il est possible d'estimer que seulement 45 % (foin de luzerne) à 65 % (trèfle BT) de l'énergie des fourrages est absorbée au niveau iléal. Ces résultats sont en accord avec ceux publiés dans la littérature (Andersson et Lindberg, 1997a).

Pour une température de déshydratation normale, le CUDE du N total calculé pour la luzerne (48 %) est proche de celui mesuré par Andersson et Lindberg (1997b ; 52 %). En revanche, le CUDE de la lysine de la luzerne NT est plus faible que les valeurs rapportées dans la littérature (59 % vs. 65 et 71 % d'après, respectivement, Reverter et Lindberg (1998) et Reverter *et al.* (1999)) pour des farines de feuilles de luzerne pourtant plus riches en NDF (46,5 vs. 39,6 %). Ces différences entre études observées pour le CUDE de la lysine sont retrouvées pour la plupart des autres AA. Cela suggère que la forte teneur en parois végétales de la luzerne n'est pas le seul facteur qui explique la faible utilisation digestive des AA. Dans les deux

études publiées par Reveter, la luzerne a été récoltée à un stade similaire au nôtre mais déshydratée à une très faible température (25°C pendant au moins 72 heures). De plus, leurs régimes expérimentaux contenant de la luzerne déshydratée ont été granulés avant d'être distribués aux animaux. Sur la base de ces éléments, nous pouvons supposer qu'une partie des différences observées sur le CUDs des AA pourrait être liée à la fois aux conditions de déshydratation (moins de réactions de Maillard) et/ou à la présentation (granulés vs. farine dans notre étude) qui auraient permis de réduire les teneurs en facteurs nutritionnels sensibles à la chaleur. Ces hypothèses sont purement spéculatives et demandent à être vérifiées par des essais spécifiques. Dans notre étude, la réduction de la température de déshydratation (50 vs. 130°C en sortie de séchoir) n'a toutefois pas permis d'améliorer la digestibilité iléale des AA de la luzerne.

Comme observé au niveau fécal, le CUDs de l'énergie du trèfle NT est supérieur à celui de la luzerne NT alors que l'effet inverse est rapporté pour le CUDs de N et de la majorité des AA. Ainsi, par exemple, la DIS de lysine est inférieure pour le trèfle NT (46,8 vs. 58,8 % pour la luzerne NT). Au contraire, Reverter *et al.* (1999) montrent que le CUDs de la lysine est supérieur pour le trèfle violet comparativement à la luzerne déshydratée (76,0 vs. 71,0 %). Contrairement aux résultats obtenus sur la luzerne, la diminution de la température de déshydratation a fortement impacté le CUDs de l'énergie (-3,9 points), du N total ou protéique (respectivement -6,9 et -4,2 points) et de la plupart des AA du trèfle. Ainsi, le CUDs de la lysine diminue d'environ 5 points quand la température de déshydratation du trèfle est réduite. Ces résultats suggèrent la présence d'inhibiteurs de protéase dans le trèfle qui pourraient être partiellement ou totalement inactivés sous l'effet de la chaleur. Le trèfle est connu pour contenir des teneurs élevées en polyphénol oxydase qui en présence de polyphénols produit des quinones qui ont la propriété de créer des complexes avec les protéines et les rendre plus difficilement hydrolysables par les protéases digestives (Renaudeau *et al.*, 2022).

La quantité d'énergie digérée au niveau iléal est très faible pour les foin comparativement aux autres fourrages probablement en lien avec leurs fortes teneurs en parois végétales. En accord avec les résultats obtenus au niveau fécal, le CUDs de l'énergie est supérieur pour le foin de trèfle/raygrass en comparaison au foin obtenu à partir de la luzerne (19,2 vs. 15,4 MJ/kg MS). La très faible digestibilité iléale des AA des foin est à mettre en relation avec la forte teneur en parois végétales de ces derniers (NDF > 50 %). Dans nos conditions expérimentales, la valeur protéique du foin de trèfle violet/raygrass est quasi nulle. Ce résultat s'explique par sa faible teneur en N protéique et en AA et par le fait que ces fractions azotées sont très peu digestibles chez le porc.

CONCLUSION

Ce travail a permis de produire des données originales sur la valeur nutritionnelle des fourrages frais ou conservés chez le porc. Nos résultats montrent clairement que la faible digestibilité de l'énergie et des fractions azotées des fourrages n'est pas totalement expliquée par leurs fortes teneurs en parois végétales et que d'autres facteurs anti nutritionnels sont impliqués notamment sur l'utilisation digestive de N. La réduction de la température de déshydratation ne permet pas d'améliorer la valeur nutritionnelle des légumineuses fourragères et peut même dans certains cas (trèfle violet) avoir des effets délétères. Dans le panel des fourrages étudiés, les foin, et en particulier le foin de trèfle violet/raygrass, ont la valeur nutritionnelle la plus faible.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée dans le cadre du projet CASDAR VALORAGE, financé par le Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire. Les auteurs remercient la coopérative DeshyOuest pour la fourniture des fourrages déshydratés et les agriculteurs (L. Ruau, B. Desaint) pour la fourniture de l'enrubanné et des foin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andersson C., Lindberg J.E., 1997a. Forages in diets for growing pigs 2. Nutrient apparent digestibilities and partition of nutrient digestion in barley-based diets including red clover and perennial ryegrass meal. *Anim. Sci.*, 65, 493-500.
- Andersson C., Lindberg J.E., 1997b. Forages in diets for growing pigs 1. Nutrient apparent digestibilities and partition of nutrient digestion in barley-based diets including lucerne and white-clover meal. *Anim. Sci.*, 65, 483-491.
- Chou J.-Y., O'Driscoll K., Sandercock D.A., D'Eath R.B., 2020. Can increased dietary fibre level and a single enrichment device reduce the risk of tail biting in undocked growing-finishing pigs in fully slatted systems? *PLoS ONE*, 15, e0241619.
- Edwards S.A., 2003. Intake of nutrients from pasture by pigs. *Proc. Nutr. Soc.*, 62, 257-265.
- Fijałkowska M., Lipiński K., Pysera B., Wierzbowska J., Anotoszkiewicz Z., Sienkiewicz S., Stasiewicz M., 2015. The effect of ensiling in round bales on the content of nitrogen fractions in lucerne and red clover protein. *J. Elementology*, 20, 285-291.
- Goff G., Noblet J., 2001. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journée Rech. Porcine*, 33, 211-220.
- Leterme P., Théwis A., 1995. La digestibilité iléale réelle des acides aminés chez le porc : méthode d'estimation et intérêt pratique. *Journée Rech. Porcine*, 27, 197-208.
- Lindberg J.E., Andersson C., 1998. The nutritive value of barley-based diets with forage meal inclusion for growing pigs based on total tract digestibility and nitrogen utilization. *Livest. Prod. Sci.*, 56, 43-52.
- Renaudeau D., Duputel M., Calvar C., 2020. Valeurs énergétique et protéique des feuilles de luzerne chez le porc en croissance. *Journée Rech. Porcine*, 52, 75-80.
- Renaudeau D., Jensen S.K., Ambye-Jensen M., Adler S., Bani P., Juncker E., Stødkilde L., 2022. Nutritional values of forage-legume-based silages and protein concentrates for growing pigs. *Animal*, 16, 100572.
- Reverter M., Lindberg J.E., 1998. Ileal digestibility of amino acids in pigs given a barley-based diet with increasing inclusion of lucerne leaf meal. *Anim. Sci.*, 67, 131-138.
- Reverter M., Lundh T., Lindberg J.E., 1999. Ileal amino acid digestibilities in pigs of barley-based diets with inclusion of lucerne (*Medicago sativa*), white clover (*Trifolium repens*), red clover (*Trifolium pratense*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Br. J. Nut.*, 82, 139-147.



Comment la gamme de matières premières utilisée pour les aliments modifie-t-elle les performances techniques et l’empreinte environnementale des porcs à l’engraissement ?

Estelle JANODET (1, 2), Hélène GILBERT (1), Ludovic BROSSARD (2), David RENAUDEAU (2), Florence GARCIA-LAUNAY (2)

(1) UMR1388 GenPhySE, INRAE, Université de Toulouse, INPT, 31326, Castanet-Tolosan, France

(2) UMR1348 PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint-Gilles, France

estelle.janodet@inrae.fr

Comment la gamme de matières premières utilisée pour les aliments modifie-t-elle les performances techniques et l’empreinte environnementale des porcs à l’engraissement ?

Diversifier les ressources alimentaires est un moyen pour atténuer les impacts environnementaux de la production porcine. Cependant, les porcs sélectionnés avec des aliments très digestibles ne sont pas forcément les meilleurs animaux dans des systèmes diversifiés. L’objectif de cette étude était de caractériser la multiperformance des porcs dans deux systèmes d’élevage contrastés en termes de ressources alimentaires : un système conventionnel (SC) représentatif d’un élevage commercial français et un système alternatif (SA) privilégiant des ressources à faible coût d’opportunité. Un jeu de 1392 profils de croissance a été établi à partir de données expérimentales sur des mâles entiers à l’aide du logiciel InraPorc®. Les aliments ont été formulés à moindre coût (FMC) ou avec une formulation multiobjectif (FMO) qui minimise conjointement les impacts environnementaux (changement climatique, utilisation de ressources fossiles, acidification, potentiels d’eutrophisation et usage des terres) et le prix des aliments. Pour chaque combinaison système x formulation (scénario), les performances et les impacts environnementaux en sortie de ferme de chaque profil, considéré comme le profil moyen d’une population, ont été simulés avec un modèle individu-centré de l’atelier d’engraissement. La FMO et l’utilisation de matières premières à faibles impacts environnementaux (coproduits végétaux, déchets alimentaires, concentrés protéiques) présentaient un fort potentiel de réduction des impacts environnementaux sans dégradation des performances techniques, grâce à des substitutions de céréales et de tourteaux, et l’incorporation de co-produits dans les formules. Les porcs se classent différemment dans chaque scénario pour leur impact changement climatique, avec des corrélations entre scénarios de 0,26 à 0,97. La stratégie adoptée a permis d’évaluer la multiperformance des porcs et leur classement dans une diversité de systèmes, et pourra être utilisée pour identifier des interactions génétique x environnement.

How does the range of feed ingredients influence the technical performance and environmental footprint of fattening pigs?

Diversifying feed resources is one way to decrease environmental impacts of pig production, but the pigs currently selected under feeding with highly digestible feeds may not be the best in diversified systems. This study aimed at characterizing the multi-performance of pigs in two farming systems with contrasting feed resources: a conventional system (SC) representative of a French commercial farm and an alternative system (SA) that favoured ingredients with low opportunity costs. A set of 1,392 growth profiles was established from experimental data on entire Large White males using InraPorc® software. Feeds were formulated using either a least-cost approach (LCF) or multi-objective formulation (MOF) that minimised both environmental impacts (i.e. climate change, use of fossil resources, acidification, eutrophication potentials and land use) and feed price. For each system x formulation combination (i.e. scenario), the performance and environmental impacts at the farm gate of each profile, considered as the average profile of a population, were simulated using an individual-based model of a fattening unit. Both MOF and the use of ingredients with low environmental impacts (e.g. plant co-products, food waste, protein concentrates) had a high potential for decreasing impacts through substitutions within cereals and meals cereals and meals and the use of co-products in formulations, without degrading the technical performance. Pigs ranked differently in each scenario according to their climate change impact, with correlations between scenarios of 0.26-0.97. The strategy followed effectively assessed the multi-performance of pigs and their ranking in a variety of systems and could be used to identify interactions between genetics and the environment.

INTRODUCTION

La production porcine fait face à des enjeux économiques, environnementaux et sociétaux pour maintenir sa durabilité. Elle contribue à divers impacts environnementaux par des émissions de gaz à effet de serre, des émissions polluantes consécutives aux rejets d'azote et de phosphore ou encore la consommation de ressources fossiles (McAuliffe *et al.*, 2016). L'alimentation représente la majeure partie des coûts de production et est le principal contributeur à l'empreinte environnementale des élevages de porcs (Basset-Mens et van der Werf, 2005). Par ailleurs, l'augmentation et la variabilité croissante des prix des matières premières (MP) dues aux tensions entre usages pour l'alimentation humaine, animale et l'énergie affectent la rentabilité économique des élevages (Cadéro *et al.*, 2018).

Pour répondre à ces enjeux, différentes méthodes et outils ont été développés pour formuler des aliments en réduisant la compétition entre alimentation animale et alimentation humaine (van Hal *et al.*, 2019) ou encore pour minimiser les impacts des aliments calculés par Analyse de Cycle de Vie (ACV) (Garcia-Launay *et al.*, 2018). Il en résulte des aliments incorporant des ressources actuellement minoritaires dans les formules (résidus de cultures, pois, déchets de l'alimentation humaine...). De plus, ces dernières années, les pressions économiques conduisent à des modifications du profil des ressources alimentaires disponibles en élevage, avec en particulier l'incorporation dans les rations alimentaires de MP plus variées et/ou de moindre qualité nutritionnelle. En parallèle, l'amélioration génétique des porcs a conduit à la sélection d'animaux plus performants (plus maigres et avec une vitesse de croissance plus élevée) avec des rations alimentaires riches en énergie et faciles à digérer.

L'objectif de cette étude était de déterminer si la gamme de MP utilisée et le type de formulation modifie les performances techniques et l'empreinte environnementale de porcs engraisés. L'hypothèse est que des profils de MP différents modifient le classement des individus d'une population sur la base des impacts environnementaux. Pour cela nous avons développé, à partir d'outils existants, une méthodologie pour prédire individuellement les performances techniques, économiques et environnementales de porcs à l'engraissement dans des systèmes de production qui intègrent des profils de ressources alimentaires différents.

1. MATERIEL ET METHODES

Deux systèmes d'élevage contrastés sur le profil de ressources disponibles ont été conçus : un système conventionnel (SC), avec des MP classiques en élevage commercial, et un système alternatif (SA) limitant la compétition avec l'alimentation humaine et la production de biocarburants, qui privilégie des MP à faibles impacts. Dans ces systèmes, deux méthodes de formulation des aliments ont été testées : formulation à moindre coût (FMC) et une formulation multi-objectif (FMO) qui minimise conjointement le prix et les impacts environnementaux de l'aliment (Garcia-Launay *et al.*, 2018).

1.1. Description du modèle PigOptim

Les simulations ont été réalisées à l'aide d'un modèle individu-centré simulant les performances techniques, économiques et environnementales d'un atelier d'engraissement (Cadéro *et al.*, 2018 ; Davoudkhani *et al.*, 2020). Un premier module permet de

formuler des aliments suivant les méthodes FMC et FMO. Ensuite, le module de simulation de croissance des porcs est basé sur le modèle InraPorc® (van Milgen *et al.*, 2008) et simule les performances techniques individuelles des porcs. Un troisième module évalue les performances économiques et environnementales indicatrices de la multiperformance individuelle en sortie de ferme. Avec le prix des MP et une grille de paiement carcasse, PigOptim calcule aussi des indicateurs économiques par porc. Les impacts environnementaux sont évalués par ACV et exprimés par kg de poids vif en sortie de ferme. Le périmètre de l'ACV inclut la production et le transport des aliments, les émissions au bâtiment et au cours du stockage des effluents. Les impacts de la production des porcelets ont été extraits de la base de données AGRIBALYSE (version 3.0). Les impacts ont été calculés avec la méthode EF 3.0 pour : changement climatique (CC, kg-eq CO₂/kg), potentiel d'acidification (AC, mol H⁺-eq/kg), potentiel d'eutrophisation de l'eau douce (EU eau douce, kg P-eq/kg), terrestre (EU terrestre, mol N-eq/kg) et marine (EU marine, kg N-eq/kg), consommation d'énergie fossile (MJ/kg), consommation en eau (m³/kg) et utilisation des terres (Pt/kg).

1.2. Paramètres des systèmes d'élevage

Dans ce projet, un système d'élevage est défini essentiellement par la liste des ressources disponibles pour formuler les aliments, leurs valeurs nutritionnelles, leurs impacts environnementaux et les contraintes d'incorporation associées.

Pour SC, la liste des MP a été établie selon les « Notes de conjoncture » entre 2019 et 2021 de l'IFIP (Institut technique du porc), complétées d'apports de Wilfart *et al.* (2018) et de Quelen *et al.* (2021). Elle comprend les céréales traditionnellement utilisées, certains coproduits de maïs et de blé, des oléagineux, des huiles et des tourteaux. Des coproduits d'origine animale ont également été inclus. En SA, toutes les MP du SC ont été incluses, à l'exception du soja et des produits à base de palme. Des MP innovantes et coproduits ayant des impacts environnementaux réduits ont été intégrés tels que des concentrés protéiques (concentrés de pomme de terre, concentrés de biomasse verte), des déchets issus de l'industrie agroalimentaire (coproduits de biscuiterie), des coproduits végétaux (pomme de terre, betterave sucrière) et des coproduits issus de la production de biocarburants comme alternative aux céréales (Popp *et al.*, 2016 ; Pinotti *et al.*, 2021 ; Møller *et al.*, 2022). Dans les deux systèmes, une supplémentation en acides aminés synthétiques, vitamines et minéraux a été apportée pour couvrir les besoins des porcs. En SC, les contraintes d'incorporation ont été fixées conformément à la littérature (IFIP, 2019-2021 ; Méda *et al.*, 2020). En SA, les taux d'incorporation maximaux pour le maïs et le blé ont été réduits de moitié par rapport au SC, et une contrainte minimale de 50% sur le taux d'incorporation total de MP innovantes a été fixée.

1.3. Paramétrage des profils de porcs

Dans le modèle, les porcs sont décrits individuellement par un jeu de 5 paramètres décrivant leur profil d'ingestion, de croissance et leurs besoins nutritionnels (Brossard *et al.*, 2006). Des données de 1392 porcs Large White (mâles entiers) élevés entre 2017 et 2018 à la station de phénotypage INRAE UE3P (UE 3P. 2018 - <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) France Génétique Porc (Le Rheu, France) ont été utilisées (Déru *et al.*, 2020). Les profils de croissance ont été ajustés à l'aide du logiciel InraPorc® dans sa version population. Le profil de

croissance de chaque porc a ensuite été utilisé comme profil « parent » pour générer une population de 1000 profils « fils » virtuels à partir de la matrice de variance-covariance des 5 paramètres des profils de croissance, de leurs lois de distribution et des valeurs du parent (Vautier *et al.*, 2013). Les besoins nutritionnels de chaque profil « parent », exprimés en grammes de lysine digestible par mégajoule d'énergie nette, ont été estimés afin de calculer les contraintes minimales en acides aminés digestibles des aliments pour la phase croissance (de 30 kg à 65 kg) et la phase de finition (jusqu'à abattage).

1.4. Simulations

Les impacts environnementaux des MP ont été extraits de la base de données AGRIBALYSE (v.3.0) disponible sur SimaPro® (SimaPro® v.9.3.0.3). Les valeurs nutritionnelles sont issues des tables INRAE-CIRAD-AFZ (2017, <https://www.feedtables.com/>). Les prix des MP sont basés sur les moyennes mensuelles des « Notes de conjoncture » Ifip entre 2019 et 2021. Pour les MP du SA sans prix connu, la moyenne des prix des MP du SA hors acides aminés de synthèse, vitamines et minéraux a été utilisée afin que leur incorporation se fasse d'après leurs valeurs nutritionnelles et/ou environnementales. La grille de paiement Uniporc au 01/01/2021 a été utilisée.

Pour simuler les indicateurs de multiperformance d'un porc parent, nous avons formulé un aliment pour chaque phase sur la base des besoins du profil parent, puis simulé la croissance de ses 1000 profils fils avec ces aliments. Pour chaque porc parent et chaque indicateur, un ensemble de 1000 performances est donc disponible en sortie de modèle. Nous avons ainsi calculé des performances moyennes et leur variabilité intra-profil parent pour chaque système et formulation. Les corrélations de Spearman ont été calculées entre scénarios.

Pour chaque porc parent, 4 scénarios combinaisons des deux systèmes d'élevage et des deux méthodes de formulation des aliments ont donc été simulés : SC FMC, SC FMO, SA FMC, SA FMO. L'alimentation des porcs a été simulée selon une stratégie en deux phases avec une restriction à 2,6 kg/j. Dans tous les scénarios, 1392 bandes de 1000 porcs ont été simulées indépendamment (une bande de porcs était simulée par profil parent). L'âge de début d'engraissement a été fixé à 70 jours pour un poids vif de 31 kg (références GTE, IFIP, 2015). Dans les deux systèmes les effluents ont été traités sous forme de lisier liquide stocké à l'extérieur dans une fosse couverte.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 1 – Résultats zootechniques et impacts environnementaux¹ par kg de poids vif et par kg d'aliment (moyenne (écart-type) des moyennes par profil parent) selon le système d'élevage et le type de formulation des aliments²

| | Système conventionnel | | Système alternatif | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| | FMC | FMO | FMC | FMO |
| Performances techniques | | | | |
| IC (kg / kg) | 2,46 (0,13) | 2,25 (0,20) | 2,36 (0,14) | 2,20 (0,19) |
| GMQ (kg / jour) | 0,94 (0,10) | 1,03 (0,10) | 0,97 (0,11) | 1,05 (0,11) |
| CMJ (kg / jour) | 2,29 (0,24) | 2,30 (0,23) | 2,29 (0,24) | 2,30 (0,23) |
| TMP (%) | 57,36 (1,90) | 59,64 (2,65) | 56,88 (2,00) | 58,03 (2,70) |
| Poids abattage (kg) | 121,1 (4,9) | 125,0 (3,9) | 122,5 (4,8) | 125,6 (3,7) |
| Durée d'engraissement (jours) | 97,7 (5,7) | 92,8 (6,2) | 95,7 (6,5) | 91,3 (6,3) |
| Impacts environnementaux par kg de poids vif | | | | |
| CC (kg CO ₂ -eq / kg) | 1,83 (0,1) | 1,60 (0,13) | 1,43 (0,06) | 1,11 (0,07) |
| AC (mol H ⁺ -eq / kg) | 0,04 (4,15.10 ⁻³) | 0,04 (6,00.10 ⁻³) | 0,07 (0,03) | 0,03 (0,01) |
| EU eau douce (g P-eq / kg) | 0,39 (0,04) | 0,32 (0,04) | 0,76 (0,40) | 0,16 (0,15) |
| EU terrestre (mol N-eq / kg) | 0,20 (0,02) | 0,17 (0,03) | 0,17 (0,01) | 0,14 (0,02) |
| EU marine (g N-eq / kg) | 12,50 (0,76) | 11,86 (1,02) | 8,64 (0,89) | 4,39 (0,75) |
| CE (MJ / kg) | 15,57 (0,61) | 12,44 (0,90) | 11,03 (0,39) | 8,85 (0,49) |
| UT (Point / kg) | 165,37 (10,66) | 151,48 (11,86) | 94,32 (3,72) | 48,96 (6,71) |
| Impacts environnementaux par kg d'aliment | | | | |
| CC (kg CO ₂ -eq / kg aliment) | 0,43 (0,03) | 0,36 (0,04) | 0,20 (3,97.10 ⁻³) | 0,11 (0,01) |
| AC (mol H ⁺ -eq.10 ⁻³ / kg aliment) | 7,69 (0,12) | 6,42 (0,21) | 0,02 (0,01) | 2,04 (0,06) |
| EU eau douce (g P-eq / kg aliment) | 0,16 (0,01) | 0,13 (0,01) | 0,38 (0,24) | 0,04 (0,09) |
| EU terrestre (mol N-eq.10 ⁻³ / kg aliment) | 33,08 (0,36) | 27,83 (0,78) | 12,60 (0,26) | 4,86 (1,39) |
| EU marine (g N -eq / kg aliment) | 5,03 (0,18) | 5,15 (0,17) | 3,02 (0,51) | 0,71 (0,36) |
| CE (MJ / kg aliment) | 5,25 (0,20) | 3,94 (0,32) | 2,90 (0,11) | 1,86 (0,18) |
| UT (Point / kg aliment) | 71,96 (3,78) | 70,15 (2,94) | 34,49 (0,20) | 9,81 (3,83) |
| Consommation en eau (m ³ / kg aliment) | 1,85 (0,05) | 0,44 (0,10) | 0,30 (0,03) | 0,05 (0,03) |

¹ IC, indice de consommation ; GMQ, gain moyen quotidien ; CMJ, consommation moyenne journalière ; TMP, taux de muscles des pièces ; CC, changement climatique ; AC, acidification ; EU, eutrophisation ; CE, consommation d'énergies fossiles ; UT, utilisation des terres

² FMC = Formulation des aliments à moindre coût, FMO = Formulation multiobjectif des aliments.

2.1. Performances moyennes dans chaque scénario

Les performances techniques et environnementales des porcs et les impacts environnementaux des aliments pour les quatre scénarios sont présentés dans le Tableau 1. Pour chaque méthode de formulation, les performances techniques varient peu en moyenne d'un système à l'autre et sont conformes aux performances attendues pour ces profils de porcs, ce qui s'explique par une couverture similaire des besoins

nutritionnels des animaux. La comparaison de ces performances simulées avec les résultats techniques de la GTE Bretagne (IFIP, 2015) montre que les ordres de grandeurs sont cohérents. Les indicateurs simulés sont comparables aux données GTE (atelier naisseur-engraisseur) : indice de consommation à 2,68 (entre 30 et 115 kg de poids vif), TMP à 61,0 %, GMQ de 834 g/j, âge à 115 kg de 180 jours et poids moyen d'abattage de 116,0 kg.

Les impacts environnementaux CC, EU marine, CE et UT (par kg de poids vif) pour le scénario SA FMC sont plus faibles en

moyenne que ceux du scénario SC FMC. Tous les impacts environnementaux du scénario SA FMO sont réduits par rapport au scénario SC FMO. Les ordres de grandeurs des impacts environnementaux (par kg de poids vif) sont comparables à la littérature (Gislason *et al.*, 2023) et aux valeurs d'impacts environnementaux évalués selon la méthode EF 3.0 à partir de l'inventaire de cycle de vie (ICV) de la base de données AGRIBALYSE 3 pour la production d'un porc à l'engraissement de 120 kg (système conventionnel, moyenne nationale française, calculs réalisés à l'aide du logiciel SimaPro® v.9.3.0.3).

En comparaison avec les aliments du scénario SC FMC, les impacts des aliments du scénario SC FMO sont tous plus faibles, sauf pour l'impact EU marine. De façon similaire, les impacts des aliments du scénario SA FMO sont réduits par rapport à ceux des aliments du scénario SA FMC, excepté pour l'impact AC. Comme attendu (Garcia-Launay *et al.*, 2018), la formulation multi-objectif a permis de réduire les impacts environnementaux des aliments par rapport à la formulation à moindre coût (Tableau 1). Les valeurs d'impacts des aliments pour le SC sont similaires à ceux des aliments croissance et finition dont les ICV sont disponibles sur SimaPro®.

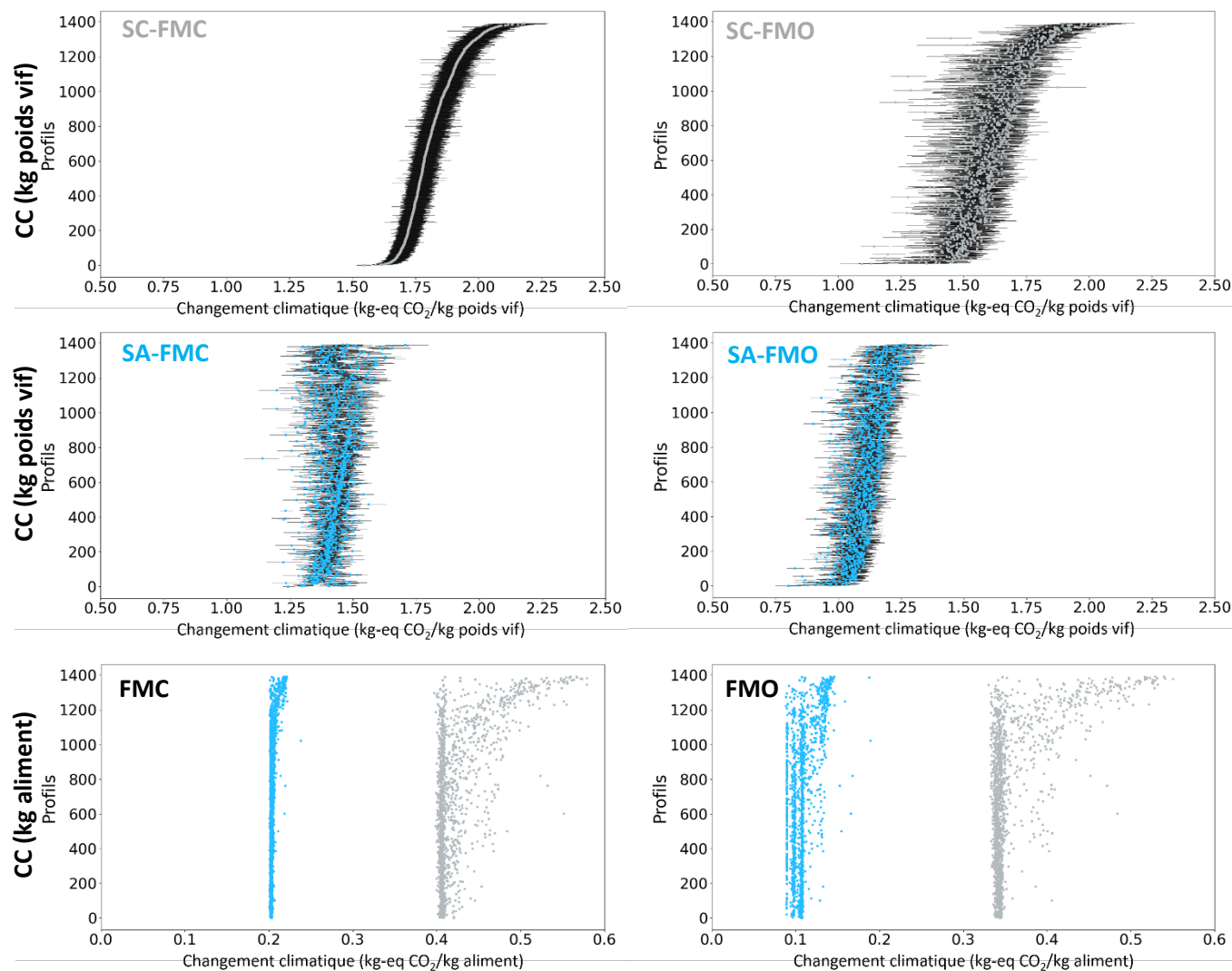


Figure 1 – Valeurs d'impact Changement Climatique (CC) par kg de poids vif (médiane et écart-interquartile pour chaque profil parent, d'après les performances des profils fils) et par kg d'aliment (aliment moyen pour les phases de croissance et finition pour chaque profil individuel) pour chaque profil dans le système conventionnel (en gris) et le système alternatif (en bleu), selon la méthode de formulation des aliments (FMC, formulation à moindre coût, à gauche; FMO, formulation multiobjectif, à droite).

Pour tous les graphiques, les profils de porcs sont triés selon les valeurs médianes d'impact Changement Climatique des profils parents dans le système conventionnel en formulation à moindre coût (graphique en haut à gauche)

2.2. Performances techniques et environnementales entre systèmes et méthodes de formulation

Afin de comprendre les effets du scénario sur le classement des porcs, 3 indicateurs ont été retenus : l'impact CC du kg de porc en sortie de ferme, l'impact CC du kg d'aliment consommé, et l'IC. Dans la Figure 1, les profils de porcs sont ordonnés selon l'impact CC du kg de porc des profils dans le scénario SC FMC pour tous les graphiques. Entre le SC et le SA, les corrélations des rangs de Spearman de l'impact CC du kg de porc sont de 0,26 et 0,97 en FMC et en FMO, respectivement. Intra-système,

les corrélations entre FMC et FMO sont de 0,78 (SC) et 0,32 (SA). Sur cet indicateur, les porcs se classent donc différemment entre scénarios. En SC FMC et SC FMO, deux groupes d'aliments ayant des impacts différents peuvent être identifiés (Figure 1) : un premier groupe d'aliments dont les impacts varient peu (autour de 0,41 kg-eq CO₂/kg en FMC et 0,34 kg-eq CO₂/kg en FMO), et un deuxième groupe d'aliments dont les impacts s'écartent de ces deux moyennes et sont plus hétérogènes (17% des aliments > 0,45 kg-eq CO₂/kg pour FMC et 17% des aliments > 0,38 kg-eq CO₂/kg pour FMO). En SC, les impacts sont resserrés autour de 0,2 kg-eq CO₂/kg en FMC et autour de 0,1

kg-eq CO₂/kg en FMO, la variabilité étant plus importante dans ce dernier scénario (Δmin-max de 0,10 kg-eq CO₂/kg en FMO contre 0,04 kg-eq CO₂/kg en FMC). En comparaison avec la FMC, la FMO a en moyenne réduit l'impact CC des aliments de 16% en SC et de 45% en SA. Les impacts des aliments en SC sont en moyenne 53% (FMC) et 69% (FMO) plus faibles qu'en SA.

En SC, les porcs ayant un impact CC par kg faible ont en général

un IC faible (Figure 1). En revanche, les porcs ayant un impact CC par kg élevé ont soit un IC élevé et un impact CC du kg d'aliment modéré soit un IC intermédiaire et un impact CC du kg d'aliment élevé. En revanche, le classement des profils sur l'impact CC par kg de porc en SA s'explique par leur IC. En effet, les corrélations entre IC et impact CC du kg de porc sont plus élevées en SA (> 0.91) qu'en SC (< 0.87).

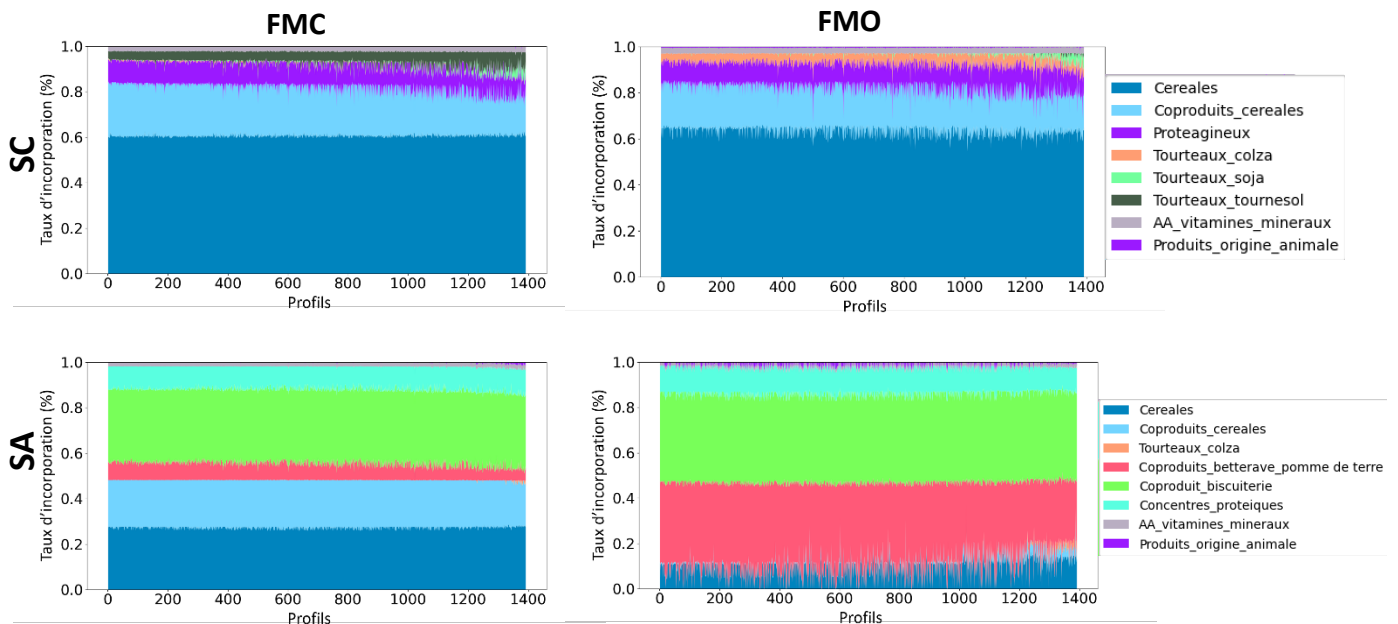


Figure 2 – Composition des formules des aliments dans le système conventionnel (en haut) et le système alternatif (en bas) et selon la méthode de formulation (formulation à moindre coût à gauche ; formulation multiobjectif à droite)

Comme sur la Figure 1, pour tous les graphiques, les profils de porcs sont triés du meilleur individu (à gauche de l'axe des abscisses) au moins bon (à droite de l'axe des abscisses) sur l'impact Changement Climatique par kg de poids vif évalué dans le système conventionnel en formulation à moindre coût

2.3. Composition des aliments

Les compositions des formules dans les différents scénarios sont présentées dans la Figure 2. Les aliments du SC FMC contiennent en moyenne 63% de céréales, 21% de coproduits de céréales, moins de 1% de tourteaux, 7% de coproduits de betterave et pomme de terre, 33% de coproduits de biscuiterie, et 10% de concentrés protéiques. Les aliments du SA FMO sont composés en moyenne de 9% de céréales, 1% de coproduits de céréales, moins de 1% de tourteaux, 36% de coproduits de betterave et pomme de terre, 39% de coproduits de biscuiterie, et 11% de concentrés protéiques. Ce sont les variations des taux d'incorporation des céréales et coproduits de céréales, ainsi que des MP innovantes qui différencient le plus les formules FMC et FMO du SA. Les contraintes d'incorporation du SA ont donc bien permis de recruter des ressources à moindres impacts dès les scénarios FMC, permettant de réduire fortement l'impact CC même avec une formulation à moindre coût, sans impact majeur sur les performances techniques.

Les formules FMC sont globalement plus homogènes entre profils que les formules FMO pour le même système, comme attendu au vu des impacts CC des aliments. Dans le SC, les formules FMC avec des impacts CC supérieurs à 0,45 kg-eq CO₂/kg (Figure 1) incorporent moins de drèches de blé (7,8%, vs 10% pour ceux qui ont des impacts inférieurs à 0,45) et plus de tourteau de soja (2,8% vs 0,06%). Les formules FMO avec des impacts CC supérieurs à 0,38 kg-eq CO₂/kg (Figure 1) intègrent moins de drèches de blé (6,5% vs 9,5%), et le blé est substitué par du maïs et du triticale, ces céréales ayant des impacts similaires et plus élevés que le blé (Wilfart *et al.*, 2016). Ces formules contiennent aussi plus de tourteau de soja (2% vs 0,002%). Elles présentent des taux de MAT élevées (>120 en FMC et > 123 en FMO).

L'intégration de ressources alternatives (coproduits végétaux, concentrés protéiques, déchet alimentaire), la suppression du soja et la réduction de la part de céréales dans les formules de SA ont réduit les impacts environnementaux des porcs sans dégrader les performances techniques indiquant que les formules obtenues couvrent les besoins des animaux. L'atténuation des impacts est d'autant plus efficace avec une formulation multiobjectif des aliments.

Dans le SA, nous avons choisi un taux d'incorporation minimum pour la somme des MP alternatives de 50%, afin de contraster avec le SC. Les formules FMO intègrent ces MP jusqu'à 80%. En raison de différences de composition nutritionnelle et de digestibilité (matière organique, lysine) par rapport à des MP plus classiques, cette valeur ne semble pas réaliste en pratique. Les compositions nutritionnelles disponibles dans la littérature sont aussi très variables (Bikker *et al.*, 2023). En pratique, il sera essentiel de mieux caractériser la valeur de ces ressources avant formulation afin d'ajuster la composition des aliments, en termes nutritionnels, mais aussi garantir la sécurité sanitaire et de disponibilité.

Cependant, les systèmes d'élevage conçus dans cette étude sont suffisamment contrastés pour observer du reclassement entre les porcs sur l'impact changement climatique. Les analyses sont à poursuivre sur les autres impacts environnementaux évalués, et des systèmes d'élevage

différents, pour évaluer l'ampleur des reclassements et leur impact potentiel sur des choix de stratégies de sélection et de conduite d'élevage vertueuses.

CONCLUSION

Cette étude a montré que la démarche de modélisation adoptée permet de caractériser la multiperformance de porcs à l'engraissement et d'établir leurs classements dans différents environnements de production. C'est l'association entre l'incorporation de MP à faibles impacts environnementaux et la formulation multiobjectif des aliments qui présente le plus grand potentiel de réduction des impacts des porcs. Les meilleurs profils en termes de CC dans un système conventionnel standard ne sont pas nécessairement les meilleurs dans un système alternatif intégrant majoritairement des coproduits dans les formules. Deux autres systèmes d'élevage ont été conçus, un système privilégiant des ressources produites localement et un système biologique intégrant des fourrages. Pour les simulations dans ces systèmes, il est possible que le modèle INRAPorc® actuel ne réponde pas complètement au besoin, car par exemple il ne tient pas compte de l'encombrement important de certaines MP telles que les fourrages.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Basset-Mens C., van der Werf H. M. G., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agric. Ecosyst. Env.*, 105, 127–144.
- Bikker P., Jansman A. J. M., 2023. Review: Composition and utilization of feed by monogastric animals in the context of circular food production systems. *Animal*, 17, 100892.
- Brossard L., van Milgen J., Lannuzel P. Y., Bertinotti R., Rivest J., 2006. Analyse des relations entre croissance et ingestion à partir de cinétiques individuelles : implications dans la définition de profils animaux pour la modélisation. *J. Rech. Porcine*, 38, 217-224.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J. Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2017. Modelling interactions between farmer practices and fattening pig performances with an individual-based model. *Comput. Electron. Agric.*, 12, 1277–1286.
- Davoudkhani M., Mahé F., Dourmad J. Y., Gohin A., Darrigrand E., Garcia-Launay F., 2020. Economic optimization of feeding and shipping strategies in pig-fattening using an individual-based model. *Agric. Syst.*, 184, 102899
- De Quelen F., Brossard L., Wilfart A., Dourmad J. Y., Garcia-Launay F., 2021. Eco-friendly feed formulation and on-farm feed production as ways to reduce the environmental impacts of pig production without consequences on animal performance. *Front. Vet. Sci.*, 8, 689012.
- Déru V., Bouquet A., Labussière E., Ganier P., Blanchet B., Carillier-Jacquin C., Gilbert H., 2020. L'efficacité digestive est-elle un caractère intéressant pour améliorer l'efficacité alimentaire chez le porc ? *J. Rech. Porcine*, 52, 13-18.
- Garcia-Launay F., Dusart L., Espagnol S., Laisse-Redoux S., Gaudré D., Méda B., Wilfart A., 2018. Multiobjective formulation is an effective method to reduce environmental impacts of livestock feeds. *Br. J. Nutr.*, 120, 1298-1309.
- Gislason S., Birkved M., Maresca A., 2023. A systematic literature review of Life Cycle Assessments on primary pig production: Impacts, comparisons, and mitigation areas. *Sustain. Prod. Consum.*, 42, 44-62.
- van Hal O., de Boer I. J. M., Muller A., de Vries S., Erb K. H., Schader C., Gerrits W. J. J., van Zanten H. H. E., 2019. Upcycling food leftovers and grass resources through livestock: Impact of livestock system and productivity. *J. Clean. Prod.*, 219, 485-496.
- Mackenzie S.G., Leinonen I., Ferguson N., Kyriazakis I., 2016. Towards a methodology to formulate sustainable diets for livestock: accounting for environmental impact in diet formulation. *Br. J. Nutr.*, 115, 1860-1874.
- McAuliffe G.A., Chapman D.V., Sage C.L., 2016. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 56, 12–22.
- Méda B., Garcia-Launay F., Dusart L., Ponchant P., Espagnol S., Wilfart A., 2021. Reducing environmental impacts of feed using multiobjective formulation: What benefits at the farm gate for pig and broiler production? *Animal*, 15, 100024.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J. Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 387-405.
- Møller H., Samsonstuen S., Øverland M., Modahl I. S., Olsen H. F., 2022. Local non-food yeast protein in pig production-environmental impacts and land use efficiency. *Livest. Sci.*, 260, 104925.
- Pinotti L., Luciano A., Ottoboni M., Manoni M., Ferrari L., Marchis D., Tretola M., 2021. Recycling food leftovers in feed as opportunity to increase the sustainability of livestock production. *J. Clean. Prod.*, 294, 126290.
- Popp J., Harangi-Rákos M., Gabnai Z., Balogh P., Antal G., Bai A., 2016. Biofuels and their co-products as livestock feed: global economic and environmental implications. *Molecules*, 21, 285–311.
- Vautier B., Quiniou N., van Milgen J., Brossard L., 2013. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. *Animal*, 7, 1265-1273.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in french animal production. *PLoS ONE*, 11(12), e0167343.
- Wilfart A., Dusart L., Méda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Dronne Y., Garcia-Launay F., 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. *INRA Prod. Anim.*, 31, 289-306.



Effet des oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine sur la réduction de la mortinatalité des porcelets et sur leur qualité au sevrage

Amandine MASSIOT (1), Vincent BEGOS (2), Mathias DAVID (3), Jean-Charles BESNARD (4), Adèle DROUET (4), Mireille HUARD (5), Roberto BAREA (5)

(1) Deltavit, ZA du Bois de Teillay, 35150 Janzé, France

(2) Groupe CCPA, ZA du Bois de Teillay, 35150 Janzé, France

(3) SCEA la Tremblaie, La Tremblaie, 53260 Parné-sur-Roc, France

(4) Terrena, La Noëlle, BP 20199, 44155 Ancenis, France

(5) Novus Europe NV, Leuvensesteenweg 643, Boîte 15, 1930 Zaventem, Belgique

amassiot@ccpa.com

Effet des oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine sur la réduction de la mortinatalité des porcelets et sur leur qualité au sevrage

L'augmentation de la prolificité des truies pénalise la vitalité des porcelets et les formes d'oligo-éléments apportées aux truies peuvent influencer leurs performances et celles de leurs portées. Dans un élevage français de 1000 truies, un essai a été réalisé sur quatre bandes de 40 truies réparties entre deux traitements selon la source d'oligo-éléments reçue (80 truies par traitement) : 1) 105 ppm de Zn, 10 ppm de Cu, 40 ppm de Mn sous formes principalement inorganiques (INORG) et 2) 75 ppm de Zn, 10 ppm de Cu, 35 ppm de Mn sous forme chélatée à l'hydroxy analogue de méthionine (CHAM). L'objectif de l'essai était d'évaluer les effets des traitements sur les caractéristiques de la portée et sur les causes de mortinatalité des porcelets. La mortinatalité des porcelets était réduite pour le traitement CHAM par rapport à INORG (-21 % ; $P = 0,006$), principalement en raison de la diminution du nombre de porcelets mort-nés (-33 % ; $P < 0,01$). Les porcelets du traitement CHAM ont reçu moins de traitements pour des troubles digestifs (-32 % ; $P < 0,05$) et en tendance moins d'anti-inflammatoires (-42 % ; $P < 0,10$). Le nombre de porcelets sevrés était supérieur pour les truies recevant CHAM comparées aux truies recevant INORG (+0,6 ; $P < 0,05$). De plus, le pourcentage de porcelets avec un faible poids vif au sevrage ($< 6,5$ kg) tendait à être inférieur pour le traitement CHAM par rapport à INORG (-4,1 points ; $P < 0,10$). En conclusion, le traitement CHAM a permis de réduire la mortinatalité, de limiter les traitements individuels sur porcelets, et donc d'augmenter le nombre de porcelets sevrés par truie.

Effect of trace minerals chelated with a hydroxy analogue of methionine on the reduction in stillbirth of piglets and their quality at weaning

The increase in sow prolificacy decreases piglet vitality. The sources of the trace minerals used in sow feed can influence their performance and those of their litters. On a French commercial breeding farm of 1000 sows, a trial was conducted on four cohorts of 40 sows divided into two treatments depending on the source of trace minerals fed (80 sows per treatment): 1) 105 ppm Zn, 10 ppm Cu, and 40 ppm Mn, mainly from inorganic sources (INORG), and 2) 75 ppm Zn, 10 ppm Cu, and 35 ppm Mn trace minerals chelated with a hydroxy analogue of methionine sources (CHAM). The objective of this trial was to assess effects of the source of trace minerals on litter characteristics and on the causes of piglet mortality. Piglet stillbirth was significantly lower in CHAM compared to INORG (-21 % ; $P = 0.006$), mainly due to a decrease in the number stillborn (-33 % ; $P < 0.01$). In CHAM, the number of piglets treated for digestive causes was lower (-32 % ; $P < 0.05$) and the use of anti-inflammatory agents tended to be lower (-42 % ; $P < 0.10$). The number of weaned piglets was significantly higher for sows in CHAM than in INORG (+0.6 ; $P < 0.05$). Moreover, the percentage of piglets with a low weight at weaning (< 6.5 kg) tended to be lower in CHAM than in INORG (-4.1 percentage points ; $P < 0.10$). In conclusion, trace minerals chelated with a hydroxy analogue of methionine sources made it possible to reduce stillbirths, decrease individual treatments on piglets, and thus increase the number of weaned piglets per sow.

INTRODUCTION

La prolificité des truies est en forte augmentation depuis plusieurs décennies passant de 24,0 à 30,1 porcelets sevrés par truie par an en France entre 2008 et 2021 (rapport annuel AHDB-BPEX 2008-2021). Cela entraîne une réduction du poids moyen des porcelets à la naissance de 1,89 à 1,38 kg pour des portées de 9 à 16 porcelets, une hétérogénéité plus importante des porcelets, avec une augmentation du coefficient de variation de 14,9 à 23,7 % (Boulot *et al.*, 2008). En conséquence, ces auteurs observent une augmentation de la proportion de porcelets de faible poids à la naissance (< 1 kg) de 3 à 15 % et une augmentation de la mortalité des porcelets. Enfin, la réduction du poids de naissance a un impact négatif sur la croissance des porcelets en phase d'allaitement (Rezaei, 2010).

L'augmentation de la taille de portée implique une augmentation des besoins nutritionnels des truies pour assurer le développement fœtal, la production laitière, en plus des besoins d'entretien. Les oligo-éléments tels que le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn) sont essentiels pour la truie car ils sont impliqués dans de multiples processus physiologiques, tels que le développement embryonnaire, la survie du fœtus, ainsi que la reproduction et la croissance (Hostetler *et al.*, 2003).

Ces oligo-éléments sont généralement apportés dans l'aliment sous forme inorganique. Lorsqu'ils sont chélatés avec une molécule organique, leur biodisponibilité peut augmenter (Liu *et al.*, 2014) car leur structure chimique plus stable leur confère une meilleure protection dans le tube digestif, contre les antagonistes, leur permettant d'être mieux absorbés et métabolisés. L'utilisation de ces oligo-éléments sous forme organique permet d'améliorer les performances de reproduction des truies, en augmentant notamment le taux de fertilité, le nombre de porcelets nés vivants et le poids des porcelets à la naissance (Peters et Mahan, 2008). Cela permet également d'améliorer la santé des porcelets, en contribuant à réduire l'inflammation au niveau intestinal (Jang *et al.*, 2020).

L'objectif de cet essai était d'évaluer l'effet des oligo-éléments Cu, Zn et Mn, chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine, en comparaison à un apport sous forme inorganique, sur les performances des truies et de leurs portées, sur la mortalité des porcelets, et sur leur nombre et poids au sevrage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et conditions de logement

L'essai a été réalisé dans un élevage commercial naisseur de 1000 truies en Mayenne (France). La conduite était effectuée à la semaine, en 21 bandes de 40 truies. Les porcelets étaient sevrés à 4 semaines. Au total, quatre bandes de 40 truies croisées Large White x Landrace ont été réparties entre deux traitements de 80 truies, au sevrage précédant l'essai, en fonction de leur rang de portée et de leur épaisseur de lard dorsal (ELD). Après le sevrage le mercredi, les truies ont été transférées en verraterie où elles étaient logées individuellement. Elles ont été inséminées la semaine suivante. Après une échographie à 28 jours de gestation, les truies ont été transférées en salle de gestation où elles étaient logées collectivement en cases de sept truies. L'essai démarrait le jour du sevrage n-1 jusqu'au sevrage suivant. Une semaine avant la mise-bas, les truies ont été transférées en maternité où elles

étaient logées individuellement pendant 5 semaines, jusqu'au sevrage à 28 jours. Les mises-bas n'ont pas été déclenchées. Les adoptions des porcelets sous la mère ont été réalisées intra-bande de truies et intra-traitement gestation/lactation.

1.2. Aliments

La source d'oligo-éléments apportés dans les aliments en gestation et en lactation via le prémix dans l'aliment est présentée dans le tableau 1 :

1) Oligo-éléments sous forme majoritairement inorganiques (INORG) ; 2) Oligo-éléments sous forme chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine (CHAM ; MINTREX®, Novus International Inc., St Charles, MO, États-Unis).

Tableau 1 – Ajouts d'oligo-éléments dans les aliments selon le traitement

| Traitement | INORG ¹ | CHAM ¹ |
|--------------------------|--------------------|-------------------|
| Cuivre (sulfate), ppm | 8 | - |
| Cuivre (chélate), ppm | 2 | 10 |
| Zinc (oxyde), ppm | 100 | - |
| Zinc (chélate), ppm | 5 | 75 |
| Manganèse (oxyde), ppm | 35 | - |
| Manganèse (chélate), ppm | 5 | 35 |

¹INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine.

Les truies ont reçu plusieurs aliments pendant la gestation et la lactation (Tableau 2). Les quantités d'aliment distribuées pendant la gestation dépendaient du rang de portée, de l'état corporel et de la prolificité des truies. En lactation, deux courbes d'alimentation distinctes étaient appliquées pour les cochettes et les multipares. Les aliments étaient distribués par un système d'alimentation en soupe par vanne de six truies en verraterie, par vanne de sept truies en bâtiment gestante et individuellement en maternité. Les porcelets ont reçu un aliment sous la mère de 7 jours d'âge jusqu'au sevrage à 28 jours.

1.3. Mesures

1.3.1. Mesures sur les truies

Les quantités d'aliment distribuées étaient mesurées quotidiennement via le logiciel de gestion de l'alimentation en soupe. Les consommations moyennes journalières (CMJ) des truies en gestation et en lactation n'étaient pas significativement différentes entre les traitements CHAM et INORG. Une mesure de l'épaisseur de lard dorsal (ELD) a été réalisée avec un appareil à ultrasons AnyScan sur les truies au sevrage précédant l'essai, à l'entrée en maternité et au sevrage. Pour chaque truie, il y a eu un relevé du nombre de porcelets nés vivants, mort-nés, momifiés, écrasés, morts en cours de lactation, du nombre de porcelets présents le lundi après la mise-bas et au sevrage. Le nombre de porcelets nés totaux ne comprenait pas les porcelets momifiés.

1.3.2. Mesures sur les porcelets

Tous les porcelets des 160 truies en essai ont été identifiés individuellement au moyen d'une boucle à l'oreille, et pesés individuellement le jour ou le lendemain de leur naissance (selon l'heure de mise-bas des truies), le lundi après mise-bas (vers 5 jours d'âge en moyenne) et la veille du sevrage. Le gain moyen quotidien (GMQ) des porcelets a été calculé sur les porcelets vivants au sevrage. Le nombre de porcelets traités et la cause du traitement ont également été notés.

Un diagnostic de mortalité a été réalisé au laboratoire Artémis (Janzé, France) sur les 160 portées en essai. Tous les porcelets mort-nés, momifiés et morts dans les 48 premières heures après la naissance ont été collectés individuellement dans des sachets identifiés et conservés au réfrigérateur avant transport au laboratoire, où ils étaient ensuite

autopsiés pour déterminer la cause de la mortalité des porcelets.

Au moment de la collecte des porcelets morts, les salariés de l'élevage ont également déterminé la cause de mortalité. Ces informations ont été analysées dans cette étude.

Tableau 2 – Composition des aliments selon le stade du cycle de reproduction et le traitement

| Aliment | Gestation 1 ¹ | | Gestation 2 ² | | Péri-mise bas ³ | | Lactation ⁴ | |
|---|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | INORG ⁵ | CHAM ⁵ | INORG ⁵ | CHAM ⁵ | INORG ⁵ | CHAM ⁵ | INORG ⁵ | CHAM ⁵ |
| Composition, % | | | | | | | | |
| Blé | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,7 | 14,3 | 21,1 | 19,5 |
| Orge | 20,0 | 20,1 | 20,1 | 20,0 | 8,8 | 8,8 | 22,6 | 22,6 |
| Maïs | 19,0 | 19,0 | 11,2 | 9,7 | 15,0 | 15,0 | 12,1 | 12,1 |
| Triticale | 4,8 | 3,3 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| Avoine | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | - | - | - | - |
| Son | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 15,0 | 15,0 | - | - |
| Gluten feed de blé | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 10,0 | 9,9 | 10,0 | 9,9 |
| Tourteau de tournesol | 5,4 | 5,3 | 7,5 | 7,3 | 4,8 | 4,8 | 7,0 | 7,0 |
| Tourteau de colza | 2,1 | 2,1 | - | - | 8,0 | 8,0 | 1,2 | 1,2 |
| Tourteau de soja | - | - | - | - | 0,3 | 0,3 | 6,1 | 6,2 |
| Pulpe de betterave | 3,2 | 3,2 | 4,6 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 1,5 | 1,5 |
| Graine de Colza | - | - | - | - | 0,4 | 0,4 | 2,8 | 2,8 |
| Minéraux, sel, vitamines et acides aminés | 5,5 | 7,0 | 5,6 | 7,1 | 7,1 | 8,6 | 5,6 | 7,2 |
| Caractéristiques nutritionnelles | | | | | | | | |
| Matière sèche, % | 88,1 | 88,1 | 88,0 | 88,0 | 88,6 | 88,6 | 88,4 | 88,4 |
| Cendres, % | 6,4 | 6,4 | 7,1 | 7,1 | 7,5 | 7,5 | 5,3 | 5,3 |
| Matière grasse, % | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Protéine brute, % | 12,5 | 12,4 | 12,1 | 12,1 | 14,0 | 14,0 | 15,5 | 15,5 |
| Cellulose brute, % | 6,4 | 6,3 | 6,9 | 6,9 | 7,1 | 7,1 | 5,4 | 5,4 |
| Lysine digestible, % | 0,66 | 0,66 | 0,45 | 0,45 | 0,74 | 0,74 | 0,94 | 0,94 |
| Energie nette, MJ/kg | 9,3 | 9,3 | 8,9 | 8,9 | 9,1 | 9,1 | 10,0 | 10,0 |

¹Gestation 1 distribué du sevrage à 28 jours de gestation : 2,7 à 4,5 kg/truie/jour ; et de 85 à 104 jours de gestation (veille de l'entrée en maternité) : 3,5 à 4 kg/truie/jour. ²Gestation 2 distribué de 29 jours à 84 jours de gestation : 2,2 à 2,5 kg/truie/jour. ³Péri-mise-bas distribué de 105 jours de gestation (jour de l'entrée en maternité) au jeudi de la semaine mise-bas : 3,5 à 3,7 kg/truie/jour. ⁴Lactation distribué du vendredi de la semaine de mise-bas au sevrage à 28 jours : plafond de 7 à 8 kg/truie/jour. ⁵INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatisés à l'hydroxy analogue de méthionine.

1.4. Analyses statistiques

Les données sur truies et sur porcelets ont été analysées par une analyse de la variance (modèle linéaire général) avec le logiciel statistique R Studio (version 4.2.3). Les effets testés étaient le traitement alimentaire, la bande, la classe de rang de portée (rang 1 ; rangs 2 et 3 ; rangs 4 et plus) et les interactions d'ordre 2 avec le traitement alimentaire. Concernant les données sur porcelets, la truie était intégrée en facteur aléatoire pour tenir compte que les porcelets font partie d'une portée. Les données de comptage par portée des porcelets mort-nés et momifiés, qui ne suivaient pas une loi normale, ont été analysées par un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis. Les données de taux ont été analysées par un test du Chi². Les valeurs de $P < 0,05$ étaient considérées significatives.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances des truies

2.1.1. ELD des truies

Les ELD des truies au moment de l'insémination artificielle, à l'entrée en maternité et au sevrage, ainsi que le gain d'ELD en gestation et la perte d'ELD en lactation n'ont pas été influencés significativement par le traitement. Jang *et al.* (2020) et Ma *et al.* (2020) avaient observé une CMJ en lactation inchangée pour les deux sources d'oligo-éléments, ainsi que des ELD similaires à la mise-bas et au sevrage (Ma *et al.*, 2020).

2.1.2. Résultats par portée

Le taux de mise-bas des truies n'a pas été significativement impacté par le traitement (Tableau 3). A l'inverse, Barea *et al.* (2019) avaient observé une augmentation significative du taux de mise-bas : 87,4 vs. 86,5 %, respectivement pour les traitements CHAM et INORG, en accord avec Zhao *et al.* (2012) (86,8 vs. 84,5 %) sur des valeurs comparables, mais inférieures de 4 à 6 points à celles de notre étude.

Le nombre de porcelets nés totaux et nés vivants par portée n'étaient pas significativement différents entre les traitements,

en accord avec d'autres études avec CHAM (Jang *et al.*, 2020 ; Ma *et al.*, 2020), ou d'autres minéraux organiques (Tsai *et al.*, 2019 ; Villagómez-Estrada *et al.*, 2021). Cependant, plusieurs auteurs ont démontré un effet significatif sur le nombre de porcelets nés vivants en faveur d'oligo-éléments organiques sous forme de CHAM (Zhao *et al.*, 2012 ; Barea *et al.*, 2019) ou d'autres sources (Peters et Mahan, 2008). Ces trois études se sont déroulées sur quatre à six cycles consécutifs de gestation-lactation, avec des effectifs conséquents de 6 400 à 40 000 truies par traitement pour les deux premières. Néanmoins, la prolificité des truies dans leurs études était nettement inférieure à celle de notre essai : de 10,6 à 13,5 porcelets nés vivants selon les études, contre 17,3 à 17,5 dans notre essai. Le traitement n'a pas significativement impacté le nombre de porcelets présents par portée à mise-bas + 5 jours. Le nombre de porcelets sevrés par portée était supérieur ($P = 0,019$) pour le traitement CHAM comparé au traitement INORG : + 0,6 porcelet/portée. Ces résultats sont en accord avec ceux de

Barea *et al.* (2019) qui avaient obtenu le même écart significatif (12,1 vs. 11,5 porcelets sevrés, respectivement pour les traitements CHAM et INORG,) dans une étude réalisée en Espagne portant sur un total de 82 élevages commerciaux, et impliquant environ 124 000 truies. Close (2010) avait également observé un écart moyen significatif de + 0,52 porcelet sevré sur une série de 15 essais terrain dans plusieurs pays avec d'autres minéraux organiques. En accord avec ces observations, Zhao *et al.* (2012) avaient démontré que les oligo-éléments sous forme de CHAM avaient tendance à augmenter le nombre de porcelets sevrés ($P < 0,1$) par rapport à la forme inorganique. Dans l'étude de Barea *et al.* (2019), cela s'expliquait notamment par une réduction significative du nombre de porcelets mort-nés : - 41,4 % pour CHAM par rapport à INORG. Dans notre essai, le nombre de porcelets mort-nés par portée était numériquement inférieur pour CHAM par rapport à INORG (- 0,4 point), ainsi que le taux de mortalité mise-bas – sevrage (-2,9 points) mais les écarts n'étaient pas significativement différents.

Tableau 3 – Performances des truies avec les résultats par portée selon leur traitement

| | INORG ¹ | CHAM ¹ | ETR ² | P ³ |
|---|--------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Taux de mise-bas des truies, % ⁴ | 90,5 | 93,8 | Chi ² | 0,424 |
| Nombre de porcelets nés totaux / portée ⁴ | 18,8 | 18,6 | 3,0 | 0,448 |
| Nombre de porcelets nés vivants / portée ⁴ | 17,3 | 17,5 | 2,9 | 0,742 |
| Nombre de porcelets mort-nés / portée ^{4,5} | 1,5 | 1,1 | - | 0,423 |
| Nombre de porcelets momifiés / portée ^{4,5} | 0,4 | 0,5 | - | 0,922 |
| Nombre de porcelets sevrés / portée ⁴ | 12,7 | 13,3 | 1,5 | 0,019 |
| Taux de mortalité porcelets mise-bas – sevrage ⁴ , % | 20,2 | 17,3 | Chi ² | 0,820 |

¹INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine. ²ETR : écart-type résiduel. ³P-value de l'effet du traitement. ⁴Données par truie. ⁵Test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

2.2. Performances des porcelets

2.2.1. Croissance des porcelets

Le traitement n'a pas impacté significativement le poids moyen des porcelets à la naissance, à 5 jours d'âge, au sevrage et le gain moyen quotidien (GMQ) des porcelets entre 5 jours d'âge et sevrage (Tableau 4). Plusieurs auteurs, en accord avec notre étude, n'ont pas démontré d'effet significatif des oligo-éléments sous forme organique sur le poids de naissance moyen des porcelets, leur poids de sevrage et leur GMQ naissance-sevrage (Papadopoulos *et al.*, 2009 ; Tsai *et al.*, 2019 ; Ma *et al.*, 2020).

Dans leur étude sur l'impact de CHAM sur les modifications épigénétiques, Jang *et al.* (2020) avaient obtenu un poids de

sevrage moyen à 18 jours d'âge qui tendait à être supérieur pour CHAM (5,75 vs. 5,34 kg, $P = 0,098$). Ils ont démontré une diminution de l'expression du gène MRF4 qui régule négativement la croissance musculaire, ainsi qu'une augmentation de l'acétylation de l'histone H3K9, dans le *Longissimus dorsi* chez le porcelet à la naissance. Ainsi, l'apport de CHAM aux truies pendant leur gestation favoriserait la croissance des muscles squelettiques et leur développement chez les porcelets *in utero*. Cela concorde également avec l'étude de Peters et Mahan (2008) qui montre que le GMQ moyen naissance-sevrage à 17 jours tend à être supérieur pour les oligo-éléments sous forme organique, comparé à leur forme inorganique. Dans notre essai, le taux de porcelets de moins de 6,5 kg au sevrage tendait à être inférieur pour CHAM par rapport à INORG : - 4,1 points ($P = 0,05$), étayant l'hypothèse de Jang *et al.* (2020).

Tableau 4 – Performances des porcelets selon le traitement alimentaire appliqué à la truie

| | INORG ¹ | CHAM ¹ | ETR ² | P ³ |
|---|--------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Poids moyen à la naissance, kg | 1,35 | 1,37 | 0,32 | 0,782 |
| Poids moyen à 5 jours d'âge, kg | 2,04 | 1,97 | 0,27 | 0,205 |
| Poids moyen au sevrage, kg | 7,41 | 7,40 | 1,09 | 0,541 |
| GMQ moyen 5 jours – sevrage ⁴ , g/j | 248 | 250 | 44 | 0,926 |
| Proportion de porcelets de poids < 6,5 kg au sevrage, % | 32,3 | 28,2 | Chi ² | 0,052 |

¹INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine. ²ETR : écart-type résiduel. ³P-value de l'effet du traitement, à partir des données individuelles des porcelets. ⁴GMQ : gain moyen quotidien.

2.2.2. Mortinatalité

Dans notre étude, les principales causes de mortinatalité des porcelets, déterminées à l'élevage sont les suivantes : porcelets

mort-nés, chétifs, écrasés, momifiés et autres (Figure 1). Le taux de mortinatalité des porcelets dans les 48 heures après mise-bas était amélioré pour le traitement CHAM par rapport à

INORG : 14,9 vs. 18,8 % ($P = 0,006$). Le taux de porcelets mort-nés était réduit ($P = 0,003$) pour le traitement CHAM. Comme mentionné précédemment, dans l'étude de Barea *et al.* (2019), CHAM réduisait le nombre de porcelets mort-nés par rapport à d'autres sources d'oligo-éléments.

Le pourcentage de porcelets mort-nés sur nés totaux augmente avec la parité des truies. La réduction du taux de porcelets mort-nés pour le traitement CHAM est d'autant plus importante sur les truies de rang 4 et plus, qui ont un pourcentage de porcelets mort-nés supérieur aux truies plus jeunes. Selon l'étude de Mahan et Newton (1995), les réserves minérales des truies (Ca, P, Mg, K, Na, Zn et Cu) diminuent graduellement sur une période de trois mises-bas. Plusieurs auteurs ont démontré l'importance de la source d'oligoéléments sur la production des truies et sur leur longévité (Zhao *et al.*, 2012 ; Barea *et al.*, 2019 ; Hintz *et al.*, 2022), suggérant que l'apport en oligo-éléments CHAM chez les

truies plus âgées pourrait être suffisant pour couvrir les besoins de la progéniture et leurs besoins d'entretien.

Le pourcentage de porcelets morts car chétifs tendait à être inférieur ($P = 0,077$) pour le traitement CHAM par rapport à INORG. Selon Zhao *et al.* (2013), la supplémentation en CHAM chez les truies a augmenté le poids à la naissance des porcelets de 8 % par rapport aux oligo-éléments sous forme inorganique et réduit le pourcentage de porcelets de faible poids à la naissance ($\leq 1,1$ kg) de 7,2 %, en améliorant finalement l'uniformité de la portée. Bergstrom (2011) a, par ailleurs, démontré que le taux de mortalité avant le sevrage augmentait considérablement si le poids de naissance des porcelets était inférieur à 1,1 kg. Par conséquent, la réduction du pourcentage de porcelets de faible poids de naissance par CHAM pourrait avoir un impact économique significatif en réduisant les pertes de porcelets.

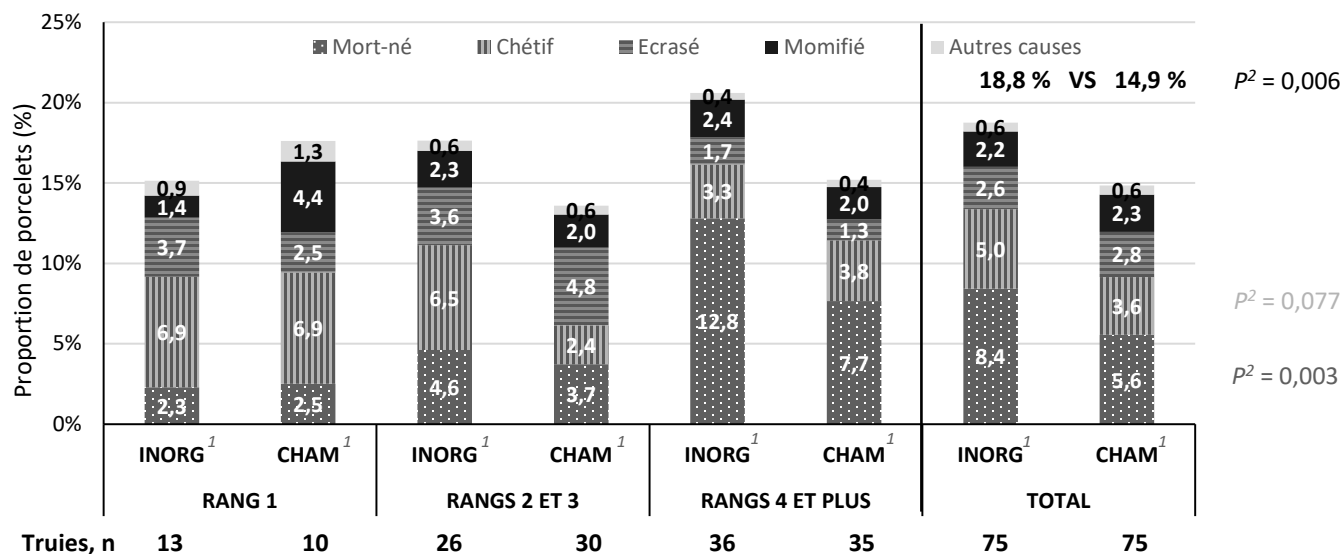


Figure 1 – Causes de mortalité³ déterminées à l'élevage selon le rang de portée des truies et leur traitement

¹INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine. ²P-value de l'effet du traitement test du Chi². ³Données individuelles porcelets : pourcentage de pertes sur nés totaux.

Conformément à ce qu'avaient identifié Pandolfi *et al.* (2018) dans leur analyse de diagnostics de mortinatalité réalisés dans 146 élevages, 84 % de la mortinatalité des porcelets étaient réparties entre six causes (Tableau 5) : mort en cours de part, non viable, momifié, infection *in utero*, écrasement et dépérissement. Le pourcentage de porcelets morts en cours de part était réduit ($P = 0,009$) pour le traitement CHAM par rapport à INORG.

2.2.3. Traitements sanitaires individuels sur porcelets

Le taux de porcelets traités individuellement pour des troubles digestifs était inférieur ($P = 0,033$) pour le traitement CHAM par rapport à INORG (Tableau 6). Ce constat est cohérent avec l'étude de Thomaz *et al.* (2015), ces auteurs ont observé significativement moins de diarrhées sur des porcelets en post-sevrage avec les oligo-éléments sous forme organique, comparés à leur forme inorganique. Le taux de porcelets traités individuellement avec un anti-inflammatoire tendait à être inférieur pour le traitement CHAM par rapport à INORG ($P = 0,07$). Ces observations sont conformes aux conclusions de Jang *et al.* (2020) sur la réduction des niveaux d'ARNm des gènes NF- κ B et TGF β 1 responsables de l'inflammation du jéjunum chez les porcelets au sevrage à 18 jours d'âge. Par conséquent, cet effet positif pourrait potentiellement permettre de réduire l'usage des anti-inflammatoires et des antidiarrhéiques chez les porcelets.

Tableau 5 – Causes de mortinatalité¹ déterminées à l'autopsie au laboratoire selon le traitement

| | INORG ² | CHAM ² | P ³ |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|
| Mort en cours de part, % | 5,2 | 3,2 | 0,009 |
| Porcelet non viable, % | 4,6 | 3,6 | 0,183 |
| Momifié, % | 1,7 | 1,7 | 0,950 |
| Infection <i>in utero</i> , % | 2,0 | 1,4 | 0,207 |
| Ecrasement, % | 1,1 | 1,3 | 0,691 |
| Dépérissement, % | 1,3 | 1,0 | 0,509 |
| Autres causes, % | 2,8 | 2,6 | 0,699 |
| Porcelets autopsiés, n | 265 | 206 | - |
| Porcelets nés totaux + momifiés, n | 1412 | 1387 | - |

¹Données individuelles des porcelets, issues du diagnostic mortinatalité : pourcentage de pertes sur nés totaux + momifiés. ²INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine. ³P-value de l'effet du traitement : test du Chi².

Tableau 6 – Taux de porcelets ayant reçu un traitement sanitaire individuel par cause selon leur traitement

| Taux de porcelets traités individuellement, % | INORG ¹ | CHAM ¹ | P ² |
|---|--------------------|-------------------|----------------|
| Trouble digestif | 6,52 | 4,45 | 0,033 |
| Trouble inflammatoire | 2,74 | 1,60 | 0,067 |

¹INORG : sources d'oligo-éléments inorganiques, CHAM : oligo-éléments chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine. ²P-value de l'effet du traitement : test du Chi².

CONCLUSION

La sélection génétique des truies a considérablement augmenté leur prolificité, mais avec des conséquences sur la qualité des porcelets à la naissance : réduction du poids moyen de naissance, augmentation de l'hétérogénéité du poids intra-portée, de la proportion de porcelets de faible poids à la naissance ($\leq 1,1$ kg) et de la mortalité. Cette étude a montré que

l'apport des oligo-éléments Cu, Zn et Mn chélatés à l'hydroxy analogue de méthionine dans l'alimentation des truies gestantes et allaitantes, a permis d'augmenter le nombre de porcelets sevrés, en réduisant la mortalité des porcelets, par rapport à un apport sous forme inorganique. La proportion des porcelets de moins de 6,5 kg au sevrage tendait à être réduite, ainsi que le nombre de porcelets traités individuellement, notamment pour trouble digestif. L'utilisation d'oligo-éléments sous forme de chélatés d'hydroxy analogue de méthionine permet de réduire l'apport des oligo-éléments dans les aliments, tout en améliorant l'efficacité de la production des truies et leur progéniture, réduisant ainsi les rejets dans l'environnement.

REMERCIEMENTS

Merci à tous les salariés de la SCEA la Tremblaye qui ont participé au bon déroulement de cette étude, ainsi qu'à Juliette Masson qui a participé à la phase maternité de l'étude, au cours de son stage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHDB-BPEX Cost of production in selected countries: <https://ahdb.org.uk/cost-of-production-in-selected-countries>
- Barea R., Bourdonnais A., Yagüe A.P., 2019. Utilisation d'oligo-éléments organiques dans l'alimentation des truies : effets sur la longévité et les performances des portées. Journées Rech. Porcine, 51, 167–168.
- Bergstrom J.R., 2011. Effects of birth weight, finishing feeder design, and dietary astaxanthin and ractopamine HCl on the growth, carcass, and pork quality characteristics of pigs; and meta-analyses to improve the prediction of pork fat quality. PhD diss., Kansas State University, Manhattan, K.S., 216 pages.
- Boulot S., Quesnel H., Quiniou N., 2008. Management of high prolificacy in French herds: can we alleviate side effects on piglet survival. Advances in Pork Prod., 19, 213-220.
- Close W.H., 2010. Mineral nutrition of hyper prolific sow. In: Proc of the Memorias del X Congreso Nacional de Producción Porcina, Mendoza, Argentina, 135-143.
- Hintz A., Lawrence B., Collins M., Heiwy C., 2022. Two-year commercial demonstration of methionine hydroxy-analogue chelated zinc, copper, and manganese (MINTREX®) on sow reproductive and production performance in a highly prolific sow farm. In: Proc. of the Annual Meeting of the American Association of Swine Veterinarians, 324–325.
- Hostetler C.E., Kincaid R.L., Miranda M.A., 2003. The role of essential trace elements in embryonic and fetal development in livestock. Vet. J., 166, 125-139.
- Jang K.B., Kim J.H., Purvis J.M., Chen J., Ren P., Vazquez-Anon M., Kim S.W., 2020. Effects of mineral methionine hydroxy analog chelate in sow diets on epigenetic modification and growth of progeny. J. Anim. Sci., 98, 1–12.
- Liu Y., Ma Y. L., Zhao J. M., Vazquez-Añón M., Stein H.H., 2014. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. J. Anim. Sci., 92, 3407–3415.
- Ma L., He J., Lu X., Qiu J., Hou C., Liu B., Lin G., Yu D., 2020. Effects of low-dose organic trace minerals on performance, mineral status, and fecal mineral excretion of sows. Asian-Australas. J. Anim. Sci., 33, 132–138.
- Mahan D.C., Newton E.A., 1995. Effect of initial breeding weight on macro- and micromineral composition over a three-parity period using a high-producing sow genotype. J. Anim. Sci., 73, 151-158.
- Pandolfi F., Edwards S.A., Robert F., Kyriazakis I., 2018. Identification des profils d'élevage en fonction des différentes causes de mortalité. Journées Rech. Porcine, 50, 293-298.
- Papadopoulos G.A., Maes D.G.D., Janssens G.P.J., 2009. Mineral accretion in nursing piglets in relation to sow performance and mineral source. Vet Med-Czech., 54, 41-46.
- Peters J.C., Mahan D.C., 2008. Effects of dietary organic and inorganic trace mineral levels on sow reproductive performances and daily mineral intakes over six parities. J. Anim. Sci., 86, 2247-2260.
- Rezaei R., 2010. Nutritional modulation of piglet growth and survival. MS Thesis. Texas A&M Univ., College Station, T.X., 91 pages.
- Thomaz M.C., Watanabe P.H., Pascoal L.A.F., Assis M.M., Ruiz U.S., Amorim A.B., Silva S.Z., Almeida V.V., Melo G.M.P., Robles-Huaynate R.A., 2015. Inorganic and organic trace mineral supplementation in weanling pig diets. Anais Da Academia Brasileira De Ciências, 87, 1071–1081.
- Tsai T., Apgar G.A., Estienne M.J., Wilson M., Maxwell C.V., 2019. A cooperative study assessing reproductive performance in sows fed diets supplemented with organic or inorganic sources of trace minerals. Transl. Anim. Sci., 4, 59-66.
- Villagómez-Estrada S., Pérez J.F., van Kuijk S., Melo-Durán D., Forouzandeh A., Gonzalez-Solè F., D'Angelo M., Pérez-Cano F.J., Solà-Oriol D., 2021. Strategies of inorganic and organic trace mineral supplementation in gestating hyperprolific sow diets: effects on the offspring performance and fetal programming. J. Anim. Sci., 99, 1-14.
- Zhao J., Harrell R., Greiner L., Allee G., Knight C., 2012. Chelated trace minerals support sow reproduction. Feedstuffs, 84, 26-28.
- Zhao J., Harrell R.J., Alee G., Greiner L., 2013. Chelated trace minerals support sow progeny. Feedstuffs, 85, 16-18.



La réponse à la supplémentation en L-leucine pendant la phase de post-sevrage diffère selon le poids de naissance des porcelets

Sam MILLET (1), Carolien DE CUYPER (1), Eline KOWALSKI (1), William LAMBERT (2), Aude SIMONGIOVANNI (2),
Tristan CHALVON-DEMERSAY (2)

(1) ILVO, Animal Sciences Unit, Scheldeweg 68, 9090 Melle, Belgique

(2) METEX ANIMAL NUTRITION, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

aude.simonqiovanni@metex-noovistaqo.com

La réponse à la supplémentation en L-leucine pendant la phase de post-sevrage diffère selon le poids de naissance des porcelets

Cette étude visait à étudier la réponse à la leucine pendant la phase de post-sevrage chez des porcelets présentant différents poids de naissance. Nous avons émis l'hypothèse que la leucine améliore les performances des porcelets, notamment lorsqu'ils présentent un retard de croissance. Dans cet essai, 180 porcelets sevrés à 28 j ont été répartis entre six traitements pendant cinq semaines selon un plan factoriel 2×3 : deux classes de poids vif (PV, selon le poids de naissance) et trois niveaux de Leucine/Lysine digestible (LEU, déficitaire : 85 %, au besoin : 100 % et en excès : 115 %). Les indicateurs de performance (croissance, ingéré alimentaire et indice de consommation (IC)) ont été suivis et analysés statistiquement avec des modèles mixtes incluant PV, LEU et leur interaction comme facteurs fixes (la case était l'unité expérimentale). L'interaction PV×LEU était significative pour le poids final, la croissance et l'ingéré ($P < 0,01$). L'IC n'était pas affecté par l'interaction, ni par PV ou LEU. Chez les porcelets légers, ceux nourris à 100 % LEU présentaient une augmentation significative de leur ingéré, croissance et poids final par rapport à ceux nourris à 85 % LEU ($P < 0,05$) et présentaient une croissance, un ingéré et un IC non significativement différents des porcelets lourds nourris avec le même niveau de LEU ($P > 0,05$). Chez les porcelets lourds, ceux nourris à 115 % LEU présentaient les meilleures performances avec une augmentation numérique ou significative de leur ingéré, croissance et poids final par rapport aux autres traitements. En conclusion, le traitement LEU à 85 % apparaît bien déficitaire pour tous les porcelets. Les porcelets lourds ont répondu positivement à une supplémentation au-delà du besoin admis à 100 % LEU, alors que pour les légers, ce niveau semble optimal. Dans les deux cas, la réponse à la leucine semble s'expliquer par l'ingéré alimentaire sans dégradation de l'IC.

Piglet response to L-leucine supply during the post-weaning phase depends on piglet birth weight

This trial aimed to investigate the piglet response to leucine during the post-weaning phase as a function of piglet birth weight. The hypothesis was that leucine improves piglet performance, especially for those with a low growth rate and light body weight. In this trial, 180 piglets weaned at 28d of age were allocated to six treatments for five weeks in a 2×3 factorial design: two body weight categories (BW) depending on the birth weight and three levels of digestible leucine/lysine in the diet (LEU) (deficient: 85%, at the requirement: 100% and in excess: 115%). The performance traits (growth rate, feed intake and feed conversion ratio (FCR)) were recorded and then statistically analysed with mixed models, using BW, LEU and their interaction as fixed factors (the experimental unit was the pen). The BW×LEU interaction had a significant effect on final body weight, growth rate and feed intake ($P < 0.01$). The FCR was not influenced by the interaction, BW or LEU. In the group of light piglets, those fed 100% LEU had significantly higher feed intake, growth rate and final body weight than those fed 85% LEU ($P < 0.05$) and no significant difference in feed intake, growth rate or FCR compared to the heavy piglets fed the same level of LEU ($P > 0.05$). In the group of heavy piglets, those fed 115% LEU performed best, with a numerical or significant difference in feed intake, growth rate and final body weight compared to the two other LEU treatments. In conclusion, the treatments with 85% LEU appeared deficient for all piglets. The heavy piglets responded positively beyond the level considered to be 100% of the requirement, while for the light piglets, this level seemed optimal. In both cases, the response to leucine seems to be driven by the feed intake, with no effect on the FCR.

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années, la sélection des truies a été effectuée notamment sur le critère de la prolificité. Cette haute prolificité peut être associée à une capacité utéroplacentaire insuffisante responsable de l'augmentation du nombre de petits porcelets. La diminution du poids vif (PV) moyen des porcelets à la naissance et l'augmentation de sa variabilité dans la portée ont de nombreuses conséquences, avant et après le sevrage, sur la conduite d'élevage (Quiniou *et al.*, 2002). Sous la truie, les petits porcelets ont du mal à s'imposer pour atteindre les bonnes tétines et boivent donc souvent moins de colostrum et lait que les porcelets plus lourds. Après le sevrage, les petits porcelets grandissent moins vite que leurs congénères et ces différences perdurent jusqu'à l'abattage, complexifiant la gestion des départs à l'abattoir et provoquant des manques à gagner. De plus, durant la phase de post-sevrage, tous les porcelets de même âge recevant le même aliment, une hétérogénéité de vitesse de croissance empêche un apport optimisé de nutriments permettant à la fois de couvrir les besoins des animaux, et de réduire l'impact environnemental de la production. Réduire l'hétérogénéité de performances de croissance des porcelets après le sevrage est donc un enjeu majeur pour améliorer la gestion et la rentabilité des élevages.

Des études ont montré que les acides aminés à chaîne ramifiée (AACR) peuvent contribuer à réduire les écarts de PV entre petits et gros porcelets. En effet, Chalvon-Demersay *et al.* (2020) ont testé trois niveaux alimentaires d'AACR à 100 %, 150 % et 200 % du besoin sur des porcelets sevrés à 21 jours et divisés en deux groupes selon leur PV au sevrage : légers ($5,39 \pm 0,04$ kg) vs. lourds ($6,84 \pm 0,03$ kg). Cinq semaines après le sevrage, il a été démontré un écart de PV entre porcelets légers et lourds, qui se réduisait de 3,22 kg pour les animaux ayant reçu un aliment à 100 % AACR, à 0,97 kg pour les animaux ayant reçu un aliment à 200 % AACR.

Parmi les AACR, la leucine (Leu) est impliquée dans le contrôle de la synthèse protéique (Duan *et al.*, 2016) : elle agit comme un acide aminé (AA) signal anabolique, notamment *via* la voie mTOR, responsable de l'initiation de la synthèse protéique. Une supplémentation en Leu a ainsi été testée sur des porcelets à retard de croissance intra-utérin (RCIU), sevrés à 14 jours (Xu *et al.*, 2016 ; Zhang *et al.*, 2019). Ces deux études ont démontré un effet bénéfique de la supplémentation en Leu sur la croissance des porcelets avec une réponse plus forte pour les porcelets RCIU, comparés à des porcelets de poids normal.

Concernant des porcelets à faible PV mais non RCIU, une étude en dose-réponse à la Leu pendant la phase de post-sevrage avait mis en évidence une différence métabolique entre des porcelets « légers » et « lourds » (Bertocchi *et al.*, 2019). Chez les porcelets légers, la concentration plasmatique en Leu atteignait un plateau lorsque le niveau de Leu alimentaire atteignait 100 % du besoin admis, alors qu'elle continuait d'augmenter avec le niveau alimentaire chez les porcelets lourds. Dans cette étude, les catégories de PV avaient été créées *a posteriori*, posant ainsi la question d'une réponse différente au niveau alimentaire de Leu reçu pendant la phase de post-sevrage, selon le PV des porcelets.

Notre étude visait donc à étudier la réponse au niveau de Leu alimentaire pendant la phase de post-sevrage chez des porcelets présentant différents PV de naissance. Nous avons émis l'hypothèse que la Leu améliore les performances des porcelets avec une réponse plus forte chez les porcelets plus légers.

1. MATERIEL ET METHODES

Cet essai fait partie d'un projet qui a reçu un financement du programme de recherche et innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne, sous le numéro d'agrément No 101004770.

1.1. Animaux et logement

L'essai s'est déroulé à la station d'ILVO-Animal Sciences du 22/12/2022 au 16/02/2023 et a porté sur deux bandes, étudiées chacune sur une période expérimentale de 35 jours. Les porcelets étaient issus du croisement entre un verrat Piétrain et une truie hybride (génétique RA-SE). Au total, 180 animaux (90 par bande) ont été utilisés pour l'essai.

Pour sélectionner les porcelets à inclure dans l'essai, chaque portée a été divisée en trois groupes en fonction du PV de naissance des porcelets : léger, moyen et lourd, avec un nombre égal de porcelets légers et lourds. Les porcelets pesant moins de 1 kg n'ont pas été pris en compte et la catégorie de PV moyen a été écartée. Ainsi au sevrage (à 4 semaines d'âge), les porcelets des catégories « légers » et « lourds » ont été répartis dans des cases selon leur catégorie de PV, leur sexe (femelles et mâles castrés séparés), leur portée d'origine et leur PV à 3 semaines d'âge.

Tous les porcelets ont reçu une étiquette auriculaire avec un numéro Sanitel unique à l'âge de 3 semaines pour une identification individuelle.

Sur la période expérimentale (4 à 9 semaines d'âge), un plan factoriel 2×3 a été utilisé avec deux classes de PV et trois niveaux alimentaires de Leu, ce qui a donné lieu à six traitements. Les animaux ont été logés en groupe (cinq porcelets par case, non mixtes : deux cases de mâles castrés et une case de femelles par bande et par traitement).

Les porcs étaient logés dans des cases ($1,8 \times 1,0$ m) avec un sol en caillebotis partiel. Chaque case était équipée d'une mangeoire et d'un abreuvoir à tétine. Les aliments et l'eau fraîche étaient offerts à volonté pendant toute la période expérimentale. La température dans les salles était réglée entre 26°C au début et 22°C à la fin de l'essai. La température ambiante et l'humidité relative ont été enregistrées quotidiennement. Le programme d'éclairage était le suivant : lumière naturelle du jour et lumière artificielle supplémentaire entre 7h30 et 15h30.

1.2. Aliments expérimentaux et alimentation

Trois régimes ont été formulés. Chaque régime différait par son niveau de Leu alimentaire (Tableau 1) :

1. Régime déficitaire en Leu : formulé à 85 % de Leu/Lys digestible iléale standardisée (DIS), correspondant aux traitements T1 (porcelets légers) et T4 (porcelets lourds)
2. Régime équilibré en Leu : formulé à 100 % Leu/Lys DIS, correspondant aux traitements T2 (porcelets légers) et T5 (porcelets lourds)
3. Régime excédentaire en Leu : formulé à 115 % Leu/Lys DIS, correspondant aux traitements T3 (porcelets légers) et T6 (porcelets lourds)

Les animaux ont reçu le même traitement tout au long de l'essai. Un programme d'alimentation en deux phases a été utilisé avec un régime 1^{er} âge entre 4 et 6 semaines d'âge et un régime 2^{ème} âge entre 7 et 9 semaines d'âge (Tableau 1).

Le régime de base (T1/T4) a d'abord été formulé puis de la L-Leu a été ajoutée pour obtenir le niveau désiré de Leu/Lys DIS pour

réaliser les régimes tests (T2/T6 et T3/T5). Les régimes ont été formulés et produits par ILVO, en fonction des besoins nutritionnels des porcelets (CVB, 2007). Les AACR partageant la même voie catabolique, les interactions doivent être prises en compte afin d'adapter les niveaux de Val et Ile en fonction du niveau de Leu (Zouaoui *et al.*, 2020). En particulier, le niveau de Leu/Lys DIS à 115 % a été choisi pour ne pas avoir d'interaction négative avec les autres AACR (Wessels *et al.*, 2016). Avant la

formulation, l'analyse proximale des matières premières a été réalisée. Les matières premières ont été mélangées à l'aide d'un mélangeur à ruban pendant au moins 30 minutes. Tous les régimes étaient granulés. Par traitement alimentaire et phase d'alimentation, un échantillon représentatif de l'aliment a été prélevé pour les analyses proximales et d'acides aminés. Les analyses chimiques ont confirmé les teneurs nutritionnelles telles que formulées.

Tableau 1 – Composition des aliments expérimentaux

| Traitements ¹ | T1/T4 | | T2/T5 | | T3/T6 | |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | 1 ^{er} âge | 2 ^{ème} âge | 1 ^{er} âge | 2 ^{ème} âge | 1 ^{er} âge | 2 ^{ème} âge |
| Ingrédients, % | | | | | | |
| Orge | 28,5 | 35,6 | 28,5 | 35,6 | 28,5 | 35,6 |
| Blé | 28,0 | 28,0 | 27,8 | 27,8 | 27,6 | 27,6 |
| Soja toasté | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| Maïs | 2,89 | 0,20 | 2,89 | 0,20 | 2,89 | 0,20 |
| Tourteau de soja | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 | 9,0 |
| Mélasses de canne | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Prémix ³ | 9,0 | 3,0 | 9,0 | 3,0 | 9,0 | 3,0 |
| Gluten de blé | 0,926 | 1,734 | 0,926 | 1,734 | 0,926 | 1,734 |
| Phosphate monocalcique | 0,537 | 0,648 | 0,537 | 0,648 | 0,537 | 0,648 |
| Carbonate de calcium | 0,785 | 0,881 | 0,785 | 0,881 | 0,785 | 0,881 |
| Sel | 0,465 | 0,554 | 0,465 | 0,554 | 0,465 | 0,554 |
| Huile de soja | 0,165 | 0,683 | 0,165 | 0,683 | 0,165 | 0,683 |
| L-Lysine HCl | 0,617 | 0,652 | 0,617 | 0,652 | 0,617 | 0,652 |
| L-Thréonine | 0,267 | 0,275 | 0,267 | 0,275 | 0,267 | 0,275 |
| DL-Méthionine | 0,271 | 0,265 | 0,271 | 0,265 | 0,271 | 0,265 |
| L-Valine | - | 0,134 | - | 0,134 | - | 0,134 |
| L-Leucine | - | - | 0,176 | 0,180 | 0,351 | 0,360 |
| L-Tryptophane | 0,076 | 0,077 | 0,076 | 0,077 | 0,076 | 0,077 |
| L-Isoleucine/L-Valine (50/50) | 0,403 | 0,126 | 0,403 | 0,126 | 0,403 | 0,126 |
| L-Histidine HCl | 0,046 | 0,044 | 0,046 | 0,044 | 0,046 | 0,044 |
| Phytase, 1000 FYT/g | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Composition nutritionnelle | | | | | | |
| Matières sèches, % | 89,5 | 89,2 | 89,5 | 89,2 | 89,5 | 89,2 |
| Matières azotées totales, % | 17,5 | 18,0 | 17,6 | 18,1 | 17,7 | 18,2 |
| Lys DIS ⁴ , % | 1,15 | 1,18 | 1,15 | 1,18 | 1,15 | 1,18 |
| Thr/Lys DIS, % | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Trp/Lys DIS, % | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| (Met+Cys)/Lys DIS, % | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Val/Lys DIS, % | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| Ile/Lys DIS, % | 64 | 53 | 64 | 53 | 64 | 53 |
| Leu/Lys DIS, % | 85 | 85 | 100 | 100 | 115 | 115 |
| His/Lys DIS, % | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| (Phe+Tyr)/Lys DIS, % | 99 | 100 | 99 | 100 | 99 | 100 |
| Energie Nette, MJ/kg | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 | 10,1 |

¹Les traitements T1, T2 et T3 correspondent aux porcelets « légers » et les traitements T4, T5 et T6, aux porcelets « lourds ».

²L'aliment 1^{er} âge est distribué de 4 (sevrage) à 6 semaines d'âge et l'aliment 2^{ème} âge de 7 à 9 semaines d'âge.

³Le prémix 1^{er} âge contient 84 % de produits lactés et 16 % de prémix vitaminique et minéral. Le prémix 2^{ème} âge contient 84 % de produits lactés et 20 % de prémix vitaminique et minéral. Chaque prémix apporte les quantités suivantes par kg d'aliment : 15 000 IU vitamine A, 2 000 IU vitamine D3, 100 mg vitamine E, 10 mg vitamine K, 3 mg vitamine B1, 10 mg vitamine B2, 6 mg vitamine B6, 0,04 mg vitamine B12, 100 mg vitamine C, 35 mg niacine, 326 mg choline, 3,5 mg acide folique, 0,30 mg biotine, 295 mg Ca, 503 mg P, 168 mg Mg, 591 mg Na, 1095 mg Cl, 2016 mg K, 205 mg S, 100 mg Fe, 150 mg Cu, 60 mg Mn, 100 mg Zn, 2 mg I, and 0,4 mg Se.

⁴DIS = digestibilité iléale standardisée.

1.3. Mesures et enregistrements

Les porcelets ont été pesés individuellement à la naissance afin de créer les catégories de poids, ainsi qu'à 3 (mise en lot), 4 (sevrage) et 9 semaines d'âge. Le gain moyen quotidien (GMQ) a été calculé pour la période complète de post-sevrage (4 à 9 semaines d'âge). Les quantités d'aliment distribuées ainsi que les restes ont été pesés quotidiennement par case pour calculer la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) sur cette même période.

Chaque traitement, maladie et décès a été enregistré avec précision. Si un porcelet était retiré de l'essai (décès ou maladie), sa consommation d'aliment était soustraite à la consommation totale de la case en considérant la consommation moyenne par animal de la case, sauf si ce porc avait cessé de croître (le porcelet était pesé à sa sortie afin de bien prendre en compte le PV des animaux présents pour le calcul du GMQ et de l'IC).

La consistance fécale a été évaluée pour chaque case deux fois par semaine (le lundi et le jeudi) entre le 4^{ème} (J4) et le 35^{ème} (J35) jour après le sevrage, à l'aide d'une échelle visuelle : 0 = selles dures et sèches, 20 = normales, 40 = légèrement moins fermes, 60 = de consistance semblable à un yaourt, 80 = selles molles, parfois jaunes, à 100 = diarrhée aqueuse. Les scores de 60 et plus étaient considérés comme problématiques (diarrhée).

1.4. Calculs et analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée avec les procédures « lme4 » et « emmeans » du logiciel R (R Core Team, 2022). La case a été considérée comme l'unité expérimentale.

Pour analyser les performances de croissance, des modèles mixtes linéaires ont été testés avec le régime alimentaire, la catégorie de PV, leur interaction et le sexe comme effets fixes et la bande comme effet aléatoire. Pour analyser les scores de consistance fécale, un modèle longitudinal avec le score de consistance fécale a été ajusté avec le régime alimentaire et la catégorie de PV ainsi que leur interaction et le sexe comme effets fixes et la bande comme effet aléatoire. Les interactions non significatives ($P > 0,1$) ont été exclues du modèle final. Si l'effet du traitement était significatif ($P < 0,05$), les différences entre les traitements ont été testées à l'aide des tests *post-hoc* de Tukey.

Pour les critères, CMJ, GMQ et IC, les valeurs aberrantes potentielles ont été identifiées par représentation graphique avec des boîtes à moustache (procédure « boxplot » de R). Une valeur était suspectée comme aberrante si son écart à la médiane était supérieur à 2 fois l'intervalle interquartile. Si une raison pour la présence de la valeur aberrante était trouvée (par exemple une maladie), cette valeur n'était pas conservée dans l'ensemble de données. Si aucune raison ne pouvait être donnée, une analyse de sensibilité était réalisée avec et sans la valeur aberrante. Finalement, une seule case a été considérée comme aberrante car les performances étaient anormalement faibles (voir partie 2.).

Tableau 2 – Effet du niveau de Leucine/Lysine digestible iléal standardisé (Leu/Lys DIS) et de la catégorie de poids vif (PV) sur les performances de porcelets en phase post-sevrage (4 à 9 semaines d'âge)¹

| Traitement | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | ETR | Valeur de P | | |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------|-------------|--------|----------|
| | Porcelets légers | | | Porcelets lourds | | | | PV | Leu | PV x Leu |
| Catégorie PV | | | | | | | | | | |
| Leu/Lys DIS, % | 85 | 100 | 115 | 85 | 100 | 115 | | | | |
| PV naissance, kg | 1,31 | 1,35 | 1,29 | 1,90 | 1,85 | 1,80 | 0,09 | <0,001 | 0,23 | 0,28 |
| PV initial, kg | 7,00 | 7,30 | 7,06 | 8,91 | 9,07 | 8,95 | 0,28 | <0,001 | 0,16 | 0,86 |
| PV final, kg | 18,3 ^a | 20,7 ^{bc} | 19,3 ^{ab} | 22,1 ^{cd} | 22,6 ^{de} | 24,0 ^e | 1,0 | <0,001 | 0,02 | 0,007 |
| CMJ, g/j | 405 ^a | 488 ^{bc} | 444 ^{ab} | 500 ^c | 493 ^{bc} | 570 ^d | 31 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| GMQ, g/j | 321 ^a | 382 ^b | 346 ^{ab} | 378 ^b | 387 ^{bc} | 430 ^c | 25 | 0,002 | 0,004 | 0,004 |
| IC | 1,26 | 1,28 | 1,28 | 1,32 | 1,27 | 1,33 | 0,05 | 0,07 | 0,43 | 0,24 |

¹Les valeurs de P des modèles mixtes linéaires sont pour les effets fixes de la catégorie de PV, du régime alimentaire (Leu), et leur interaction. Sur une même ligne, des exposants différents traduisent des écarts significatifs ($P < 0,05$) entre les régimes alimentaires d'après les tests *post-hoc* de Tukey. ETR : écart-type résiduel, PV : poids vif, CMJ : consommation moyenne journalière, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de consommation.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Commentaires généraux sur le déroulé de l'essai

Trois porcelets ont été traités et trois porcelets ont été éliminés de l'essai (un est mort et deux étaient malades). Les données d'un porcelet supplémentaire (T1) ont été supprimées de l'analyse car le porcelet a arrêté de croître, ce qui a affecté de manière significative les performances moyennes de la case. Tous ces porcelets étaient dans la catégorie de PV « légers ».

En moyenne, les PV, CMJ, GMQ et IC obtenus lors de cet essai correspondent à une croissance normale des animaux dans tous les traitements. Seule une case chez les porcs lourds recevant

115 % de Leu/Lys DIS (T6) a été considérée aberrante. Aucune raison claire pour la faible consommation alimentaire et la faible croissance dans cette case n'a pu être donnée et, par conséquent, les analyses statistiques ont été réalisées avec et sans cette case. Les résultats présentés ici sont ceux obtenus sans la case aberrante.

Le score de consistance fécale était inférieur à 60 pour toutes les cases et jours de mesure, indiquant aucune diarrhée pendant toute la période de l'essai (données non présentées). Aucun effet significatif n'a été observé sauf une interaction entre le régime alimentaire et la catégorie de PV à J14 post-sevrage ($P = 0,028$) : les porcelets du groupe légers présentaient un score de consistance fécale significativement plus faible pour

le régime à 115 % Leu/Lys DIS comparé au régime à 85 %, le régime à 100 % étant intermédiaire ; les porcelets lourds, quant à eux ne présentaient aucune différence significative entre traitements alimentaires.

2.2. Effet du niveau de Leu alimentaire sur les performances

Les résultats de l'effet du niveau Leu/Lys DIS sur les performances des porcelets sont présentés dans le tableau 2.

Une interaction significative entre la catégorie de PV et le régime alimentaire a été observée pour la CMJ entre 4 et 9 semaines d'âge. Les porcelets légers nourris avec le régime à 100 % Leu/Lys DIS présentaient une CMJ plus élevée que ceux nourris avec le régime à 85 % Leu/Lys DIS, le groupe recevant 115 % était intermédiaire. Chez les porcelets lourds, une CMJ significativement plus élevée a été observée pour les porcs nourris avec 115 % Leu/Lys DIS par rapport aux deux autres groupes.

Une interaction significative entre la catégorie de PV et le régime alimentaire a également été observée pour le GMQ entre 4 et 9 semaines d'âge. Chez les porcelets légers, le régime alimentaire contenant 85 % de Leu/Lys DIS a conduit à un GMQ inférieur par rapport aux porcs recevant 100 % de Leu/Lys DIS, le groupe recevant 115 % Leu/Lys DIS était intermédiaire. Pour les porcelets lourds, un GMQ significativement plus élevé a été observé pour les porcelets nourris avec le régime à 115 % par rapport aux deux autres régimes.

Concernant l'IC, aucune interaction entre la catégorie de PV et le régime alimentaire n'a été observée. L'analyse des effets principaux révèle un IC qui tend à être plus élevé pour les porcelets lourds que pour les porcelets légers ($1,31 \pm 0,06$ vs. $1,28 \pm 0,04$; $P = 0,07$).

Dans notre étude, les porcelets légers présentaient une réponse plus forte à la Leu que les porcelets lourds lorsque le niveau passait de déficitaire à adéquat (i.e., de 85 à 100 % Lys DIS). Ces résultats sont à rapprocher des études de Xu *et al.* (2016) et Zhang *et al.* (2019) dans lesquelles il est rapporté que la performance de porcelets présentant un retard de croissance bénéficie d'une supplémentation en Leu de manière plus conséquente que des porcelets de poids normal. Han *et al.* (2008) ont rapporté que la Leu était capable de stimuler la synthèse protéique dans des cellules satellites myogéniques isolées de porcs notamment en augmentant la phosphorylation de mTOR et de ses cibles. Xu *et al.* (2016) ont effectivement démontré une augmentation de la phosphorylation de mTOR chez les porcelets RCIU supplémentés en Leu. D'après ces auteurs, il est possible que les porcelets plus légers aient une sensibilité accrue de la voie mTOR à la Leu, ce qui pourrait expliquer une partie de nos résultats.

Ce qui est surprenant dans notre étude, c'est que les porcelets lourds ont bénéficié d'un apport de Leu supérieur au besoin admis habituellement. Ces résultats sont à rapprocher de ceux observés par Bertocchi *et al.* (2019 ; Figure 1). Bien que les catégories de PV aient été créées *a posteriori*, il avait été observé chez les porcelets lourds une augmentation de la concentration plasmatique de Leu tant que le rapport Leu/Lys alimentaire augmentait, même au-delà du besoin admis à 100 % Leu/Lys DIS, alors que chez les porcelets légers il semble que cette concentration plasmatique forme un plateau au-delà de 100 % Leu/Lys DIS (Figure 1). Ces résultats semblent aller dans le même sens que ce que nous avons observé sur les performances (CMJ et GMQ) des porcelets de notre essai.

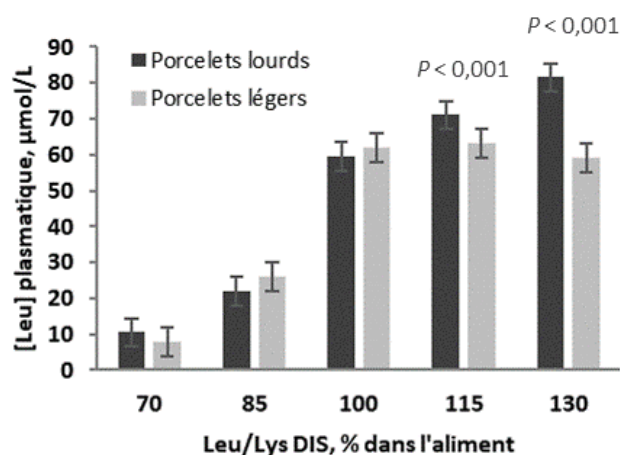


Figure 1 – Effet du niveau de Leucine/Lysine digestible iléale standardisée (Leu/Lys DIS, %) alimentaire sur la concentration plasmatique en Leu ($\mu\text{mol/L}$) de porcelets, 4 semaines après le sevrage et pour deux catégories de poids (lourds vs. légers) (d'après Bertocchi *et al.*, 2019)

Que ce soit chez les porcelets légers ou lourds, que ce soit lors du passage de 85 à 100 % ou de 100 à 115 % Leu/Lys DIS, nous observons dans tous les cas que l'effet de la Leu sur la vitesse de croissance s'explique par un effet sur l'ingéré alimentaire, sans effet sur l'efficacité alimentaire. Ce constat avait également été fait par différents auteurs. D'après Maurin *et al.* (2014), la Leu est capable d'activer plusieurs voies métaboliques par phosphorylation. D'une part, la voie mTOR pourrait détecter les augmentations postprandiales de concentration plasmatique en Leu, ce qui entraînerait une régulation de l'ingéré protéique, d'autre part, la voie GCN2 pourrait plutôt être impliquée dans l'adaptation à un stress nutritionnel (un déficit nutritionnel notamment) entraînant une réduction de l'ingéré alimentaire lorsqu'elle est activée.

Finalement, dans notre essai les différences entre les six traitements, testées à l'aide des tests *post-hoc* de Tukey, indépendamment des catégories de PV (Tableau 2), nous révèlent que la CMJ ($P < 0,001$) et le GMQ ($P = 0,004$) des porcelets lourds sont significativement plus élevés que ceux des porcelets légers pour les régimes à 85 et 115 % Leu/Lys DIS (T1 vs. T4 et T3 vs. T6) ; en revanche, avec le régime à 100 % Leu/Lys DIS, les deux catégories de PV ne présentent pas de différences significatives (T2 vs. T5). Ces résultats mettent en évidence l'importance d'apporter un niveau de Leu/Lys DIS alimentaire autour de 100 % afin d'optimiser la nutrition des porcelets en post-sevrage et d'éviter d'accroître le retard de croissance de la part des porcelets plus légers.

CONCLUSION

Comme supposé, nous avons observé une interaction entre la classe de PV de naissance des porcs et la réponse des porcelets au niveau de Leu alimentaire durant la phase de post-sevrage. Pour tous les porcelets, un rapport Leu/Lys DIS de 85 % était déficitaire et augmenter ce niveau a permis d'améliorer les performances. Les porcelets légers ont répondu plus fortement que les porcelets lourds lorsque le niveau de Leu/Lys DIS a été augmenté de 85 à 100 %. En revanche, contrairement aux attentes, les porcelets lourds ont davantage répondu en supplémentant au-dessus du besoin estimé. Dans les deux cas, la réponse à la Leu semble s'expliquer par un effet sur l'ingéré alimentaire, sans dégradation de l'IC.

Le présent essai suggère donc qu'il est primordial de contrôler le niveau de Leu dans l'aliment à un niveau proche de 100 %

Leu/Lys DIS afin de maintenir des performances de croissance homogènes au sein de l'élevage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertocchi M., Bosi, P., Luise D., Motta V., Salvarani C., Ribani A., Bovo S., Simongiovanni A., Matsunaga K., Takimoto T., Bannai M., Corrent E., Fontanesi L., Chalvon-Demersay T., Trevisi P., 2019. Dose-response of different dietary leucine levels on growth performance and amino acid metabolism in piglets differing for aminoadipate-semialdehyde synthase genotypes. *Sci. Rep.*, 9, 18496.
- Chalvon-Demersay T., Wessels A.G., Solà-Oriol D., Franco I Rosseló R., Cirera M., Bannai M., Takimoto T., Tateishi Y., Corrent E., Pérez J.F., 2020. Une supplémentation en acides aminés à chaîne ramifiée augmente l'homogénéité des porcelets autour du sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 52, 167-168.
- CVB, 2007. Table on feed ingredients - 2007. Information about chemical composition, digestibility and feeding value. Centraal veevoederbureau, Lelystad, the Netherlands, 682 p.
- Duan Y., Li F., Li Y., Tang Y., Kong X., Feng Z., Anthony T.G., Watford M., Hou Y., Wu G., Yin Y. 2016. The role of leucine and its metabolites in protein and energy metabolism. *Amino Acids*, 48, 41-51.
- Han B., Tong J., Zhu M.J., Ma C., Du M., 2008. Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) and leucine activate pig myogenic satellite cells through mammalian target of rapamycin (mTOR) pathway. *Mol. Reprod. Dev.*, 75, 810-817.
- Maurin A.C., Benani A., Lorsignol A., Brenachot X., Parry L., Carraro V., Guissard C., Averous J., Jousse C., Bruhat A., Chaveroux C., B'chir W., Muranishi Y., Ron D., Pénicaud L., Fafournoux P., 2014. Hypothalamic eIF2a signaling regulates food intake. *Cell Reports*, 6, 438-444.
- Quiniou N., Dagorn J., Gaudré D., 2002. Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livest. Prod. Sci.*, 78, 63-70.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Austria.
- Wessels A., Kluge H., Hirche F., Kiowski A., Schutkowski A., Corrent E., Bartelt J., König B., Stangl G.I., 2016. High leucine diets stimulate cerebral branched-chain amino acid degradation and modify serotonin and ketone body concentrations in a pig model. *PLoS One*, 11, 1-15.
- Xu W., Bai K., He J., Su W., Dong L., Zhang L., Wang T., 2016. Leucine improves growth performance of intrauterine growth retardation piglets by modifying gene and protein expression related to protein synthesis. *Nutrition*, 32, 114-121.
- Zhang J., Xu W., Han H., Zhang L., Wang T., 2019. Dietary leucine supplementation restores serum glucose levels, and modifying hepatic gene expression related to the insulin signal pathway in IUGR piglets. *Animals*, 9, 1138-1153.
- Zouaoui, M., Simongiovanni A., Létourneau-Montminy M.P., 2020. Meta-analysis of the response of piglets to dietary valine: impact of other branched chain amino acids, ASAS Midwest section, Omaha, Nebraska, 2-4 mars.



Effet de la baisse de la teneur en protéine alimentaire sur les performances de croissance, la qualité des produits et le bilan environnemental des porcs à l'engraissement

Léa CAPPELAERE (1), Florence GARCIA-LAUNAY (3), William LAMBERT (2), Aude SIMONGIOVANNI (2),
Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, rue de l'agriculture, Québec, G1V 0A6, Canada

(2) METEX ANIMAL NUTRITION, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 16 le Clos, 35590 Saint Gilles, France

lea.cappelaere.1@ulaval.ca

Effet de la baisse de la teneur en protéine alimentaire sur les performances de croissance, la qualité des produits et le bilan environnemental des porcs à l'engraissement

Cet essai visait à évaluer les performances zootechniques et environnementales de baisses de la teneur en protéines brutes (PB) formulées avec de la L-Isoleucine et L-Histidine, peu testées dans la littérature. Trois traitements alimentaires étaient distribués *ad libitum* à 24 cases de trois femelles et trois mâles castrés en quatre phases alimentaires (25-50 kg, 50-80 kg, 80-100 kg et 100-135 kg). Les niveaux de PB des différentes phases étaient de 180, 161, 143 et 126 g/kg pour le témoin. Deux baisses de PB, de 12 et 24 g/kg, ont été formulées pour toutes les phases. Les performances de croissance ont été mesurées par case, les caractéristiques de carcasse collectées à l'abattoir et deux échantillons de longe par case analysés. Une analyse de cycle de vie a été réalisée avec deux contextes d'origine des matières premières (québécois et français). La baisse de PB n'a pas affecté les performances de croissance. L'excrétion d'azote était linéairement réduite de 9,6 % par point de baisse de PB ($P < 0,001$). La composition des carcasses et la couleur, la teneur en gras intramusculaire et le pH de la longe étaient constants mais les pertes en eau ont eu tendance à augmenter avec la baisse de PB ($P = 0,06$). L'impact acidification a été réduit linéairement ($P < 0,001$) avec la baisse de PB. L'impact changement climatique a diminué en contexte français mais a augmenté en contexte québécois ($P < 0,001$). L'utilisation de ressources fossiles et les eutrophisations marine et en eau douce ont augmenté ($P < 0,001$). Une baisse de PB jusque 24 g/kg n'a pas affecté les performances zootechniques mais les bénéfices environnementaux dépendent du contexte de matières premières.

Effects of reducing dietary crude protein on growth performance, product quality and environmental impacts of fattening pigs

This study aimed at evaluating pig and environmental performances of reducing dietary crude protein (CP) by the inclusion of L-Isoleucine and L-Histidine, which are little documented in the literature. Three dietary treatments were fed *ad libitum* to 24 pens of three barrows and three gilts in a four-phase feeding plan (25-50, 50-80, 80-100 and 100-135 kg, respectively). Control dietary CP levels were 180, 161, 143 and 126 g/kg in the four phases, respectively. Two levels of CP reduction were formulated for the two treatments in all phases: -12 or -24 g/kg. Growth performance was recorded per pen for each phase, carcass parameters were collected at the slaughterhouse for all pigs, and *longissimus dorsi* samples were collected from two pigs per pen to analyse meat quality. Life cycle assessment of the trial was performed assuming two sets of ingredient origins: Québec, Canada, or France. Reducing dietary CP did not influence feed intake, gain or feed conversion ratio. Nitrogen excretion decreased linearly by 9.6 % per percentage point reduction in CP ($P < 0.001$). Reducing dietary CP did not influence carcass composition or meat colour, intramuscular fat or pH, but tended to increase drip loss ($P = 0.06$). Reducing dietary CP linearly decreased the acidification impact ($P < 0.001$), decreased climate change with French ingredients but increased it with Quebecois ingredients ($P < 0.001$) and increased fossil-resources use as well as marine and freshwater eutrophication ($P < 0.001$). Thus, reducing dietary CP by up to 24 g/kg did not influence pig performance or product quality but environmental benefits depended on the origin of ingredients.

INTRODUCTION

Les stratégies de baisse de la teneur en protéines brutes (PB) des aliments pour porcs à l'engraissement font partie des meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions polluantes de l'élevage (IRPP, 2017). La stratégie repose sur la réduction de l'excrétion azotée et des impacts liés à la fabrication d'aliment, les contributeurs principaux aux impacts environnementaux de l'élevage porcin (Andretta *et al.*, 2021). Cela nécessite un ajustement des apports en acides aminés (AA) pour maintenir les performances de croissance. Néanmoins, la réponse animale aux baisses importantes de la teneur en PB, permises par l'incorporation dans les formules d'isoleucine et d'histidine est moins bien connue (Shurson et Kerr, 2023). Les besoins en histidine et leucine sont mal connus chez le porc en croissance et il n'y a pas de consensus autour d'un besoin en azote (N), protéines ou AA non essentiels (Lenis *et al.*, 1999 ; NRC, 2012 ; Mansilla *et al.*, 2017). Un premier essai, réalisé avec des porcs de 25 à 80 kg logés en groupe en chambres de mesure d'émissions gazeuses, a montré une augmentation de l'ingéré avec la baisse de teneur en PB de permise par l'inclusion de L-Histidine en contexte québécois, menant à un plateau d'ingéré et d'excrétion azotés, limitant l'intérêt environnemental de la stratégie (Cappelaere *et al.*, 2023). Ces résultats étaient à confirmer avec un essai plus proche des conditions commerciales et sur la période totale d'engraissement. Par ailleurs, l'effet de la baisse de la teneur en PB sur la qualité des produits est rarement mesuré et les résultats contrastés. Il a été montré que la composition de carcasse peut être maintenue avec la baisse de teneur en PB (Quiniou *et al.*, 2011 ; Nørgaard *et al.*, 2014 ; Pluk et van Krimpen, 2018 ; Zhao *et al.*, 2019) mais certains essais ont montré une augmentation du dépôt de gras ou une baisse du dépôt de muscle, même quand les régimes sont iso-énergie nette couvrant les besoins en AA (Gonzalo *et al.*, 2023). Peu de données sont disponibles sur l'effet sur la qualité de la viande de baisser la teneur en PB dans des aliments équilibrés en énergie et en AA, mais une augmentation du gras intra-musculaire, des pertes en eau plus importantes ou une modification de la couleur de la viande ont été observés (Apple *et al.* 2017, Liu *et al.*, 2023).

Tester les effets de la stratégie sur les performances, le bilan azoté ou les impacts environnementaux des aliments n'est pas suffisant pour évaluer ses bénéfices environnementaux. L'analyse de cycle de vie (ACV) est la méthodologie appropriée pour synthétiser les différents effets (Silva *et al.*, 2023). Il a été montré que la réduction des impacts environnementaux de la production porcine, surtout le changement climatique, dépend des matières premières utilisées, de leur origine et de leur mode de production (Wilfart *et al.*, 2018 ; Lambert *et al.*, 2023). Ainsi, l'objectif de ce travail était de mesurer expérimentalement l'effet d'une baisse modérée ou importante de la teneur en PB des aliments sur les performances de croissance, la composition de la carcasse, la qualité de la viande et le bilan azoté des porcs à l'engrais, et d'utiliser ces résultats pour effectuer une évaluation environnementale par ACV, en testant l'effet du contexte de matières premières utilisées (Québec ou France).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Essai

1.1.1. Conduite générale

Un essai a été réalisé à la ferme expérimentale du centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD ;

Québec, Canada) avec 72 femelles et 72 mâles castrés croisés Duroc x (Yorkshire x Landrace), élevés en sexes mélangés en cases de poids moyens similaires de trois femelles et trois mâles, et assignés à un des trois traitements alimentaires selon un plan complètement aléatoire. Les porcs ont été élevés de 25 kg jusqu'à l'abattage à un objectif de poids vif (PV) de 130 kg, en trois départs avec un intervalle d'une semaine. Les animaux ont reçu une alimentation *ad libitum* en quatre phases alimentaires avec un changement d'aliment à 50, 80 et 100 kg de PV.

1.1.2. Aliments expérimentaux

Les trois traitements alimentaires correspondaient aux niveaux de teneur en PB actuellement en pratique au Québec (-Opt), à une baisse de la teneur en PB de 12 g/kg (-1,2pt), et de 24 g/kg (-2,4pt) appliquée pendant toutes les phases (Tableau 1). Les baisses de PB étaient réalisées dans des formulations iso-énergie nette et iso-lysine digestible en réduisant l'incorporation de tourteau de soja et en augmentant celle du maïs tout en apportant des AA libres jusqu'à l'isoleucine et l'histidine pour respecter le profil de la protéine idéale du modèle INRAporc (Van Milgen *et al.*, 2008). La balance électrolytique était maintenue au niveau du témoin dans tous les traitements.

1.1.3. Mesures expérimentales

Les porcs ont été pesés individuellement au début et à la fin de chaque phase d'alimentation pour déterminer le gain moyen quotidien (GMQ). La distribution d'aliment et les refus ont été mesurés pour calculer l'ingéré par case et l'indice de consommation. Un animal par case a été scanné par absorptiométrie biphotonique à rayons x en début et en fin d'essai pour déterminer le dépôt de maigre et de gras et en déduire une équation de fixation de N par kg de gain de poids vif (pas d'effet des traitements). Le bilan azoté a donc été calculé comme suit à partir des performances de croissance :

- N ingéré (g/j) = $\frac{\sum_{i=1}^4 \text{aliment ingéré en phase } i \text{ (g)}}{\text{durée de l'essai (j)}} / 6,25$
- N retenu (g/j) = 16 % × gain de poids (g/j) / 6,25
- N excrété = N ingéré – N retenu
- Efficacité N = N retenu / N ingéré

Les porcs ont été abattus en abattoir commercial et les données de classification des carcasses ont été recueillies pour tous les porcs : poids de carcasse chaude, épaisseurs de lard dorsal et de muscle mesurés à 7cm de la ligne dorsale entre la 3^e et 4^e côte avec une sonde optique Destron PG-100, rendement en viande maigre (Pomar et Marcoux, 2003). Des échantillons de longe ont été prélevés à l'abattoir le lendemain de l'abattage pour deux porcs par case. Des femelles ont été choisies pour la moitié des cases et des mâles pour l'autre. Les échantillons ont été évalués visuellement immédiatement après prélèvement par une technicienne formée pour noter leur couleur selon l'échelle japonaise et leur niveau de persillage (Porc Canada, 2014). Après 24h de stockage à 5°C, le pH, la perte en eau et les valeurs CIELAB de couleur ont été mesurés. La teneur en protéines (méthode Kjeldahl) et matières grasses (méthode Soxhlet) des échantillons ont également été analysés.

1.2. Analyse de cycle de vie

Une ACV a été réalisée à l'échelle de chaque case. Les limites du système ont été fixées à l'atelier d'engraissement, avec le kg de gain de PV comme unité fonctionnelle, en incluant la production des matières premières constituant les aliments, les émissions au bâtiment, au stockage et à l'épandage du lisier, ainsi que les

étapes de transport et la consommation d'énergie en bâtiment. L'étape d'épandage du lisier a été incluse avec une extension de système prenant en compte une économie de fertilisant minéral (75% pour N, 100% pour le phosphore (P)). Seule la différence d'émissions entre une application d'engrais organique et minéral au champ est calculée. Deux contextes d'origine des matières premières ont été pris en compte : France et Québec. Notamment, le tourteau de soja utilisé était américain au Québec et brésilien en France, le second étant associé à de la déforestation contrairement au premier. Les pratiques nutritionnelles et de conduite d'élevage représentaient les pratiques québécoises et n'ont pas été modifiées. Les données ACV associées étaient issues de la base de données GFLI (Global Feed LCA Institute, 2022), complétée par les valeurs EcoAlim issues de la base Agribalyse 3 pour les

micro-ingrédients (Wilfart *et al.*, 2016). Les données d'excrétion de N, P et potassium ont été calculées par différence entre les quantités ingérées et fixées à partir des performances expérimentales, estimées comme indiqué plus haut pour le N et selon les équations du bilan réel simplifié (Dourmad *et al.*, 2015) pour les autres. Ces données ont été utilisées pour calculer les émissions au bâtiment, au stockage et à l'épandage de NH₃, N₂O, NO₃, NOx et CH₄, respectivement avec les méthodes EMEP Tier 2, IPCC Tier 2, McAuliffe *et al.* (2017), CITEPA (2021) et Rigolot *et al.* (2010). Les impacts changement climatique (incluant ou non le changement d'utilisation des terres), eutrophisation en eau douce et marine, acidification et consommation de ressources fossiles ont été calculés avec la méthode EF 3.0 (Fazio *et al.*, 2018).

Tableau 1 – Composition des aliments expérimentaux

| Phases | 25-50kg | | | 50-80kg | | | 80-100kg | | | 100-130kg | | |
|--|---------|--------|--------|---------|--------|--------|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | -0pt | -1,2pt | -2,4pt |
| Ingrédients (%) | | | | | | | | | | | | |
| Maïs | 56,12 | 59,91 | 63,92 | 59,51 | 63,28 | 67,29 | 62,68 | 66,15 | 70,15 | 68,50 | 72,29 | 76,30 |
| Blé | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 10,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,00 |
| Tourteau de soja | 19,00 | 15,30 | 11,40 | 11,30 | 7,60 | 3,70 | 9,70 | 5,60 | 1,70 | 7,60 | 3,90 | - |
| Drêches de maïs | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 8,8 | 9,5 | 9,5 | 5,3 | 5,3 | 5,3 |
| Graisse animale | 1,60 | 1,10 | 0,50 | 1,10 | 0,60 | - | 1,10 | 0,60 | - | 1,10 | 0,60 | - |
| L-Lysine sulfate | 0,532 | 0,638 | 0,750 | 0,562 | 0,668 | 0,782 | 0,482 | 0,598 | 0,710 | 0,410 | 0,516 | 0,628 |
| DL-Méthionine | 0,140 | 0,170 | 0,202 | 0,094 | 0,126 | 0,156 | 0,068 | 0,098 | 0,128 | 0,036 | 0,066 | 0,098 |
| L-Thréonine | 0,190 | 0,238 | 0,290 | 0,176 | 0,224 | 0,276 | 0,150 | 0,200 | 0,252 | 0,120 | 0,170 | 0,222 |
| L-Tryptophane | 0,044 | 0,064 | 0,082 | 0,052 | 0,072 | 0,090 | 0,040 | 0,060 | 0,080 | 0,032 | 0,050 | 0,070 |
| L-Valine | 0,064 | 0,122 | 0,184 | 0,054 | 0,112 | 0,174 | 0,038 | 0,098 | 0,160 | 0,020 | 0,078 | 0,138 |
| L-Isoleucine | 0,010 | 0,067 | 0,134 | 0,023 | 0,088 | 0,156 | 0,016 | 0,083 | 0,151 | 0,010 | 0,072 | 0,139 |
| L-Histidine | - | - | 0,042 | - | - | 0,047 | - | - | 0,046 | - | - | 0,039 |
| Carbonate de sodium | - | 0,184 | 0,396 | 0,003 | 0,191 | 0,406 | 0,090 | 0,285 | 0,499 | 0,124 | 0,312 | 0,523 |
| Phosphore monocalcique | 0,264 | 0,304 | 0,348 | 0,100 | 0,142 | 0,186 | 0,026 | 0,052 | 0,096 | 0,026 | 0,060 | 0,104 |
| Carbonate de calcium | 1,160 | 1,172 | 1,184 | 1,168 | 1,180 | 1,192 | 1,002 | 1,024 | 1,036 | 0,972 | 0,982 | 0,994 |
| Chlorure de sodium | 0,470 | 0,328 | 0,166 | 0,454 | 0,308 | 0,144 | 0,404 | 0,252 | 0,088 | 0,388 | 0,244 | 0,082 |
| Prémix | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| Composition nutritionnelle formulée | | | | | | | | | | | | |
| Energie nette (MJ/kg) | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,6 | 10,6 | 10,6 | 10,7 | 10,7 | 10,7 |
| Balance électrolytique (méq/kg) | 153 | 153 | 153 | 126 | 126 | 126 | 120 | 120 | 120 | 110 | 110 | 110 |
| Protéines brutes (%) | 18,00 | 16,80 | 15,59 | 16,09 | 14,89 | 13,69 | 14,31 | 13,11 | 11,91 | 12,62 | 11,41 | 10,20 |
| Lysine digestible (%) | 1,07 | 1,07 | 1,07 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,82 | 0,82 | 0,82 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| Acides aminés digestibles (% Lysine, valeurs formulées) | | | | | | | | | | | | |
| Thréonine | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 |
| Méthionine + Cystéine | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 |
| Tryptophane | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Valine | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| Isoleucine | 55 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| Leucine | 124 | 117 | 109 | 135 | 126 | 117 | 134 | 125 | 114 | 140 | 128 | 116 |
| Histidine | 35 | 33 | 32 | 36 | 33 | 32 | 36 | 33 | 32 | 38 | 33 | 32 |

1.3. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée sous R, avec un modèle linéaire testant l'effet du niveau de baisse de la teneur en PB. L'unité expérimentale est la case pour les performances de croissance, le bilan azoté et les impacts environnementaux calculés par ACV, et le porc pour les données de composition de carcasse et de qualité de la viande. Pour la qualité de la viande un effet « case » aléatoire a été ajouté ainsi qu'un effet « sexe », dont l'interaction avec le niveau de PB a été testée mais non conservée car jamais significative. Pour les ACV, l'effet « origine des matières premières » et son interaction avec le niveau de baisse de teneur en PB ont été inclus au modèle.

2. RESULTATS

2.1. Performances de croissance

Aucun effet significatif de la baisse de la teneur en PB n'a été observé sur l'ingéré, le GMQ ou l'indice de consommation sur la période totale de l'essai (Tableau 2). Les seuls effets significatifs sont observés en phase 1, où l'ingéré quotidien a augmenté avec la baisse de la teneur en PB ($P = 0,008$), entraînant une dégradation de l'indice de consommation ($P = 0,02$) puisque le GMQ n'est pas affecté. Le gain de poids vif a eu tendance à diminuer avec la baisse de la teneur en PB en phase 4 ($P = 0,056$), sans effet sur l'ingéré ou l'indice de consommation.

Tableau 2 – Effet du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes sur les performances de croissance de porcs à l'engrais

| | Baisse de protéine | | | ETR ¹ | P-value ² |
|-----------------------------------|--------------------|--------|--------|------------------|----------------------|
| | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | | |
| Ingéré quotidien (kg/j) | | | | | |
| Phase 1 | 2,06 | 2,16 | 2,19 | 0,09 | 0,008 |
| Phase 2 | 3,00 | 3,11 | 3,08 | 0,18 | 0,38 |
| Phase 3 | 3,65 | 3,71 | 3,55 | 0,26 | 0,44 |
| Phase 4 | 3,92 | 3,92 | 3,79 | 0,21 | 0,23 |
| Total | 3,04 | 3,14 | 3,06 | 0,12 | 0,72 |
| Gain moyen quotidien (g/j) | | | | | |
| Phase 1 | 987 | 988 | 979 | 43 | 0,73 |
| Phase 2 | 1224 | 1259 | 1254 | 74 | 0,43 |
| Phase 3 | 1451 | 1397 | 1381 | 142 | 0,33 |
| Phase 4 | 1224 | 1216 | 1144 | 79 | 0,056 |
| Total | 1184 | 1192 | 1162 | 37 | 0,24 |
| Indice de consommation | | | | | |
| Phase 1 | 2,09 | 2,19 | 2,24 | 0,12 | 0,019 |
| Phase 2 | 2,45 | 2,47 | 2,45 | 0,09 | 0,99 |
| Phase 3 | 2,54 | 2,66 | 2,58 | 0,17 | 0,64 |
| Phase 4 | 3,21 | 3,24 | 3,31 | 0,24 | 0,40 |
| Total | 2,55 | 2,61 | 2,63 | 0,10 | 0,11 |
| Poids vif (kg) | | | | | |
| Initial | 24.4 | 25.0 | 24.2 | 1.0 | 0.74 |
| Fin phase 1 | 51.7 | 52.3 | 51.3 | 1.7 | 0.65 |
| Fin phase 2 | 79.4 | 80.9 | 79.7 | 2.7 | 0.84 |
| Fin phase 3 | 98.3 | 99.0 | 97.5 | 3.2 | 0.63 |
| Fin phase 4 | 121.8 | 123.2 | 119.7 | 3.6 | 0.26 |

¹Ecart-type résiduel. ²Test F de la significativité de l'effet linéaire du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes

Tableau 3 – Effet du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes (PB) sur les caractéristiques de la longe

| | Baisse de protéine | | | ETR ¹ | P-value ² | | |
|-----------------------|--------------------|--------|--------|------------------|----------------------|-------|------|
| | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | | PB | Sexe | |
| Couleur | L* | 53,7 | 53,4 | 55,3 | 3,2 | 0,19 | 0,52 |
| | a* | 7,4 | 7,3 | 7,6 | 1,4 | 0,67 | 0,97 |
| | b* | 5,7 | 5,5 | 6,3 | 1,4 | 0,27 | 0,20 |
| Echelle japonaise | 3,1 | 3,1 | 2,9 | 0,5 | 0,30 | 0,78 | |
| Score de persillage | 2,8 | 3,1 | 3,0 | 0,5 | 0,47 | 0,13 | |
| pH 24h | 5,68 | 5,65 | 5,64 | 0,11 | 0,32 | 0,82 | |
| Pertes en eau (%) | 3,92 | 4,28 | 5,40 | 1,99 | 0,06 | 0,39 | |
| Protéine brute (% MS) | 82,59 | 82,57 | 80,31 | 3,39 | 0,12 | 0,93 | |
| Gras brut (% MS) | 12,49 | 13,33 | 13,71 | 2,68 | 0,28 | 0,096 | |

¹ Ecart-type résiduel. ² Tests F des effets de la teneur en PB et du sexe dans un modèle mixte incluant l'effet linéaire du niveau de baisse de la teneur en PB, un effet fixe du sexe et un effet aléatoire de la case.

Tableau 4 – Effet du niveau de baisse de la teneur en protéines brutes (PB) sur les impacts environnementaux par kg de gain de poids vif en engraissement selon le contexte d'origine des matières premières (MP)

| Contexte des MP | Québec | | | France | | | ETR ¹ | P-value ² | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|----------------------|---------|---------|
| | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | -0pt | -1,2pt | -2,4pt | | PB | MP | PB x MP |
| Impacts par kg de gain de poids vif | | | | | | | | | | |
| Changement climatique (kg CO ₂ éq) | 1,97 | 2,10 | 2,26 | 2,77 | 2,56 | 2,33 | 0,08 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |
| Changement climatique sans changement d'utilisation des terres (kg CO ₂ éq) | 1,84 | 1,98 | 2,15 | 1,88 | 1,95 | 2,02 | 0,07 | < 0,001 | 0,16 | 0,002 |
| Acidification (mol H ⁺) | 0,119 | 0,116 | 0,110 | 0,109 | 0,103 | 0,096 | 0,004 | < 0,001 | < 0,001 | 0,242 |
| Eutrophisation, eau douce (kg Péq) | 0,0853 | 0,0910 | 0,0960 | 0,0589 | 0,0613 | 0,0630 | 0,0028 | < 0,001 | < 0,001 | 0,002 |
| Eutrophisation, marine (kg Néq) | 0,0197 | 0,0206 | 0,0213 | 0,0148 | 0,0151 | 0,0151 | 0,0006 | < 0,001 | < 0,001 | 0,004 |
| Utilisation des ressources, énergies fossiles (MJ) | 9,08 | 10,4 | 12,1 | 9,39 | 10,2 | 11,1 | 0,38 | < 0,001 | 0,059 | < 0,001 |

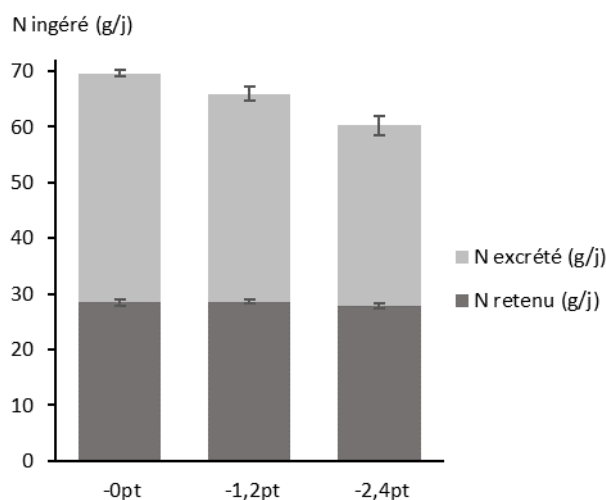
¹ Ecart-type résiduel. ² Tests F des effets principaux et de l'interaction dans une ANOVA incluant le niveau de baisse de la teneur en PB et le contexte d'origine des matières premières.

2.2. Composition de carcasse et qualité de la viande

Aucun effet significatif de la baisse de la teneur en PB n'a été observé sur les caractéristiques de carcasse : poids de carcasse (108,9 vs. 110,4 vs. 107,3 ± 8,3 kg respectivement pour les traitements -0pt, -1,2pt et -2,4pt), épaisseur de lard dorsal (19,2 vs. 22,4 vs. 19,6 ± 6,1 mm), épaisseur de muscle (63,7 vs. 67,2 vs. 63,4 ± 14,3 mm respectivement pour les traitements -0pt, -1,2pt et -2,4pt) et pourcentage de maigre de la carcasse (56,0 vs. 59,5 vs. 57,3 ± 11,7 % respectivement pour les traitements -0pt, -1,2pt et -2,4pt). La couleur, le pH et la teneur en gras de la viande n'ont pas été affectées par la baisse de la teneur en PB (Tableau 3). Le seul effet observé sur les caractéristiques de la viande est une tendance ($P < 0,10$) à l'augmentation de la perte en eau avec la baisse de la teneur en PB.

2.3. Bilan azoté

L'ingéré azoté a été réduit linéairement avec la baisse de la teneur en PB ($P < 0,001$; Figure 1), de 4,5 g/j par point de réduction de la teneur en PB, soit une réduction de 6%. L'azote retenu dans le gain de poids vif n'a pas été affecté par la baisse de la teneur en PB ($P = 0,22$). Ainsi, l'excrétion azotée a été réduite linéairement ($P < 0,001$) de 4,3 g/j par point de réduction de la teneur en PB, soit une réduction de 9,6%. L'efficacité azotée des porcs a été améliorée de 2,5 points de pourcentage par point de baisse de la teneur en PB ($P < 0,001$), passant de 38,7% dans le témoin à 41,0% et 44,7% pour les traitements -1,2pt et -2,4pt respectivement.

**Figure 1** – Effet de la baisse de la teneur en protéines brutes sur le bilan azoté des porcs à l'engrais

2.4. Analyse de cycle de vie

Pour tous les impacts sauf l'acidification, l'interaction entre la baisse de teneur en PB et le contexte d'origine des matières premières était significative ($P < 0,05$; Tableau 4). L'acidification était réduite linéairement de 3,4% par point de baisse de la teneur en PB ($P < 0,001$) et était plus élevée avec des matières premières québécoises (+ 0,011 mol H⁺/kg gain PV ; $P < 0,001$). Le changement climatique était plus élevé pour le témoin avec un contexte québécois et augmentait avec la baisse de la teneur en PB mais il était réduit en contexte français (+6,2 vs. -6,6% par point de baisse de teneur en PB ; $P < 0,001$), résultant en un niveau d'impact équivalent entre contextes pour le traitement -2,4pt. Quand le changement climatique lié au changement d'utilisation des terres était exclu, le niveau d'impact était similaire entre les contextes et le changement climatique augmentait avec la baisse de la teneur en PB, plus rapidement en contexte québécois qu'en contexte français (+6,8 vs. +2,9% par point de baisse de teneur en PB ; $P = 0,002$). Les eutrophisations en eau douce et marine étaient plus élevées dès le témoin en contexte québécois et augmentaient plus rapidement avec la baisse de la teneur en PB qu'en contexte français (+5,2 vs. +2,9% et +3,4 vs. +0,7% respectivement par point de baisse de teneur en PB ; $P < 0,05$). L'utilisation des ressources fossiles augmentait également plus rapidement avec la baisse de la teneur en PB en contexte québécois (+14 vs. +7,5% par point de baisse de teneur en PB ; $P < 0,001$).

3. DISCUSSION

Aucun effet de la baisse de la teneur en PB n'a été observé sur les performances de croissance des porcs sur la période totale d'engraissement, même avec un ratio lysine digestible/PB de 6,8%, contrairement à ce qui a pu être observé par Gonzalo *et al.* (2023) ou Soto *et al.* (2019) mais en ligne avec Zhao *et al.* (2019) ou Morales *et al.* (2015). Cependant, l'ingéré a augmenté de 5% en phase 1 entre le témoin et les traitements -1,2pt et -2,4pt, sans effet sur le GMQ. Les jeunes animaux semblent donc plus sensibles à la baisse de la teneur en PB, avec de potentielles carences à explorer. L'augmentation d'ingéré avec le traitement -2,4pt, menant à un plateau d'ingéré N, observé dans l'essai en chambres de mesures d'émissions gazeuses (Cappelaere *et al.*, 2023) n'a pas été confirmée par cet essai, où l'augmentation d'ingéré alimentaire était plus faible, observée uniquement en phase 1, et linéaire entre nos traitements, menant tout de même à une baisse linéaire de l'ingéré N avec la baisse de la teneur en PB en phase 1 (59,3 vs. 58,1 vs. 54,7 g/j). Les niveaux de performances étaient plus faibles dans le présent essai et plus proches des performances commerciales sur lesquelles nos niveaux nutritionnels étaient basés. Ainsi, les animaux surperformant en conditions expérimentales sont plus sensibles à la baisse de la teneur en PB. Nos résultats indiquent qu'une baisse de la teneur en PB de 24 g/kg serait possible en conditions pratiques québécoises sans affecter les performances de croissance.

La composition de carcasse n'a pas été affectée, même avec une forte baisse de la teneur en PB, confirmant que le dépôt de gras sous-cutané n'augmente pas quand les performances de croissance sont maintenues et que les aliments sont formulés

iso-énergie nette (Quiniou *et al.*, 2011 ; Zhao *et al.*, 2019 ; Liu *et al.*, 2023). La couleur et le contenu en gras intra-musculaire de la longe n'ont pas été affectés par les traitements. On ne retrouve donc pas l'augmentation du gras intra-musculaire, recherchée pour la qualité de la viande, observée dans différents essais, même avec une formulation iso-énergie nette couvrant les besoins en AA (Apple *et al.*, 2017 ; Liu *et al.*, 2023). Les pertes en eau ont en revanche eu tendance à augmenter, ce qui avait déjà été observé par Liu *et al.* (2023) et Zhang *et al.* (2016). Cet effet pourrait s'expliquer par la modification du profil en AA de la viande avec la baisse de teneur en PB, changeant ses propriétés physico-chimiques (d'Astous-Pagé *et al.*, 2017 ; Xu *et al.*, 2020 ; Liu *et al.*, 2023).

La rétention azotée des porcs n'ayant pas été affectée par la baisse de la teneur en PB, l'excrétion azotée est réduite linéairement. L'acidification, principalement liée aux émissions azotées de la gestion du lisier, est donc également réduite linéairement. Les eutrophisations marine et des eaux douces sont augmentées car i) avec l'utilisation de l'extension de système avec économie de fertilisant minéral, le lessivage au champ n'est pas réduit puisque le N et le P non excrétés sont remplacés par des fertilisants minéraux avec un lessivage similaire et ii) l'impact de la production d'aliment augmente en raison de l'augmentation de l'incorporation de maïs. Le changement climatique a été réduit en contexte français grâce à la moindre incorporation de tourteau de soja brésilien associé à de la déforestation alors qu'en contexte québécois avec un soja américain à faible impact, le changement climatique augmente avec la baisse de la teneur en PB, puisque le maïs a un impact élevé. Quand le changement d'utilisation des terres est exclu, le changement climatique augmente avec la baisse de la teneur en PB dans les deux contextes. De manière générale, ces impacts augmentent plus vite en contexte québécois à cause de l'augmentation de l'utilisation du maïs local aux impacts élevés. L'utilisation de ressources fossiles a augmenté avec la baisse de la teneur en PB, en lien avec l'augmentation de l'utilisation d'AA libres et avec la diminution de l'économie de fertilisant minéral (baisse de l'excrétion N). Cette augmentation était plus lente en contexte français grâce à l'utilisation en partie d'AA locaux.

CONCLUSION

Cet essai a montré que la teneur en PB des aliments pour porcs à l'engrais pouvait être réduite de 24 g/kg avec des pratiques nutritionnelles québécoises sans effet sur les performances de croissance et la composition de carcasse et avec un impact mineur sur la qualité de la viande. L'excrétion azotée peut être efficacement réduite par cette stratégie, permettant de réduire l'impact acidification de la production porcine. La réduction de l'impact changement climatique n'est en revanche pas garantie et dépend de la possible réduction de l'utilisation de matières premières associées à la déforestation, qui ne se produit pas en contexte québécois alors que c'est le cas dans le contexte français. Telles qu'évalués ici, les impacts eutrophisation augmentent avec la baisse de la teneur en PB mais l'évaluation de ces impacts nécessitera de mieux qualifier et quantifier l'effet de la stratégie sur l'utilisation de fertilisant minéral.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andretta I., Hickmann F.M.W., Remus A., Franceschi C.H., Marian A.B., Orso C., Kipper M., Létourneau-Montminy M.-P., Pomar C., 2021. Environmental impacts of pig and poultry production: insights from a systematic review. *Front. Vet. Sci.*, 8, 750733.
- Apple J.K., Maxwell C.V., Bass B.E., Yancey J.W.S., Payne R.L., Thomson J., 2017. Effects of reducing dietary crude protein levels and

replacement with crystalline amino acids on growth performance, carcass composition, and fresh pork quality of finishing pigs fed ractopamine hydrochloride. *J. Anim. Sci.*, 95, 4971–4985.

- Cappelaere L., Larios D., Lambert W., Godbout S., Garcia-Launay F., Létourneau-Montminy M.-P., 2023. Effet de la baisse de la teneur en protéines des aliments pour porcs en croissance sur les performances de croissance, les rejets azotés et les émissions gazeuses au bâtiment. *Journées Rech. Porcine*, 55, 249-254.
- CITEPA, 2021. Rapport OMINEA – 18^{ème} édition. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Paris, 1044 p.
- D'Astous-Pagé J., Gariépy C., Blouin R., Cliche S., Sullivan B., Fortin F., Palin M.-F., 2017. Carnosine content in the porcine longissimus thoracis muscle and its association with meat quality attributes and carnosine-related gene expression. *Meat Sci.*, 124, 84-94.
- Dourmad J.Y. (coord.), Levasseur P. (coord.), Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2015. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, Paris, 26 p.
- EMEP/EEA. 2019. Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (3. B Manure Management), European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.
- Fazio S., Biganzioli F., De Laurentiis V., Zampori L., Sala S., Diaconu E., 2018. Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0, EUR29600 EN, European Commission, Ispra, ISBN 978-92-79-98584-3, doi:10.2760/002447, PUBSY No. JRC114822
- Global Feed LCA Institute, 2022. GFLI Database of Animal Feed Production. LCA Feed database. <https://globalfeedlca.org/gfli-database/>
- Gonzalo E., Simongiovanni A., De Cuyper C., Ampe B., Aluwe M., Lambert W., Millet S., 2023. Effect of reducing dietary protein content on performance and environmental impact of pig production. In: Proc. of the 74th EAAP Annual Meeting", Lyon, France, p 990.
- IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10: emissions from livestock and manure management). The Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, Switzerland, 207 p.
- IRPP, 2017. Best Available Techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 898 p.
- Lambert W., Cappelaere L., Le Cour Grandmaison J., Simongiovanni A., Létourneau-Montminy M.-P., 2023. Revue de l'influence de la nutrition protéique sur l'impact changement climatique de la production porcine : état des lieux et perspectives. *Journées Rech. Porcine* 55, 261-268.
- Lenis N.P., van Diepen H.T.M., Bikker P., Jongbloed A. W., van der Meulen J., 1999. Effect of the ratio between essential and nonessential amino acids in the diet on utilization of nitrogen and amino acids by growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 77(, 1777–1787.
- Liu S., Xie J., Fan Z., Ma X., Yin Y., 2023. Effects of low protein diet with a balanced amino acid pattern on growth performance, meat quality and cecal microflora of finishing pigs. *J. Sci. Food Agric.*, 103, 957-967.
- Mansilla W.D., Htoo J.K., de Lange C.F.M., 2017. Nitrogen from ammonia is as efficient as that from free amino acids or protein for improving growth performance of pigs fed diets deficient in nonessential amino acid nitrogen. *J. Anim. Sci.*, 95, 3093–3102.
- McAuliffe G.A., Takahashi T., Mogensen L., Hermansen J.E., Sage C.L., Chapman D.V., Lee M.R.F., 2017. Environmental trade-offs of pig production systems under varied operational efficiencies. *J. Clean Prod.*, 165, 1163–1173.
- Morales A., Araiza B., Castillo G., Arce N., Htoo J.K., Cervantes M., 2015. Low-protein amino acid-supplemented diets for growing pigs: Effect on expression of amino acid transporters, serum concentration, performance, and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 93, 2154-2164.
- Nakai H., Saito F., Ikeda T., Ando S., Komatsu A., 1975. Standard models of pork-colour. *Bull. Nat. Inst. Animal Indust. Chiba, Japan.* 29:69-74.
- Nørgaard J.V., Hansen M. J., Soumeh E. A., Adamsen A. P. S., Poulsen H. D., 2014. Effect of protein level on performance, nitrogen utilisation and carcass composition in finisher pigs. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.*, 64, 123–129.
- NRC, 2012. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition. The National Academies Press, Washington, DC.
- Pluk P., van Krimpen M., 2018. Effect of reducing dietary crude protein in hog finisher barrows and gilts on technical performance. Wageningen Livestock Research, Report 1111, 50 pp.
- Pomar C. et Marcoux M., 2003. Comparing the Canadian pork lean yields and grading indexes predicted from grading methods based on Destron and Hennessy probe measurements. *Can. J. Anim. Sci.*, 83, 451-458.
- Porc Canada, 2014. Normes canadiennes de qualité du porc pour la couleur et le persillage. Porc Canada, Ottawa, Canada.
- Quiniou N., Primot Y., Peyronnet C., Quinsac A., 2011. Des aliments porcs moins riches en protéines et formulés à base de tourteau de colza et d'acides aminés de synthèse, dont la L-Valine, permettent de réduire le recours au tourteau de soja. *Journées Rech. Porcine*, 43, 135–136.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Béline F., Paillat J. M., Dourmad, J. Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413–1424.
- Shurson G. et Kerr B., 2023. Challenges and opportunities for improving nitrogen utilization efficiency for more sustainable pork production. *Front. Anim. Sci.*, 4, 1204863.
- Silva J.P., Giehl C.J., Cardinal K.M., Andretta I., Ribeiro A.M.L., 2023. Different life cycle assessment methods and causes of variation in estimates of global warming in chicken and pork production systems: A critical systematic review. *Livest. Sci.*, 276, 105320.
- Soto J.A., Tokach M., Dritz S., Woodworth J., Derouchey J., Goodband R., Wu F., 2019. Optimal dietary standardized ileal digestible lysine and crude protein concentration for growth and carcass performance in finishing pigs weighing greater than 100 kg. *J. Anim. Sci.*, 97, 1701-1711.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.-Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 143, 387-405.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: A Dataset of Environmental Impacts of Feed Ingredients Used in French Animal Production. *PLoS One*, 11, e0167343.
- Wilfart, A., Dusart, L., Méda, B., Gac, A., Espagnol, S., Morin, L., Dronne, Y., Garcia-Launay, F. 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. *INRA Productions Animales* 31, 289-306.
- Xu D., Wang Y., Jiao N., Qiu K., Zhang X., Wang L., Wang L., Yin J., 2020. The coordination of dietary valine and isoleucine on water holding capacity, pH value and protein solubility of fresh meat in finishing pigs. *Meat Sci.*, 163, 108074.
- Zhang S., Chu L., Qiao S., Mao X., Zeng X., 2016. Effects of dietary leucine supplementation in low crude protein diets on performance, nitrogen balance, whole-body protein turnover, carcass characteristics and meat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 87, 911-920.
- Zhao Y., Tian G., Chen D., Zheng P., Yu J., He J., Mao X., Huang Z., Luo Y., Luo J., & Yu B., 2019. Effect of different dietary protein levels and amino acids supplementation patterns on growth performance, carcass characteristics and nitrogen excretion in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 10, 75.



Modélisation des flux métaboliques d'acides aminés dans l'intestin grêle

Clément GARÇON (1,2), Nathalie Le FLOC'H (1), Yves MERCIER (2), Jaap van MILGEN (1)

(1) INRAE, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Adisseo France SAS, 03600 Malicorne, France

clement.garcon@inrae.fr

Modélisation des flux métaboliques d'acide aminé dans l'intestin grêle

Il a été estimé chez le porc que 44 % des acides aminés (AA) essentiels sont séquestrés en premier passage dans l'intestin pendant la digestion, n'apparaissant ainsi pas dans le sang (Stoll et al., 1998). Cette valeur semble élevée au regard de l'efficacité d'utilisation des AA digestibles considérées dans les modèles de croissance (van Milgen et al., 2008). L'étude du métabolisme de « premier passage » est compliquée *in vivo* par la présence de nombreux flux métaboliques au niveau de l'intestin. L'objectif de cette étude était donc de mieux comprendre les flux métaboliques d'AA au niveau de l'intestin, par une approche de modélisation. Un modèle mécaniste du métabolisme intestinal pour un AA non spécifique et des protéines a été développé, sous la forme d'une série de segments d'intestin ayant la même structure. Chaque segment est constitué de sept pools, représentant, selon leur origine (endogène ou alimentaire), les protéines dans la lumière intestinale, les AA libres dans la lumière intestinale et dans le tissu intestinale et les protéines intestinales. Ces pools sont connectés par des flux, représentant les principaux devenir métaboliques des AA. Pour paramétrer le modèle, des données issues de la littérature ont été utilisées ainsi que des valeurs considérées comme « raisonnables ». Des simulations ont été réalisées sur 24 h, avec cinq repas et sur 200 segments. Pendant les périodes de repas, le modèle simule l'export d'AA de l'intestin vers le sang. Environ la moitié des AA alimentaires absorbés est d'abord métabolisée par les cellules intestinales avant d'apparaître dans le sang. Ce résultat suggère que la rapidité avec laquelle l'intestin métabolise les AA alimentaires tend à surestimer l'importance du métabolisme de « premier passage » quand il est mesuré *in vivo*.

A model to simulate metabolic fluxes of amino acids in the small intestine of pigs

It has been estimated for pigs that 44 % of essential amino acids (AA) are metabolised by intestinal tissue during digestion (a “first-pass” effect) and thus do not appear in the blood (Stoll et al., 1998). This percentage seems high compared to the efficiency of digestible AA use used in growth models (van Milgen et al., 2008). Study of first-pass metabolism is complicated *in vivo* by the presence of many metabolic fluxes in the intestine. The aim of this study was therefore to improve understanding of metabolic fluxes of AA in the intestine, using a modelling approach. A mechanistic model of intestinal metabolism for a non-specific AA was developed as a series of intestinal segments, each with the same structure. Each segment is composed of seven pools that represent, depending on their origin (endogenous or dietary), AA in proteins in the intestinal lumen, free AA in the intestinal lumen, free AA in intestinal tissue, and AA in intestinal proteins. Pools are connected by fluxes that represent the main metabolic pathways of AA. To parameterise the model, data from the literature were used, as were values considered plausible. The model simulated a 24-hour period, with five meals and 200 segments. During meal periods, the model simulates export of AA from the intestine into the blood, while during fasting periods, it simulates a flux of AA from the blood to the intestine. According to the simulations, ca. 50 % of the dietary AA absorbed is first metabolised by intestinal cells before appearing in the blood. This prediction suggests that the rate at which the intestine metabolises dietary AA leads to overestimation of the percentage of first-pass metabolism when measured *in vivo*.

INTRODUCTION

Pour améliorer l'efficacité d'utilisation des nutriments par le porc, il est nécessaire de mieux comprendre leur devenir métabolique après l'ingestion. L'intestin grêle est le siège d'une forte activité métabolique, liée à la fois à des processus de digestion (transport actif, sécrétion d'enzymes...) ou de protection (mucus, cellules immunitaires). Il a d'ailleurs été estimé que 100 % des protéines intestinales sont renouvelées quotidiennement (Sève *et al.*, 1993). Cette forte activité métabolique s'accompagne d'une utilisation élevée de nutriments, notamment d'acides aminés (AA) à la fois d'origine sanguine et alimentaire. L'utilisation directe d'AA par le tissu intestinal après l'absorption est appelé métabolisme de « premier-passage ». Il a été estimé que 44 % des AA essentiels sont métabolisés en premier-passage chez le porc (Stoll *et al.*, 1998), impliquant que seul les 56 % restants apparaissent dans le sang après la digestion. Cette valeur semble élevée au regard de l'efficacité d'utilisation post-absorptive des AA considérés dans des modèles de croissance comme INRAPORC, ou celle-ci se situe en moyenne à 78 % (van Milgen *et al.*, 2008). Le métabolisme intestinal des AA est difficile à étudier *in vivo*, du fait de la présence de multiples voies d'apports, de la rapidité des processus métaboliques (Leterme *et al.*, 1996) et du besoin de dispositifs expérimentaux très invasifs pour les animaux. Enfin, l'interprétation du concept de premier-passage est compliqué, par la structure tubulaire de l'intestin et la notion de temps. Ainsi, un AA absorbé peut-être métabolisé en premier-passage dans un segment, servir à la synthèse de protéines sécrétées et être réabsorbé plus tard dans une partie plus distale de l'intestin.

Une voie d'approche pour intégrer des connaissances et ainsi mieux comprendre les flux d'AA au niveau intestinal est l'utilisation de la modélisation, qui est déjà beaucoup utilisée en sciences animales, pour modéliser à la fois la digestion mais aussi le métabolisme post-absorptif. La modélisation a aussi pour intérêt de limiter le recours à l'expérimentation animale. Une approche de modélisation diffère de l'expérimentation classique par l'approche systémique des problèmes qu'elle offre. Cela permet aussi d'agréger les connaissances issues des précédentes études ainsi que de tester des hypothèses sur le fonctionnement d'un système biologique. Il existe des études *in vivo* sur le métabolisme de premier-passage chez le porc, cependant celles-ci sont peu nombreuses et leurs conclusions sont limitées par l'approche « boîte noire » du système intestin grêle.

L'idée de modéliser l'activité métabolique de l'intestin pendant la digestion a déjà été évoquée pour les animaux d'élevage (Bannink *et al.*, 2006), comme chez l'homme (Le Feunteun *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude était donc de créer un modèle mécaniste représentant les flux métaboliques pour un AA générique dans l'intestin grêle chez le porc.

Ces travaux ont pour visée de mieux comprendre le métabolisme des acides aminés dans l'intestin grêle et l'importance que celui-ci peut jouer dans le métabolisme protéique de l'animal.

1. MATERIEL ET METHODES

Tableau 1 – Nom et signification des différents pools du modèle

| Pools (mg) ¹ | Signification |
|-------------------------|---|
| LDP | AA dans protéines alimentaires de lumière intestinale |
| LDF | AA libres alimentaires de la lumière intestinale |
| LEP | AA dans protéines endogènes de la lumière intestinale |
| LEF | AA libres endogènes de la lumière intestinale |
| IDF | AA libres alimentaires dans le tissu intestinale |
| IEF | AA libres endogènes dans le tissu intestinale |
| IEP | AA dans protéines endogènes dans le tissu intestinale |

¹Chacun des pools est présent dans chaque segment du modèle, ce qui fait 7 fois 200 pools pour 200 segments d'intestin.

1.1. Principes généraux

Chaque AA entre dans de nombreuses voies métaboliques qui sont pour certaines communes à tous les AA ou spécifiques à un AA pour d'autres. Pour pallier à cette complexité, nous avons choisi d'utiliser comme unité de ce modèle un AA générique (en mg). Nous nous intéressons uniquement à des processus communs à chacun des AA, comme l'absorption, l'incorporation dans des protéines intestinales ou l'échange avec le sang. Le modèle représente le devenir d'un AA générique, apporté par voie alimentaire, sous la forme de protéine ou sous forme libre. L'intestin grêle est un organe long de plusieurs mètres avec une structure tubulaire sur toute sa longueur. Pour représenter cela au mieux, nous avons décidé de le représenter sous la forme d'une série de segments qui sont des unités fonctionnelles possédant toutes la même structure. Chaque segment est composé de sept compartiments, représentant les différentes formes par lesquelles passent les AA dans le modèle (Tableau 1). Les compartiments représentent la quantité d'AA générique sous une forme donnée (en mg). Trois compartiments correspondent à des AA d'origine alimentaire sous forme libre (IDF) ou des AA endogènes sous forme libre (IEF) ou sous forme de protéines (IEP) dans le tissu intestinal (Figure 1). Quatre compartiments correspondent à des AA dans la lumière intestinale sous forme libre d'origine alimentaire (LDF) ou endogène (LEF) et des AA sous forme de protéines d'origines alimentaire (LDP) ou endogène (LEP). Nous avons choisi de séparer les AA, sous forme libre ou de protéines, selon leur origine alimentaire ou endogène afin de faciliter l'analyse des résultats du modèle. Les compartiments sont connectés par des flux (mg/min) qui représentent la quantité d'AA transitant d'un compartiment à l'autre par unité de temps. Enfin, chaque segment est connecté au suivant au niveau de la lumière intestinale pour prendre en compte les AA sous différentes formes qui transitent d'un segment à l'autre (flèches pointillées, Figure 1).

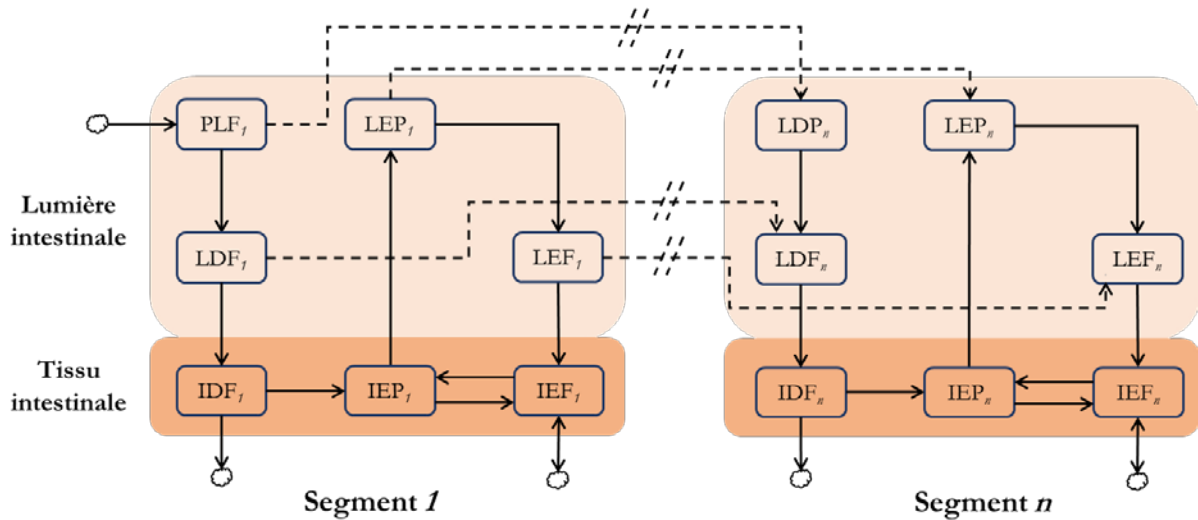


Figure 1 – Schéma de la structure du modèle, avec deux segments connectés l'un à l'autre¹

¹Les nuages représentent l'extérieur du modèle, les rectangles sont les compartiments, les flèches pleines les flux intra-segment et les flèches pointillées les flux qui connectent deux segments

1.2. Construction du modèle

1.2.1. Hydrolyse des protéines dans la lumière et transfert des protéines non hydrolysées au segment suivant

Les flux d'hydrolyse des protéines alimentaires ($LDP \rightarrow LDF$) et endogènes ($LEP \rightarrow LEF$) dans la lumière intestinale ont été modélisés de la même manière en appliquant le même taux fractionnel d'hydrolyse (R_{ph}). De même, le flux de protéines non hydrolysées qui passent au segment suivant ($LDF_1 \rightarrow LDF_n$, $LEP_1 \rightarrow LEP_n$) suit le même comportement, que les protéines soient d'origine alimentaire ou endogène. Ainsi, à chaque pas de temps, une fraction des AA sous forme de protéines endogènes ou alimentaires est hydrolysée pour donner des AA libres, tandis qu'une partie non hydrolysée part vers le segment suivant. Le passage vers le segment suivant se fait en fonction d'un temps de rétention moyen (TRM) dans l'intestin grêle qui est fixé à 3 h dans le modèle.

1.2.2. Absorption des AA libres et passage au segment suivant

L'absorption des AA libres par l'intestin, qu'ils soient d'origine alimentaire ($LDF \rightarrow IDF$) ou endogène ($LEF \rightarrow IEF$), est régi par un transport actif (Broër et Gauthier-Coles, 2022). L'existence d'un transport passif d'AA à travers la muqueuse intestinale, par voie transcellulaire est probable, mais son importance quantitative n'étant pas connue, nous avons fait le choix de ne pas le représenter. Dans le modèle, le transport actif des AA libres est représenté par un flux comprenant une équation de Michaelis-Menten, avec une vitesse maximale d'absorption (V_{ma}) et une constante d'absorption (K_{ma}). Concernant le flux de passage des AA non absorbés, nous avons considéré dans le modèle que l'entièreté des AA non absorbés dans un segment passait vers le suivant à chaque pas de temps ($LDF_1 \rightarrow LDF_n$, $LEF_1 \rightarrow LEF_n$).

1.2.3. Synthèse et protéolyse des protéines intestinales

La synthèse des protéines intestinales endogènes (IEP) se fait à la fois via les AA libres d'origine alimentaire ($IDF \rightarrow IEP$) et endogène ($IEF \rightarrow IEP$). Nous avons introduit un principe d'homéostasie, en considérant que l'intestin essaye de maintenir une valeur cible de protéine (T_{ip}). La synthèse protéique s'ajuste donc en fonction de l'écart entre la taille du pool de protéines intestinales IEP et la valeur cible T_{ip} . Ainsi, le

flux de synthèse protéique se met en place car $IEP < T_{ip}$ du fait de la dégradation constante d'une fraction des protéines intestinales. Un porc de 50 kg possède une masse de protéine intestinale de 240 g (Bolhuis *et al.*, 2007), la valeur T_{ip} dans un segment est calculée comme $240\,000/n_{\text{segment}}$ mg d'AA générique. Le flux global de synthèse protéique se répartie entre un flux d'origine endogène, ou alimentaire, proportionnellement à la taille des pools IDF et IEP (Figure 1).

1.2.4. Echanges d'AA sous forme libre avec le sang

Les échanges d'AA libres (IDF , IEF) avec le sang sont aussi régulés pour le maintien de l'homéostasie. Nous avons considéré que l'intestin cherche à maintenir une valeur cible d'AA libres (T_{ia}). En dessous de cette valeur cible, celui-ci manquerait d'AA pour assurer le fonctionnement de son métabolisme et au-dessus les AA seraient en excès. Nous avons choisi cette cible en considérant un rapport de 1/20 entre AA libres et AA dans les protéines intestinales (Hamard *et al.*, 2009). La quantité d'AA libres dans l'intestin est égale à la somme des AA libres d'origine alimentaire et endogène ($IDF + IEF$). Lorsque cette somme est supérieure à la valeur cible, des AA sont exportés vers le sang, tandis que lorsqu'elle est inférieure, des AA sont importés du sang vers l'intestin. Nous faisons donc ici l'hypothèse que c'est l'intestin qui est prioritaire dans l'utilisation d'AA libres, avant l'export vers le sang.

1.2.5. Sécrétions endogènes

Dans le modèle, les sécrétions endogènes vers la lumière sont représentées par un seul flux ($IEP \rightarrow LEP$). Biologiquement, ce flux représente les sécrétions endogènes qui comprennent à la fois la sécrétion de mucus, d'enzymes mais aussi la desquamation des cellules intestinales. Pour simplifier le modèle, nous avons considéré que les protéines endogènes étaient un seul compartiment homogène. La présence de protéines alimentaires dans la lumière intestinale (LDP) stimule les sécrétions endogènes. Celles-ci sont régies par une équation avec une constante d'affinité (K_{ms}) et une vitesse maximale (V_{ms}). Ainsi, le niveau de sécrétions endogènes est modulé par la quantité de protéines alimentaires dans la lumière intestinale, jusqu'à une certaine limite (V_{ms}). Pendant une simulation, les AA sous forme de protéines endogènes

secrétées commencent par s’accumuler dans le pool LEP. Par la suite, les protéines endogènes peuvent y être hydrolysées tout comme les protéines d’origine alimentaire.

1.3. Calculs

Le métabolisme de premier passage est calculé comme la part d’AA alimentaires métabolisée par l’intestin, comme suit :

$$\text{Premier-passage (\%)} = (1 - \text{AA alimentaires vers le sang} / \text{AA alimentaires absorbés}) * 100$$

Nous avons aussi estimé la digestibilité iléale apparente (DIA) comme suit :

$$\text{DIA (\%)} = (\text{Apports alimentaires} - \text{Somme des protéines et AA à la fin de l'iléon}) / \text{Apports alimentaires} * 100$$

Une partie des sécrétions endogènes (gastriques, bile, suc pancréatique) n’est pas représentée dans le modèle.

Enfin, la digestibilité iléale vraie (DIV) est calculée comme suit :

$$\text{DIV (\%)} = (\text{Somme des AA alimentaires absorbés} / \text{Apports alimentaires}) * 100$$

1.4. Implémentation du modèle

Le modèle est constitué d’une série de segments dont le nombre a été fixé à 200 de manière arbitraire. Une simulation représente une période de 24 h qui comportent cinq apports de protéines alimentaires (repas) et une période de jeûne nocturne sans apport. Durant chacune de ces périodes d’apport alimentaire, des AA sous forme de protéines arrivent pendant une période de 1 h. Nous avons estimé raisonnable de considérer une consommation journalière de 320 g d’AA générique, sous forme de protéines, divisée en cinq périodes d’apport. Ainsi, pendant chaque simulation, à chaque repas, des AA sous forme de protéines arrivent dans le premier segment au niveau du compartiment LDP.

Le modèle est construit avec le logiciel Python, sous la forme d’une série d’équations différentielles de premier ordre. Les équations sont intégrées numériquement avec la méthode Runge-Kutta 4 et un pas de temps de 0,5 minute. Pour paramétrer le modèle, des données issues de la littérature ont été utilisées. Quand celles-ci n’étaient pas disponibles, nous avons utilisées des valeurs jugées raisonnables.

2. RESULTATS

2.1. Comportement général du modèle

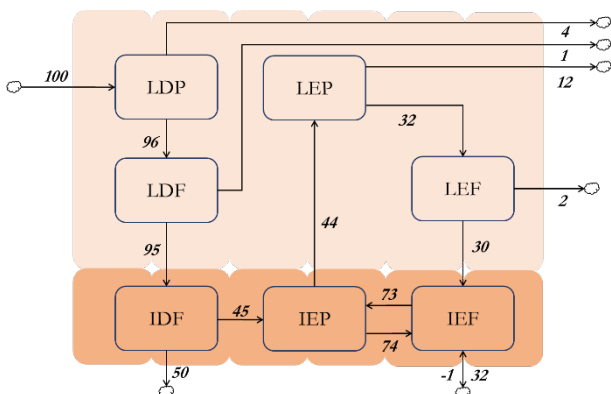


Figure 2 – Bilan des flux totaux après une simulation, exprimés en pourcentages des apports

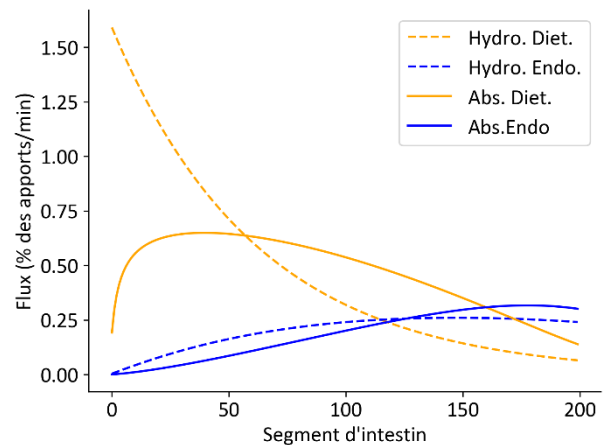
¹320 g d’AA générique = 100 % d’apport

Pendant une simulation, une quantité totale de 320 g d’AA générique entre dans l’intestin fractionnée en cinq périodes

d’apports alimentaire (100%, Figure 2). A la fin de la simulation, 19 % des apports d’AA sortent du dernier segment d’intestin, les 81 % restant étant exportés vers le sang. Parmi les 19 % d’AA retrouvés après le dernier segment d’intestin, la majorité (12 %) sont sous forme de protéines endogènes, suivis par les AA sous forme de protéines alimentaires (4%). Les AA libres alimentaires et endogènes ne représentant que de faibles quantités, respectivement 1 et 2 %. Sur les 81 % d’AA exportés vers le sang, 50% le sont directement et 32 % après avoir été métabolisés par l’intestin. Enfin, l’équivalent de 1 % des apports alimentaire en AA est puisé dans le sang par l’intestin pendant la simulation.

2.2. Sécrétions endogènes et recyclage

Après la simulation, la majeure partie des protéines endogènes est hydrolysée (32 des 44%) dans la lumière intestinale. Sur ces 32% des protéines hydrolysées, la quasi-totalité est absorbée par l’intestin (30%). La dynamique spatiale de l’hydrolyse des protéines endogènes et de leur absorption est illustrée dans la figure 3. L’hydrolyse des protéines endogènes (Hydro. Endo.), exprimée en pourcentage des apports alimentaires, augmente le long des segments d’intestin, mais stagne sur la fin. En parallèle, l’absorption d’AA endogène (Abs. Endo.) suit la dynamique de l’hydrolyse, jusqu’à la dépasser dans les derniers le dernier tiers d’intestin. Enfin, l’absorption d’AA libres d’origine endogène (Abs. Endo.) est plus importante que l’absorption d’AA libres alimentaire (Abs. Alim.) dans le dernier



tiers d’intestin.

Figure 3 – Hydrolyse et absorption des protéines et AA libres d’origine endogène et alimentaire, en fonction du segment d’intestin (% des apports/min)

2.3. Hydrolyse et absorption

Au total, 96 % des protéines alimentaires sont hydrolysées et la grande majorité des AA résultants sont absorbés (95 %). L’hydrolyse des protéines alimentaire a lieu majoritairement dans le premier tiers des segments et devient plus marginale par la suite (Figure 3). Plus la quantité de protéines présentes dans un segment diminue, plus la quantité de protéines hydrolysées diminue. L’absorption des AA libres alimentaires se répartie de manière relativement homogène sur l’ensemble des segments, même si la contribution est plus forte dans la première moitié des segments. En effet, la saturation des transporteurs actifs, représentée par le V_{max} de l’équation de Michaelis-Menten, tend à lisser l’absorption le long des segments.

2.4. Synthèse protéique

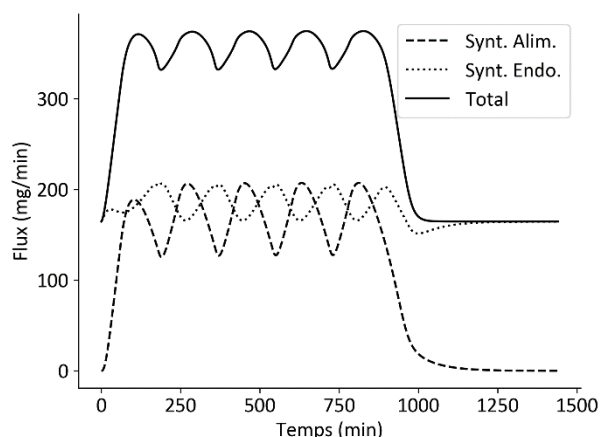


Figure 4 – Synthèse protéique (mg/min) dans les 200 segments d'intestin en fonction du temps (minute)¹

¹La synthèse est divisée selon l'origine des AA libres, endogènes (pointillés), alimentaires (tirets) ou le totaux (trait plein).

L'utilisation des AA pour la synthèse protéique s'ajuste et varie selon l'alternance des repas (Figure 4). Ce résultat est lié au fait que les sécrétions endogènes, qui pilotent la synthèse protéique, s'ajustent par convention en fonction de la présence de protéines alimentaires (*LDP*). La contribution relative des AA libres alimentaires ou endogènes est équivalente sur la période de journée, tandis que la nuit, seuls les AA libres endogènes contribuent à la synthèse protéique. Lors d'une période d'apports alimentaires, la synthèse protéique d'origine alimentaire devient légèrement supérieure à celle d'origine endogène.

2.5. Indicateurs

| Indicateur | |
|--|----|
| Premier-passage (% absorbé) | 47 |
| Digestibilité iléale apparente (% des apports) | 81 |
| Digestibilité iléale vraie (% des apports) | 95 |

Dans le modèle, 47 % des AA alimentaires sont métabolisés en premier-passage. La digestibilité iléale apparente (*DIA*) est de 81 %, tandis que la digestibilité iléale vraie (*DIV*) est de 95 %.

DISCUSSION & CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons construit un modèle dynamique mécaniste visant à représenter des flux métaboliques d'AA dans l'intestin chez le porc. Ce modèle permet de simuler le devenir d'un AA générique dans l'intestin grêle, entre la vidange gastrique et l'entrée dans le gros intestin. Nous nous sommes intéressés à l'intestin grêle car c'est l'organe où les AA alimentaires sont absorbés et qui joue un rôle clé dans la fourniture en AA au reste de l'organisme (van der Wielen *et al.*, 2021). Nos résultats ne peuvent pas être présentés comme une réalité biologique absolue, mais plutôt comme des estimations obtenues par l'intégration de principes plausibles. C'est avant tout le comportement du modèle et les ordres de grandeurs obtenus qui nous intéressent. Notre modèle est unique dans le sens où il est le résultat de notre conception d'un système biologique, l'intestin grêle, et il est probable que d'autres l'auraient représenté autrement (Tedeschi, 2023). L'approche

classique de la recherche en physiologie animale consiste à observer, conclure et appliquer, ce qui correspond à une approche heuristique. Ici, à l'inverse, nous cherchons à représenter et comprendre les principes de fonctionnement des flux d'AA au niveau de l'intestin grêle, sans chercher à faire de prédiction précise en termes de valeurs. L'approche de modélisation est donc complémentaire à l'expérimentation classique et permet une prise de recul sur un problème donné. Dès à présent, notre approche représente un complément à l'expérimentation animale permettant de réduire le recours aux animaux. En effet, la construction de modèle est un outil utile afin d'identifier les manques de connaissances dans un domaine. A termes, il pourrait même constituer une alternative à l'expérimentation animale.

Une des raisons qui a justifié la construction de ce modèle, outre un besoin de mieux connaître les flux d'AA au niveau de l'intestin, était de mieux comprendre le métabolisme de premier passage. Les résultats de ce modèle suggèrent que, même si près de la moitié (47 %) des AA absorbés sont métabolisés par le tissu intestinale, la majorité arrive à la fin de la simulation dans le sang (87 %). *In vivo*, le premier passage a été estimé à 44 % pour les AA essentiels (Stoll *et al.*, 1998), suggérant que seule la différence apparaît dans le sang. Ce n'est pas le cas dans notre modèle, puisque les AA métabolisés en premier passage peuvent *in fine* apparaître après avoir été métabolisés par l'intestin.

Les AA métabolisés en 1^{er} passage se retrouvent sous forme de protéines dans l'intestin (*IEP*). Cependant, notre modèle ne prend pas en compte une variation de la masse de l'intestin pendant le repas, cela n'offre pas de possibilité de stockage des AA. Les AA métabolisés par l'intestin peuvent aussi être sécrétés dans la lumière intestinale, ce qui correspond aux sécrétions endogènes. C'est la principale source de « perte » d'AA dans notre modèle. C'est la capacité d'hydrolyse des protéines endogènes et d'absorption des AA issus de cette hydrolyse qui limite le recyclage des protéines endogènes.

Nous avons considéré que le taux d'hydrolyse des protéines alimentaires et endogènes était le même. La différence dans le taux d'hydrolyse finale des protéines endogènes et alimentaires s'explique par la sécrétion plus tardive ou distale de ces dernières. En faisant cette hypothèse, nous calculons, dans les segments les plus distaux, une proportion de protéines endogènes sur protéines alimentaires cohérente avec des résultats obtenus *in vivo* à la fin de l'iléon (Stein *et al.*, 1996). Cela suggère que les protéines endogènes ne sont peut-être pas plus résistantes à l'hydrolyse que de protéines issues de matière premières végétales. Ce point de vue peut être discuté, notamment pour les mucines qui représentent 25 % des pertes endogènes à la fin de l'iléon (van der Schoor *et al.*, 2002).

Dans ce modèle, nous avons choisi de représenter l'absorption d'AA par le tissu intestinal uniquement avec des transports actifs. L'ajout de diffusion passive dans le modèle pourrait potentiellement changer le comportement du modèle. Une dizaine de transporteurs d'AA ont été identifiés dans l'intestin, tous capables de transporter plusieurs substrats (Broër et Gauthier-Coles, 2022). Une compétition entre AA peut ainsi se mettre en place au moment de l'absorption mais ce phénomène n'est pas inclus dans le modèle. En revanche, le modèle simule une compétition entre AA d'origine alimentaire et endogène pour l'absorption.

Le concept d'homéostasie est au cœur du fonctionnement du modèle, puisqu'il pilote la synthèse de protéines intestinales et les échanges avec le sang. Cette hypothèse permet de simplifier

les équations, puisque que certains flux comme les échanges avec le sang, ne sont contrôlés que par une valeur cible. Au contraire, Mills *et al.* (2017) ont choisis de représenter explicitement le mécanisme de transport vers le sang, faisant en sorte que l'homéostasie résulte de ce choix d'équation et de paramètres.

Notre modèle constitue une première version et d'autres développements sont à venir comme l'intégration des voies du catabolisme des AA et du coût énergétique des voies métaboliques. De même, le modèle pourra être développé pour intégrer les différentes voies métaboliques associées à certains AA.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Sève, B., Ballèvre, O., Ganier, P., Noblet, J., Prugnaud, J., Obléd, C., 1993. Recombinant porcine somatotropin and dietary protein enhance protein synthesis in growing pigs. *J. Nutr.*, 123, 529-540.
- Stoll, B., Henry, J., Reeds, P. J., Yu, H., Jahoor, F., & Burrin, D. G., 1998. Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. *J. Nutr.*, 128, 606-614.
- van Milgen, J., Valancogne, A., Dubois, S., Dourmad, J. Y., Sève, B., & Noblet, J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143, 387-405.
- Leterme, P., Théwis, A., François, E., Van Leeuwen, P., Wathélet, B., & Huisman, J., 1996. The use of 15N-labeled dietary proteins for determining true ileal amino acid digestibilities is limited by their rapid recycling in the endogenous secretions of pigs. *J. Nutr.*, 126, 2188-2198.
- Bannink, A., Dijkstra, J., Koopmans, S. J., & Mroz, Z., 2006. Physiology, regulation and multifunctional activity of the gut wall: a rationale for multicompartamental modelling. *Nutrition Research Reviews*, 19, 227-253.
- Le Feunteun, S., Al-Razaz, A., Dekker, M., George, E., Laroche, B., Van Aken, G., 2021. Physiologically based modeling of food digestion and intestinal microbiota: State of the art and future challenges. *Annu. rev. food sci. technol.*, 12, 149-167.
- Bröer, S., & Gauthier-Coles, G., 2022. Amino acid homeostasis in mammalian cells with a focus on amino acid transport. *J. Nutr.*, 152(1), 16-28.
- Hamard, A., Mazurais, D., Boudry, G., Le Huërou-Luron, I., Sève, B., & Le Floch, N., 2010. A moderate threonine deficiency affects gene expression profile, paracellular permeability and glucose absorption capacity in the ileum of piglets. *J. Nutr. Biochem.*, 21(9), 914-921.
- Van Der Wielen, N., De Vries, S., Gerrits, W., Jannink, K., Moughan, P., Mensink, M., & Hendriks, W., 2021. Presence of unabsorbed free amino acids at the end of the small intestine of humans and pigs: Potential implications for amino acid bioavailability. *Curr. Dev. Nutr.*, 5, 5140530.
- Tedeschi, L. O., 2023. The prevailing mathematical modelling classifications and paradigms to support the advancement of sustainable animal production. *Anim.*, 100813.
- Van der Schoor, S. R., Reeds, P. J., Stoll, B., Henry, J. F., Rosenberger, J. R., Burrin, D. G., & Van Goudoever, J. B., 2002. The high metabolic cost of a functional gut. *Gastroenterology*, 123, 1931-1940.
- Stein, H. H., Trottier, N. L., Bellaver, C., & Easter, R. A., 1999. The effect of feeding level and physiological status on total flow and amino acid composition of endogenous protein at the distal ileum in swine. *J. Anim. Sci.*, 77, 1180-1187.
- Mills, J. A., France, J., Ellis, J. L., Crompton, L. A., Bannink, A., Hanigan, M. D., & Dijkstra, J., 2017. A mechanistic model of small intestinal starch digestion and glucose uptake in the cow. *J. Dairy Sci.*, 100, 4650-4670.



Intégrité de la paroi cellulaire du pois et impact sur la digestibilité des protéines

Myriam GRUNDY, Marie-Hélène PERRUCHOT, David RENAUDEAU, Jaap VAN MILGEN

PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint Gilles, France

Myriam.grundy@inrae.fr

Avec la collaboration de Linda GIBLIN, Sandra WIART-LETORT, Frédérique MAYEUR-NICKEL, Gaëlle BOUDRY, Etienne LABUSSIÈRE, Guillaume POUPEAU, Julien GEORGES, Maxence NOEL et Yannick LE NEVANEN

Intégrité de la paroi cellulaire du pois et impact sur la digestibilité des protéines

Les fibres alimentaires contenues dans les régimes alimentaires du porc peuvent influencer de manière négative la digestibilité des protéines, et de ce fait les performances des animaux. Cette étude avait pour but d'étudier un mécanisme spécifique des fibres, l'encapsulation des nutriments, compromettant la digestibilité et l'absorption de la matière azotée du pois (ingrédient modèle) chez le porc. Pour ce faire, une étude chez le porc en croissance (six mâles entiers de race Piétrain × (Large White × Landrace) inclus dans un dispositif en carré latin 2 x 2 répété sur deux périodes de 14 jours) combinée à des expériences *in vitro* ont été réalisées. Ainsi, du pois, sous différentes formes (farines, protéines extraites, particules de différentes tailles et cellules isolées), a été analysé, avant et après digestion, en utilisant différentes méthodes biochimiques et biophysiques. De manière générale, les données *in vitro* montrent qu'une faible taille des particules de pois augmente leur digestibilité de 30 % ($P < 0,05$). Ces résultats concordent avec ceux obtenus chez l'animal qui montrent une augmentation de 20 % ($P < 0,05$) de la digestion des protéines entre farine structurée et déstructurée. La pénétration des enzymes digestives dans les parois cellulaires du pois semble dépendre de la taille des particules. Des particules de pois plus grosses nécessitent un temps de digestion plus élevé pour permettre une hydrolyse des protéines (une fraction restant intacte pour les particules les plus larges). D'un point de vue physiologique, les fibres du pois semblent avoir un effet abrasif sur les cellules intestinales. Cette étude confirme que la structure de l'aliment influence la digestion des protéines et leur utilisation par l'animal. Les fibres alimentaires, en fonction de leur intégrité, ont différents effets sur la physiologie intestinale.

Pea cell wall integrity and impact on protein digestibility

Dietary fibre in pig diets can decrease protein digestibility and absorption, and thus animal performance. The aim of this study was to investigate a specific fibre mechanism, nutrient encapsulation, which decreases the digestibility and absorption of pea nitrogen (a model ingredient) in pigs. To this end, a study of growing pigs (six entire males of the Pietrain × (Large White × Landrace) in a 2 x 2 Latin square design, replicated over two 14-day periods), combined with *in vitro* experiments, was performed. Peas in various forms (flours, extracted proteins, particles of different sizes and isolated cells) were analysed, before and after digestion, using a variety of biochemical and biophysical methods. Overall, *in vitro* data showed that smaller particle sizes of pea increase digestibility of 30 % ($P < 0.05$). These results agree with those obtained in the pigs, which showed a 20 % ($P < 0.05$) increase in protein digestibility between structured and unstructured flour. The particle size appeared to influence how well digestive enzymes could penetrate the pea cell wall. Larger pea particles required more digestion time to enable protein hydrolysis (and a fraction of the larger particles remained intact). From a physiological viewpoint, pea dietary fibre appears to abrade intestinal cells. This study confirms that the structure of the feed influences protein digestion and use by pigs. Effects of dietary fibre on intestinal physiology depend on the cell wall integrity.

INTRODUCTION

Un apport élevé en fibres dans l'alimentation peut avoir une influence néfaste sur l'utilisation des nutriments chez le porc (Le Sciellour *et al.*, 2018 ; Noblet et Le Goff, 2001). Toutefois, d'un point de vue fonctionnel, les fibres permettent d'améliorer la santé intestinale et la fonction immunitaire via notamment l'activité microbienne (Jha *et al.*, 2019). L'effet des fibres sur le tube digestif et la digestion dépend de leur nature et des propriétés physico-chimiques qui leur sont associées (Bach Knudsen, 2001 ; Williams *et al.*, 2019). Les mécanismes par lesquels les fibres constitutives des parois cellulaires influencent la digestion des protéines sont encore mal compris. En pratique, cette méconnaissance peut avoir des conséquences importantes sur la manière d'évaluer la valeur protéique des ressources riches en fibres. D'après les données disponibles dans la littérature, les polysaccharides complexes pourraient avoir un effet direct sur l'accessibilité des enzymes digestives aux protéines (phénomène d'encapsulation des nutriments) mais également un effet indirect via une modification du transit et plus généralement des particularités physico-chimiques du bol alimentaire (Bach Knudsen, 2001 ; Bach Knudsen *et al.*, 2012). En particulier, le phénomène d'encapsulation influence la quantité de protéines libérées de la matrice végétale (bioaccessibilité) et la vitesse à laquelle elles sont hydrolysées ; ces paramètres vont influencer le site d'absorption des produits de digestion ainsi que la vitesse et étendue d'apparition des acides aminés dans le sang. Pour être compris, ces processus complexes nécessitent à la fois des analyses *in vitro* afin de déterminer les comportements des fibres durant la digestion et des études *in vivo* pour confirmer les données obtenues et relier ces mécanismes aux réponses physiologiques mesurées chez l'animal.

Ce projet visait à déterminer l'effet de la structure de la matrice alimentaire (encapsulation par les parois cellulaires) sur la biodisponibilité et la digestibilité de la fraction azotée. Pour cela, nous avons utilisé le pois comme modèle car ses parois cellulaires sont principalement composées de polysaccharides insolubles (pectine et hémicellulose insolubles) en milieu aqueux (tel que le lumen du tube digestif). Cette étude a combiné des approches *in vivo* et *in vitro* pour étudier l'impact de l'encapsulation des protéines par les parois cellulaires sur leur digestibilité. En particulier, des cellules épithéliales intestinales porcines provenant du jéjunum (IPEC-J2) ont été utilisées pour évaluer l'effet des fibres du pois sur l'intégrité des cellules intestinales.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Matières premières

Les graines (*Pisum sativum* L.), les protéines (Prot), l'amidon et les fibres de pois (Fib) ont été fournis par l'entreprise Roquette (Vic-sur-Aisne, France). Les graines de pois ont été broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux équipé d'une grille de 2,5 mm pour produire de la farine de pois. Les ingrédients du pois ont été inclus dans deux formulations d'aliments de composition chimique identique mais de deux formes différentes : farine brute (R1, parois cellulaires intactes et protéines encapsulées au sein des fibres) ou farine reconstituée à partir des différentes fractions isolées du pois : protéines, fibres, amidon (R2, Tableau 1). De plus, la farine a été fractionnée en particules de différentes tailles à l'aide de tamis (1000, 600 et 300 µm) afin de déterminer à partir de quelle taille la digestion de la fraction

azotée était diminuée. Enfin, des cellules isolées à partir du pois ont été utilisées comme échantillon contrôle pour lequel les protéines étaient totalement encapsulées par les parois cellulaires - évaluation de la porosité des parois cellulaires du pois aux enzymes digestives. Les cellules ont été isolées par incubation des graines de pois dans une solution contenant du bicarbonate (1,5 %, w/v) et du carbonate (0,5 %, w/v) de sodium pendant 16 h, puis cuisson à 60°C pendant 1 h, séparation au mortier et au pilon, et collection sur tamis (150 et 71 µm) comme réalisé précédemment (Junejo *et al.*, 2021).

Tableau 1 – Ingrédients inclus dans les formulations R1 et R2

| Formulation | R1 | R2 |
|----------------------|-------|-------|
| Ingrédients (%) | | |
| Pois | 82,0 | |
| Fibres de pois | | 24,8 |
| Protéines de pois | | 20,2 |
| Amidon de pois | 14,7 | 51,7 |
| Phosphate bicalcique | 1,1 | 1,1 |
| Carbonate de calcium | 1,0 | 1,0 |
| Premix 0,5% | 0,5 | 0,5 |
| Sel | 0,4 | 0,4 |
| Dioxyde de titane | 0,3 | 0,3 |
| Total | 100,0 | 100,0 |

1.2. Caractérisation chimique et physique des matières premières et digestats

1.2.1. Composition nutritionnelle

La teneur en protéines a été mesurée selon la méthode Dumas (LECO, FP828 Carbon/Nitrogen/Protein Determinator, Villepente, France, AOAC 968.06) en utilisant un facteur de conversion de l'azote de 5,4 (Mariotti *et al.*, 2008). Les teneurs en matières sèches (à 104°C jusqu'à obtention d'un poids constant, AOAC 935.29) ont également été déterminées. Les teneurs en fibres insolubles dans les détergents neutres (NDF), en fibres insolubles dans les détergents acides (ADF) et en lignine ont été déterminées à l'aide de sacs à fibres (modèle F57, Ankom Technology, Macedon, NY, USA) et d'un analyseur de fibres (ANKOM DELTA Automated Fiber Analyzer, Ankom Technology). Les échantillons ont également été analysés pour leur composition en fibres solubles (SDF) et insolubles (IDF) en utilisant la méthode AOAC 991.43 (Megazyme kit assay, Megazyme, Product Code : K-TDFR). Les fibres alimentaires totales (TDF) ont ensuite été calculées en ajoutant le SDF à l'IDF. Chaque série d'échantillons a été analysée en trois exemplaires.

1.2.2. Taille des particules

La distribution de la taille des particules des échantillons (matières premières et digestats, *in vivo* et *in vitro* comme décrit ci-dessous) a été mesurée à l'aide d'un granulomètre à diffraction laser Malvern 3000 couplé à une unité de dispersion (Hydro LV) remplie d'eau distillée (Malvern Instruments Ltd.). L'indice de réfraction de l'eau était de 1,330 et de 1,600 pour les matières premières, et la valeur d'absorbance était de 0,001. Les distributions des tailles des particules, exprimées en pourcentage de volume moyen, sont présentées comme les moyennes d'au moins trois répétitions par échantillon.

Tableau 2 – Composition nutritionnelle¹ des régimes et ingrédients utilisés dans cette étude

| Composition | R1 | R2 | Farine | Cellules |
|-----------------------|-------|-------|--------|----------|
| EB (MJ/kg) | 17,31 | 17,78 | 18,17 | |
| Matières sèches (%) | 87,48 | 90,58 | 87,68 | 21,07 |
| Protéines (% N x 5,4) | 17,01 | 17,01 | 20,79 | 8,57 |
| Amidon (%) | 53,63 | 55,28 | 49,04 | |
| TDF (%) | 18,20 | 18,2 | 19,58 | 13,83 |
| IDF (%) | 13,95 | 13,52 | 13,75 | 13,22 |
| SDF (%) | 4,23 | 4,68 | 5,83 | 1,24 |
| NDF (%) | 5,90 | 6,76 | 7,24 | |
| ADF (%) | 1,42 | 2,15 | 1,75 | |
| ADL (%) | 0,04 | 0,03 | 0,06 | |

¹ EB : énergie brute, MS : matière sèche, TDF : fibres alimentaires totales, IDF : fibres alimentaires insolubles, SDF : fibres alimentaires solubles, NDF : fibres insolubles dans les détergents neutres, ADF : fibres insolubles dans les détergents acides, ADL : lignine insoluble dans les détergents acides.

1.2.3. Observation microscopique des digestats

Les échantillons destinés à la microscopie ont été prélevés avant et après digestion, montés sur des lames de microscopie, puis visualisés à l'aide d'un microscope apotome et du logiciel Zen (Apotome™, Zeiss, France). Les images ont été capturées à l'aide d'objectifs 10x et 20x.

1.3. Etude *in vivo*

Huit porcs mâles entiers, croisés Piétrain × (Large White × Landrace), ont été étudiés dans un dispositif en carré latin répété sur deux périodes de 14 jours. Les porcs ont été logés dans des enclos individuels et ont reçu le régime expérimental (R1 ou R2) six fois par jour. À la fin de l'expérience, les animaux ont été sacrifiés, le contenu de leur système digestif et des biopsies d'intestin grêle ont été collectés (5 h après l'ingestion du repas). Les échantillons prélevés ont été observés par microscopie optique (voir section 1.2.3.). La taille des particules des matières premières et des digestats a également été déterminée comme décrit dans la section 1.2.2.

Les échantillons de tissus d'intestin grêle ont été prélevés au niveau du jéjunum (environ 3 cm). Après avoir recueilli le contenu, ils ont été lavés avec une solution saline (PBS) et fixés dans du formol (4%). Après des bains successifs d'éthanol et de butan-1-ol, les échantillons ont été intégrés dans de la paraffine, sectionnés et colorés à l'hématoxyline et l'éosine des coupes en vue de l'analyse morphométrique des villosités.

1.4. Etude *in vitro*

1.4.1. Modèle de digestion

Les régimes et ingrédients (R1, R2, les particules de farine de pois de différentes tailles, les cellules isolées, et les protéines et les fibres pures de pois) ont été digérées *in vitro*. Un modèle simulant la digestion gastro-intestinale porcine a été adapté d'une méthode standardisée (Brodkorb *et al.*, 2019). Brièvement, après 2 min d'incubation à 39°C à pH 7 pour simuler la phase orale, les échantillons ont été soumis à des digestions gastrique (120 min à 39°C, pH 3 ; en présence de pepsine) et duodénale (120 min à 39°C, pH 7 ; en présence de sels biliaires et de pancréatine). La composition des fluides

simulés utilisés pour chaque phase de digestion peut être consultée ailleurs (Brodkorb *et al.*, 2019). La quantité d'échantillon utilisée a été ajustée en fonction de la teneur en protéines pour maintenir un ratio substrat/protéases constant et correspondait à 0,130 g de protéines sur la base du poids sec. Les réactions enzymatiques ont été arrêtées en augmentant le pH à 9 avec NaOH 5 N à la fin de la phase intestinale. Chaque digestion a été réalisée en trois exemplaires sans (protéines bioaccessibles) et avec (protéines hydrolysées) enzymes. Les échantillons ont ensuite été centrifugés (2 500 g à 4°C pendant 10 min) ; une partie du surnageant collecté (pour les expériences d'absorption, section 1.4.2.) et le culot lavé et filtré à l'aide d'un tamis cellulaire (Falcon®, pores de 40 µm). L'étape de lavage est indispensable à l'analyse des protéines avec les LECO car elle permet d'éliminer les enzymes et autres protéines des préparations de pepsine, de pancréatine et de sels biliaires.

1.4.2. Modèle d'intégrité et de perméabilité cellulaire

Les expériences sur l'intégrité des cellules intestinales ont été réalisées à partir de la lignée cellulaire IPEC-J2 (cellules épithéliales intestinales porcines du jéjunum). Les IPEC-J2 ont été cultivées en insert (inserts de membrane en polyester de taille de pore 0,4 µm) dans un milieu de culture contenant du DMEM (Milieu de Eagle modifié par Dulbecco) / Ham's F-12, 5 % de sérum de porc, 1 % de mélange antibiotique-antimycosique, 1 % ITS (insuline humaine recombinante 1 mg/mL, transferrine 0,6 mg/mL et sélénium 0,6 µg/mL), et 5 ng/mL d'EGF (Epithelial Growth Factor). L'intégrité de la monocouche cellulaire a été évaluée via la mesure, tous les deux jours, de la résistance électrique transépithéliale (TEER). La perméabilité paracellulaire gastro-intestinale a été évaluée grâce à l'utilisation de macromolécules conjuguées à des fluorophores (l'isothiocyanate-dextran de fluorescéine FITC-dextran de 4kDa ou FD4).

Au bout de 11 jours de culture, les surnageants des digestats *in vitro* (protéines, ProtT ; fibres, FibT ; R1, R1T ; et R2, R2T) dilués au 10^{ème} dans du milieu de culture et contenant du Pefabloc à 1 mM pour inhiber les protéases, ont été appliqués aux cellules. Afin de tester l'effet des différents agents de digestion, en particulier les électrolytes présents dans les fluides simulés, les sels biliaires, et les enzymes, différents contrôles ont été utilisés. Ainsi, le contrôle C correspond aux cellules sans digestat (milieu de culture seulement). Les échantillons H₂O-bile et H₂O+bile correspondent à de l'eau sans et avec bile, respectivement. Les Prot, Fib, R1 et R2 sont les ingrédients sans enzyme ni bile. Le FD4 à raison de 10 mg/mL a été ensuite ajouté, et sa diffusion suivie pendant 4 h en prélevant 100 µL du milieu basal et en lisant l'absorbance à 495/525 nm en spectrophotométrie.

Pour l'analyse par immunofluorescence, des protéines des jonctions serrées des cellules IPEC-J2, les Zonula Occludens-1 (ZO-1), ont été marquées. Après fixation au méthanol, les cellules ont été perméabilisées avec 0,5 % de Triton X-100 et bloquées avec 5 % d'albumine de sérum bovin. Après lavage, les échantillons ont été incubés avec l'anticorps monoclonal de souris anti-ZO-1 (ZO1-1A12, Thermofisher, Saint-Herblain) couplé à de l'Alexa 594. Les images ont été capturées avec un microscope apotome en utilisant une longueur d'onde d'excitation de 550 nm et d'émission de 605 nm.

1.5. Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide de R Studio (version 4.1.2) par un test de Kruskal-Wallis suivi d'un test *post hoc* non

paramétrique de Dunn. Pour tous les tests, le niveau de signification a été fixé à $P < 0,05$ (bilatéral). Les données sont exprimées en tant que moyennes des répliquats (biologiques pour l'étude *in vivo* et les cellules IPEC-J2) \pm écart-type (SD).

2. RESULTATS

2.1. Caractérisation des digestats collectés *in vivo* et *in vitro*

La taille moyenne des particules des deux régimes, R1 et R2, avant et après digestion gastro-intestinale est représentée sur la figure 2. Les données *in vitro* et *in vivo* sont similaires et on observe un déplacement dans la distribution des tailles des particules de R1 vers la droite, indiquant une disparition des petites particules (c'est-à-dire des protéines solubilisées et des granules d'amidon) et un gonflement de certaines des grosses particules. En ce qui concerne R2, une tendance opposée est observée, les particules de plus grande taille étant décomposées, ceci suggère que les agrégats de protéines ont été dissous et finalement hydrolysés.

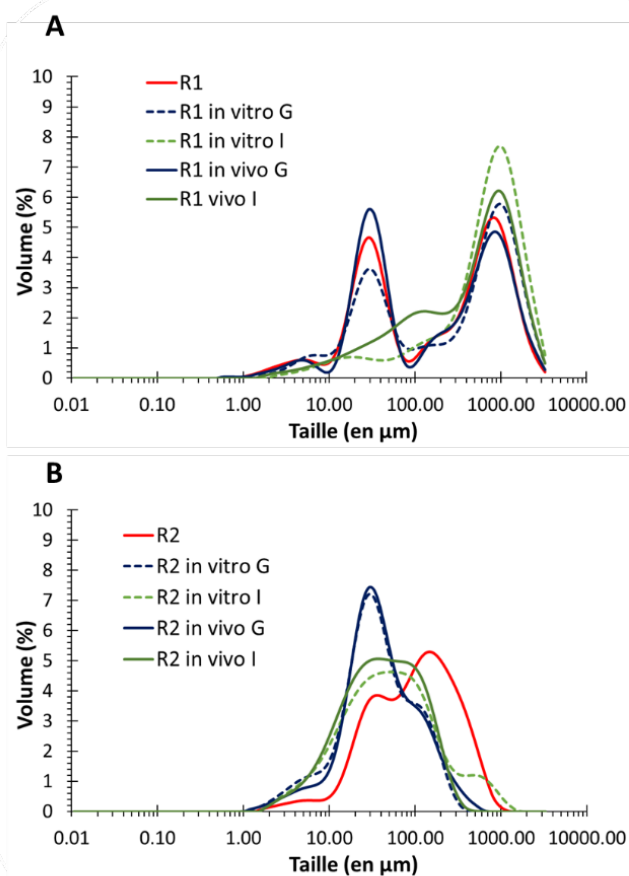


Figure 1 – Taille des particules avant et après digestion de R1 (A) et R2 (B), *in vitro* et *in vivo*, G : phase gastrique et I : phase intestinale

La figure 2 confirme ces résultats et montre pour R1 la présence de particules de pois quasiment intactes même au dernier stade (iléon) de la digestion. Pour R2, la majorité des protéines semble avoir été digérée durant leur trajet à travers l'intestin grêle et n'est ainsi plus visible dans les échantillons issus de l'iléon.

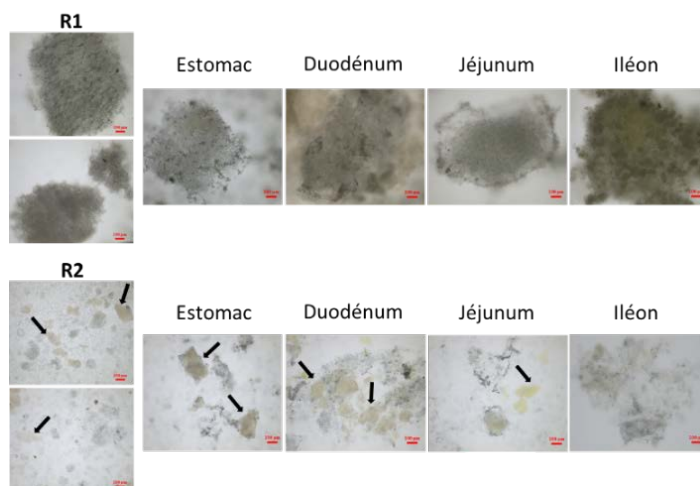


Figure 2 – Images de particules récupérées avant (photos de gauche, R1 et R2) et après la digestion *in vivo* de R1 et R2 dans les différents compartiments du tube digestif. Les flèches noires indiquent les protéines (agrégats).

2.2. Etude *in vitro*

2.2.1 Expériences de digestion *in vitro*

Le pourcentage de protéines libérées (protéines bioaccessibles) à partir des ingrédients du pois diffèrent entre eux (Figure 3). Bien que totalement bioaccessibles (non encapsulées par les fibres), les protéines de R2 n'étaient pas solubles, une proportion importante d'entre elles a donc précipité, d'où la faible valeur de protéines « bioaccessibles » (52 % comparé à 67 % pour R1). Les cellules quant à elles avaient le pourcentage de protéines bioaccessibles le plus bas, démontrant l'effet encapsulateur de la paroi cellulaire du pois. Comme attendu, lorsque la taille des particules diminuait la bioaccessibilité des protéines augmentait. La même tendance est observée pour les échantillons hydrolysés. La déstructuration des fibres du pois, R2 par rapport à R1, a entraîné une augmentation de 18 % de la digestion des protéines ($P < 0,05$). Les cellules avaient une proportion de protéines hydrolysées élevée, similaire à R2, suggérant que les protéases ont pu pénétrer la paroi cellulaire.

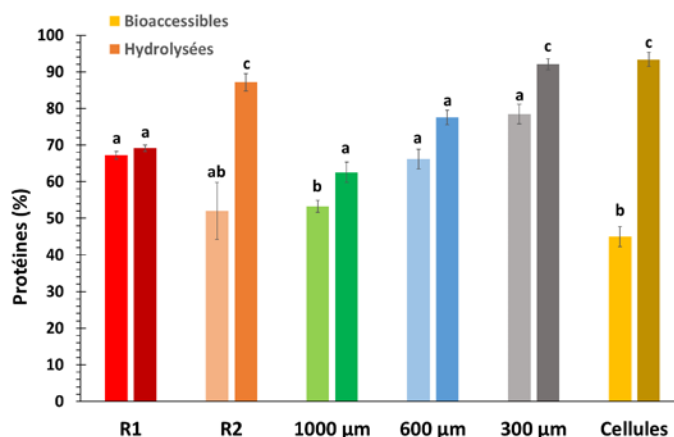


Figure 3 – Quantité de protéines, en pourcentage, libérées de la matrice (bioaccessibles) et hydrolysées pour chaque ingrédient.

Lettres communes : $P > 0,05$.

Ceci est confirmé par les données de la figure 4, en particulier l'image 2 qui montre des cellules vidées de leur contenu. La taille des cellules reste inchangée après digestion alors qu'une légère augmentation de la taille moyenne est observée pour les différentes fractions de la farine (1000, 600 et 300 µm). Cette tendance est certainement due à la disparition des petites particules (amidon et protéine libres) et un gonflement des particules comme observé pour R1.

2.2.2. Impact des digestats sur les cellules épithéliales

Les tissus intestinaux prélevés sur les animaux ont été observés par microscopie optique après fixation, et la taille des villosités et des cryptes mesurée. Les animaux ayant reçu R2 comme dernier traitement avaient des villosités de taille plus importante ($P < 0,05$) au niveau du jéjunum (aire de 537 cm² et longueur moyenne de 383 µm) que les animaux ayant consommé R1 (aire de 488 cm² et longueur moyenne de 403 µm). Pour compléter ces résultats et comprendre les mécanisme derrière ces observations, l'intégrité et la perméabilité d'une lignée cellulaire, IPEC-J2, ont été évaluées.

La TEER augmente jusqu'au 9^{ème} jour de culture (400 Ohms/cm² correspondant à une valeur physiologique), et reste stable jusqu'au 11^{ème} jour, quand commencent les expériences avec les digestats.

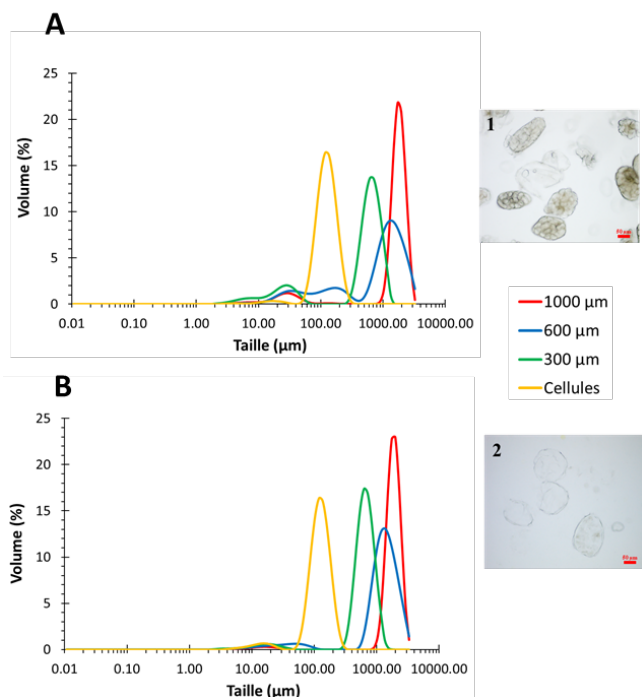


Figure 4 – Taille de particules des ingrédients de pois après incubation sans (A, bioaccessibles) et avec (B, hydrolysées) enzymes. Les images à droite montrent les cellules isolées récupérées après incubation sans (1) et avec (2) enzymes

La figure 5 présente la quantité de FD4, en ng/mL, ayant diffusé entre 15 min et 4 h pour chacun des traitements expérimentaux. En absence d'agent de digestion (sels biliaires et enzymes), R1 permet le passage d'une plus grande quantité de FD4 au bout de 2 et 4 h, suggérant un effet abrasif plus important que pour R2 ou les protéines seules (Prot) ($P < 0,05$). Les fibres seules (Fib) ont également un effet abrasif important permettant ainsi la diffusion du FD4. Par contre, en présence de sels biliaires et d'enzymes, R2 affecte le tapis cellulaire, et donc sa perméabilité au FD4, de manière similaire à R1 et aux fibres pures.

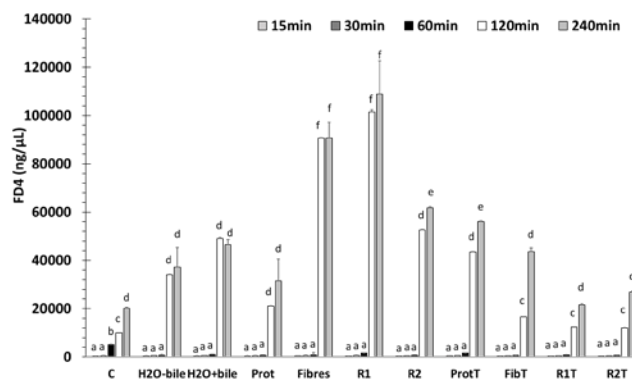


Figure 5 – Mesure du passage du FD4 (ng/µL) à travers les cellules IPEC-J2 en présence des différents digestats (mesure de la perméabilité)

Lettres communes : $P > 0,05$

Les protéines de jonction serrée ZO-1 ont été localisées dans les régions de contact cellule-cellule, comme montré dans la figure 6. Après 2 h d'incubation, les cellules en contact du digestat issu des protéines pures montrent une diminution de l'expression de ZO-1 (-20 %, en intensité de marquage). Cependant, aucune différence n'est observée entre R1 et R2 et ni entre ces échantillons et le contrôle. Ces résultats concordent avec les expériences de diffusion du FD4 (Figure 5).

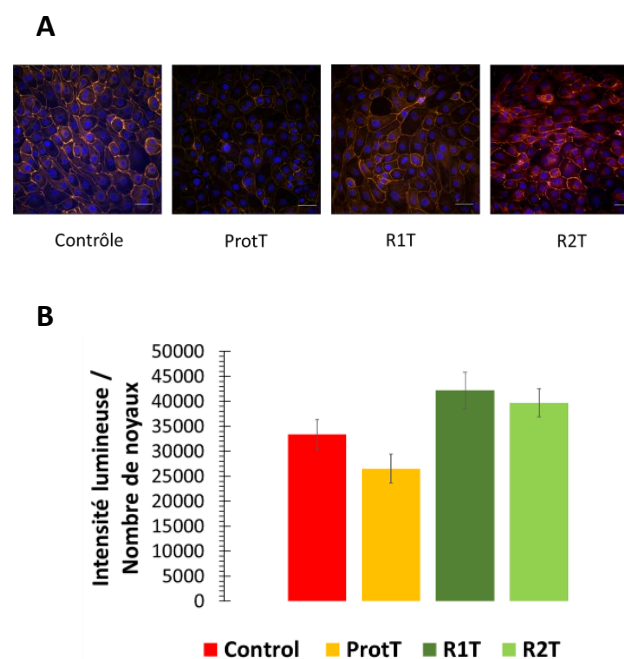


Figure 6 – A) Immunomarquage ZO-1 en rouge et contre-marquage DAPI des noyaux en bleu à 2 h d'incubation (barre d'échelle = 10 µm) ; B) intensité lumineuse mesurée en fonction du nombre de noyaux

3. DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette étude, combinant expériences *in vivo* et *in vitro*, avait pour objectif d'explorer l'effet des fibres à la fois sur la digestion (hydrolyse par les protéases) des protéines mais également sur la physiologie intestinale du porc.

Les expériences de digestibilité ont permis d'estimer le niveau de bioaccessibilité et d'hydrolyse des protéines en fonction de l'intégrité des parois cellulaires. On a ainsi pu démontrer que la

paroi cellulaire diminuait l'hydrolyse des protéines en comparant R1 et R2. Nous avons voulu aller plus loin et évaluer à partir de quelle taille de particules la digestibilité était compromise. Ainsi, des particules d'une taille moyenne de 300 µm aboutissaient à une hydrolyse comparable à celle de R2. La porosité de la paroi cellulaire du pois a également été étudiée en utilisant des cellules isolées à partir de graines de pois. Là encore, les résultats d'hydrolyse des protéines sont proches de ceux de R2. Il est cependant possible que la préparation de ces cellules ait pu aboutir à une dégradation partielle de la paroi cellulaire.

Les expériences menées *in vivo* ont montré un effet abrasif plus important au niveau du jéjunum pour R1 comparé à R2. Ou bien, il pourrait s'agir d'un effet de stimulation de la prolifération cellulaire avec R2. Pour étudier plus précisément l'impact des fibres présentes dans le milieu liquide (en contact avec l'épithélium intestinal) les IPEC-J2 ont été utilisées. Les digestats obtenus *in vitro* ont ainsi servi de substrat pour ces expériences pour lesquelles à la fois la perméabilité (diffusion de FD4) et l'intégrité (jonctions serrées) de la monocouche cellulaire ont été évaluées. La perméabilité intestinale est une fonction primordiale de l'épithélium pour contrôler l'apport en nutriments et empêcher le passage de pathogènes. Notre étude a montré que lorsque les matières premières étaient appliquées seules sur les cellules IPEC-J2, on observait la même tendance qu'avec les données *in vivo*. Ainsi, à partir de 2 h d'incubation, R1 compromettait de manière plus importante la perméabilité de la monocouche cellulaire comparé à R2 et aux protéines pures. Cependant, la tendance était différente pour les digestats. L'effet négatif des sels biliaires présents dans les digestats est bien connu sur d'autres lignées cellulaires, comme les Caco-2, lignée cellulaire immortalisée de cellules humaines d'adénocarcinome colorectal (Kondrashina *et al.*, 2023).

Cependant cette tendance n'a pas été retrouvée dans notre étude, Il est possible que les fibres aient séquestré les sels biliaires diminuant ainsi leur toxicité pour les cellules IPEC-J2 (Naumann *et al.*, 2020).

Peu d'études utilisant les cultures cellulaires pour évaluer la diffusion des produits de l'hydrolyse de macronutriments (protéines, amidon ou lipides) sont retrouvées dans la littérature. La plupart des expériences s'intéressent à des produits pharmaceutiques, des micronutriments (vitamines et minéraux) ou des toxines, et surtout au niveau du colon, Ici, nous souhaitons comprendre l'effet des fibres sur l'intégrité des cellules au niveau de l'intestin grêle. Les études sur l'impact des nutriments sur la barrière intestinale concernent principalement les effets de dérivés de produits bactériens (Karancsi *et al.*, 2020). Dans la littérature, le maintien de la fonction de barrière épithéliale intestinale repose principalement sur une couche contiguë de cellules épithéliales intestinales et sur des jonctions serrées entre les cellules épithéliales (Li *et al.*, 2012). La réduction de ZO-1, comme étudié ici, peut augmenter la perméabilité épithéliale dans un certain nombre de systèmes cellulaires (Zhao *et al.*, 2011).

Ces données démontrent la complexité des mécanismes impliqués dans les interactions entre fibres/protéines et le tissu intestinal, et l'importance de l'étape de préparation du digestat. Des travaux sont en cours pour raffiner cette méthode de détoxification.

En conclusion, la composition seule en protéines et/ou fibres alimentaires n'est pas suffisante pour prédire la digestibilité des protéines et l'impact des aliments sur la santé intestinale du porc. Des informations supplémentaires sur le degré d'intégrité de la paroi cellulaire des aliments riches en fibres sont ainsi nécessaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bach Knudsen K.E., 2001. The nutritional significance of "dietary fibre" analysis. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 90, 3-20.
- Bach Knudsen K.E., Hedemann M.S., Lærke H.N., 2012. The role of carbohydrates in intestinal health of pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 173, 41-53.
- Brodkorb A., Egger L., Alminger M., Alvito P., Assuncao R., Ballance S., Bohn T., Bourlieu-Lacanal C., Boutrou R., Carriere F., Clemente A., Corredig M., Dupont D., Dufour C., Edwards C., Golding M., Karakaya S., Kirkhus B., Le Feunteun S., Lesmes U., Macierzanka A., Mackie A.R., Martins C., Marze S., McClements D.J., Menard O., Minekus M., Portmann R., Santos C.N., Souchon I., Singh R.P., Vegarud G.E., Wickham M.S.J., Weitschies W., Recio I., 2019. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nat. Protoc.*, 14, 991-1014.
- Junejo S.A., Ding L., Fu X., Xiong W., Zhang B., Huang Q., 2021. Pea cell wall integrity controls the starch and protein digestion properties in the INFOGEST in vitro simulation. *Int. J. Biol. Macromol.*, 182, 1200-1207.
- Jha R., Berrococo J.D., 2015. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*, 9, 1441-1452.
- Karancsi Z., Móritz A.V., Lewin N., Veres A.M., Jerzsele Á., Farkas O., 2020. Beneficial effect of a fermented wheat germ extract in intestinal epithelial cells in case of lipopolysaccharide-evoked inflammation. *Oxid. Med. Cell Longev.*, 2020, 1482482.
- Kondrashina A., Arranz E., Cilla A., Faria M.A., Santos-Hernández M., Miralles B., Hashemi N., Rasmussen M.K., Young J.F., Barberá R., Mamone G., Tomás-Cobos L., Bastiaan-Net S., Corredig M., Giblin L., 2023. Coupling in vitro food digestion with in vitro epithelial absorption; recommendations for biocompatibility. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1-19.
- Le Sciellour M., Labussière E., Zemb O., Renaudeau D., 2018. Effect of dietary fiber content on nutrient digestibility and fecal microbiota composition in growing-finishing pigs. *PLoS ONE*, 13, 1-20.
- Li X., Akhtar S., Choudhry M., 2012. Alteration in intestine tight junction protein phosphorylation and apoptosis is associated with increase in IL-18 levels following alcohol intoxication and burn injury. *Biochim. Biophys. Acta*, 1822, 196-203.
- Mariani V., Palermo S., Fiorentini S., Lanubile A., Giuffra E., 2009. Gene expression study of two widely used pig intestinal epithelial cell lines: IPEC-J2 and IPI-2I. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 131, 278-284.
- Mariotti F., Tomé D., Mirand P.P., 2008. Converting nitrogen into protein - Beyond 6.25 and Jones' factors. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 48, 177-184.
- Naumann S., Haller D., Eisner P., Schweiggert-Weisz U., 2020. Mechanisms of interactions between bile acids and plant compounds—a review. *Int. J. Mol. Sci.*, 21, 1-20.
- Noblet J., Le Goff G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 90, 35-52.
- Williams B.A., Mikkelsen D., Flanagan B.M., Gidley M.J., 2019. "Dietary fibre": Moving beyond the "soluble/insoluble" classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 10, 1-12.
- Zhao J.H., Wang J.H., Dong L., Shi H., Wang Z., Ding H., Shi H., Lu X., 2011. A protease inhibitor against acute stress-induced visceral hypersensitivity and paracellular permeability in rats. *Eur. J. Pharmacol.*, 654, 289-294.



Estimation de l'efficacité d'utilisation des acides aminés à partir de données de composition chimique de porcs en croissance

Marion LAUTROU et Giuseppe BEE

Agroscope, Systèmes de production animaux et santé animale, La Tioleyre 4, 1725 Posieux, Suisse

marion.lautrou@agroscope.admin.ch

Estimation de l'efficacité d'utilisation des acides aminés à partir de données de composition chimique de porcs en croissance

Ces dernières décennies, des évolutions phénotypiques, anatomiques et chimiques ont été mises en évidence chez le porc. Ces évolutions ayant des implications au niveau de la nutrition des porcs, il est important d'actualiser régulièrement les bases d'estimation des besoins. Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité d'utilisation des acides aminés (AA) à partir de données de compositions chimiques corporelles de porcs provenant d'essais expérimentaux conduits ces 10 dernières années à Agroscope. La base de données ainsi reconstituée est composée de données de porcs en croissance de 3 types sexuels différents (mâles castrés, mâles entiers et femelles), nourris selon les recommandations Suisse ou avec un régime limité en protéines, et formulé selon le profil idéal en AA ou non. Les données d'abattage de ces porcs et l'analyse de leur composition corporelle en AA sont également disponibles. L'ingestion individuelle et journalière des porcs, la composition des aliments en énergie nette, protéines en AA digestibles sont également connues. L'efficacité d'utilisation de la méthionine+cystéine et de la leucine varie en fonction du poids vif ($P < 0,05$). L'effet du poids vif est moins marqué pour l'arginine et l'histidine ($P < 0,07$). L'efficacité de la méthionine+cystéine varie également selon le sexe ($P < 0,05$), avec une efficacité moindre pour les femelles par rapport aux mâles entiers. Enfin, l'efficacité d'utilisation de l'isoleucine, la leucine la valine et la phénylalanine+tyrosine était augmentée lorsque les rations distribuées n'étaient pas formulées selon le profil idéal en AA ($P < 0,05$). Cette étude a permis d'actualiser les données d'efficacité d'utilisation d'un grand nombre d'AA chez le porc en croissance et d'identifier certains facteurs qui l'influence. Ces données pourraient être utiles à l'estimation plus précise des besoins des porcs en AA.

Estimating the efficiency of amino acid use using chemical composition data from growing pigs

In recent decades, phenotypic, anatomical and chemical changes have been observed in pigs. As these developments have implications for pig nutrition, it is important to regularly update the databases used to estimate nutritional requirements. In this context, the aim of this study was to estimate amino acid (AA) use efficiencies using data on pig body composition from experimental trials conducted over the last 10 years. The database thus created consisted of data of growing pigs of three sexes (i.e. castrated males, whole males and females) fed according to Swiss recommendations or with a limited protein diet, and formulated according to the ideal AA profile or not. Slaughter data for these pigs and analysis of their AA composition were also available. The individual and daily intake of the pigs and the net energy, protein, and AA composition of the feed and their standardised ileal digestibility were also known. Use efficiency of methionine + cysteine and leucine differed significantly as a function of live weight ($P < 0.05$), but only tended to do so for arginine and histidine ($P < 0.07$). The use efficiency of methionine + cysteine also varied as a function of sex ($P < 0.05$), being lower for females than for whole males. Finally, the use efficiency of isoleucine, leucine, valine and phenylalanine + tyrosine was significantly higher when the diets distributed were not formulated according to the ideal AA profile ($P < 0.05$). This study updated the data on the use efficiency of many AAs by growing pigs and identified some factors that influence these use efficiencies. These data could help estimate the AA requirements of pigs more accurately.

INTRODUCTION

L'apport de protéines et d'acides aminés (AA) au plus proche des besoins des porcs permet de réduire les émissions azotées néfastes à l'environnement, et les coûts de production. Pour promouvoir une production porcine durable, il apparaît alors nécessaire de connaître le plus précisément les besoins de ces porcs pour formuler des aliments au plus proche de leurs besoins (Pomar *et al.*, 2021). Il existe aujourd'hui plusieurs modèles de croissance permettant d'estimer les besoins en AA. Le modèle InraPorc s'appuie sur une hypothèse d'efficacité d'utilisation maximale de la lysine digestible, de laquelle sont ensuite calculées les efficacités d'utilisation des autres AA (van Milgen *et al.*, 2008). Dans le modèle d'Agroscope (2005), seul le besoin en lysine digestible est déterminé, puis un profil idéal en AA unique est appliqué, quel que soit le poids vif (PV) de l'animal. Dans ces deux cas, les effets du poids vif ou du sexe ou la variabilité entre individus sur l'efficacité d'utilisation des AA n'est pas pris en compte. Enfin, dans le modèle du NRC (2012) une évolution de l'efficacité d'utilisation des AA pour la rétention est considérée mais de la même façon pour tous les AA et il n'y a également pas de différenciation selon le sexe des porcs. Dans tous les cas, ces modèles sont basés sur des données d'efficacité issues d'essais généralement réalisés avant les années 2000. Or, ces dernières décennies, la sélection génétique a entraîné des évolutions phénotypiques, anatomiques et chimiques chez le porc en croissance (Lautrou, 2022 ; Quiniou et Gaudré, 2023). Sous l'effet de ces sélections, les porcs sont aujourd'hui plus maigres, et leur cinétique de croissance est plus précoce (Quiniou et Gaudré, 2023). Des dynamiques de croissance et d'efficacité différentes ont également pu être mises en évidence entre sexes, notamment entre mâles castrés et mâles entiers (Bee *et al.*, 2020). En effet, les mâles entiers sont plus efficaces pour utiliser l'énergie et la matière protéique (Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2017). Face à ces changements, il est important d'actualiser régulièrement les bases d'estimation des besoins en AA. Peu de données sont disponibles sur les effets du sexe, du poids vif ou de facteurs alimentaires sur l'efficacité d'utilisation des AA de lignées génétiques récentes.

Dans ce contexte, l'objectif de l'étude était d'évaluer les efficacités d'utilisation des AA à partir de données de composition chimique corporelle de lignées récentes et de tester l'effet du poids vif de l'animal, de son sexe et du niveau de protéine et AA dans l'alimentation.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description des données

Les données proviennent de 4 essais réalisés à la station expérimentale de Posieux (Agroscope, Suisse) de 2012 à 2016. Ces essais s'inscrivaient dans un projet visant à évaluer l'effet d'une réduction de l'apport en protéines sur la croissance et la composition anatomique et chimique du porc en croissance. Une partie des données des 2 premiers essais ont été publiées (Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2019a; Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2019b; Ruiz-Ascacibar *et al.*, 2019c).

1.1.1. Animaux et alimentation

Les essais ont été conduits sur un total de 343 porcs (Grand Porc Blanc Suisse) en croissance. Dans les deux premiers essais (E1 et

E2), trois sexes étaient représentés : mâles castrés (MC), mâles entiers (ME) et femelles (F). Le troisième essai (E3) a été conduit sur des MC et des F, tandis que le dernier (E4) a été réalisé uniquement avec des ME. Les animaux étaient nourris *ad libitum* avec un aliment sec et avaient en tout temps accès à de l'eau. Dans chacun des essais, les animaux recevaient d'abord un aliment satisfaisant tous les besoins en nutriment (Agroscope, 2005) jusqu'à 20 kg de poids vif. Ensuite, les animaux du groupe C recevaient un aliment formulé pour répondre à leurs besoins en nutriments (Agroscope, 2005) et dont le profil idéal en AA était respecté, tandis que les animaux du groupe R recevaient une ration présentant une réduction d'environ 20% du niveau de protéines et AA par rapport à l'aliment C. Dans les aliments du groupe R, soit le profil idéal pour tous les AA essentiels était appliqué (R1), soit il était seulement appliqué pour la lysine, méthionine+cystéine, thréonine et tryptophane (R2, Tableau 1). L'apport en protéines pour les ME était légèrement plus élevé que pour les animaux des autres sexes (Tableau 1). Les aliments étaient iso-énergétiques (13,2 MJ/kg d'énergie digestible, de 9,8 à 10,0 MJ/kg d'énergie nette). Les animaux recevaient les aliments expérimentaux selon un plan d'alimentation en 3 phases : de 20 à 60 kg, de 60 à 100 et de 100 à 140 kg, avec des aliments optimisés pour un porc de 40, 80 et 120 kg, respectivement. Les animaux de l'essai E4 ont été étudiés jusqu'à un poids d'abattage de 100 kg. L'ingestion journalière et individuelle est connue pour tous les animaux à partir de 10 kg de poids vif. Les animaux étaient pesés individuellement toutes les semaines.

Tableau 1 – Niveau d'apport en protéine dans l'aliment selon le traitement alimentaire et le sexe

| Essai | Sexe ¹ | Apport protéique, % du besoin ² | Profil en acides aminés essentiel ² | Aliment ³ |
|-------|-------------------|--|--|----------------------|
| E1 | MC, F | 100% | équilibré | C |
| | ME | 105% | | |
| E2 | MC, F | 80% | non équilibré | R2 |
| | ME | 84% | | |
| E3 | MC, F | 100% | équilibré | C |
| | | 80% | | R1 |
| E4 | ME | 105% | équilibré | C |
| | | 84% | non équilibré | R1 |
| | | 84% | | R2 |

¹ MC = mâles castrés, F = femelles, ME = mâles entiers

² Besoin et profil idéal établis selon Agroscope, 2005

³ C : aliment satisfaisant les besoins, R1 : aliment satisfaisant 80% du besoin en protéines et suivant le profil idéal, R2 : aliment satisfaisant 80% du besoin en protéines et ne suivant pas le profil idéal

Dans l'essai E1, des animaux ont été abattus à 10 kg de poids vif (n=6). Dans les essais E1, E2 et E3 des animaux ont été abattus tous les 20 kg à partir de 20 kg de poids vif jusqu'à 140 kg (E1 et E2 : 12 porcs abattus tous les 20 kg dans chaque essai, E3 : 20 kg : n=8, 40 kg : n=8, puis 16 porcs tous les 20 kg). Enfin, dans l'essai E4 des abattages ont été réalisés à 20 (n= 6), 60 (n=18) et 100 kg de poids vif (n= 49). Les procédures d'abattage et de dissection sont présentées en détails par Ruiz-Ascacibar *et al.* (2017).

Brièvement, les porcs ont été abattus, le sang a été récupéré, ainsi que les poils. Après éviscération, la bile a été récoltée et le tractus digestif a été vidé de son contenu. La tête a été vidée et son contenu a été ajouté aux viscères. Chaque compartiment (bile, poils, viscères, sang et demi-carcasse) a été broyé et homogénéisé en vue des analyses chimiques.

1.1.2. Analyses chimiques

Des échantillons d'aliment ont été prélevés lors de leur fabrication puis toutes les deux semaines lors des essais afin d'analyser la matière sèche, l'énergie brute, les concentrations en azote et en AA (lysine, méthionine, cystéine, thréonine, isoleucine, leucine, valine, phénylalanine, tyrosine, histidine et arginine). Ces mêmes éléments ont été analysés dans les échantillons de carcasse, viscères, poils, sang et bile séparément.

1.2. Calculs

La composition chimique des animaux a été calculée en sommant la composition de la bile, les poils, le sang, les viscères et le double de la demi-carcasse.

L'efficacité d'utilisation des acides aminés a été calculée comme suit :

$$\frac{\text{Rétention en AA (g)}}{\text{Ingestion en AA DIS(g) - besoins entretien (g)}}$$

AA étant l'acide aminé étudié et AA DIS la teneur en acide aminé digestible sur la base de l'iléal standardisé.

Il est donc nécessaire de connaître 1) la rétention en AA étudié sur une période donnée, 2) l'ingestion en cet AA sur cette même période et 3) les besoins d'entretien. Dans cette étude, les périodes étudiées sont les périodes entre chaque abattage de porc dans chaque essai. C'est-à-dire que dans les essais E1, E2 et E3 par exemple, une période d'étude se situe entre les abattages à 10 et 20 kg puis entre les abattages à 20 et 40 kg, puis entre 40 et 60 et ainsi de suite.

1.2.1. Rétention en acides aminés

Pour calculer la rétention en AA sur une période donnée il nous faut la composition chimique du porc en fin de période et celle en début de période. La composition chimique du porc en fin de période a pu être déterminée grâce aux analyses réalisées sur les compartiments anatomiques citées dans la partie précédente. La composition chimique de ce même porc en début de période a été estimée à partir de la composition chimique des porcs de même essai, même sexe et même traitement alimentaire ayant été abattus à ce stade précédent.

1.2.2. Ingestion en acides aminés et besoins d'entretien

Les coefficients de digestibilité iléale standardisée des acides aminés des aliments utilisés a été calculée avec le logiciel EvaPig® et les tables INRAe-CIRAD-AFZ (INRAE-CIRAD-AFZ). Les niveaux d'acides aminés DIS dans l'aliment ont été calculés à partir des teneurs en AA analysés dans l'aliment et les coefficients de digestibilité établis par ingrédient. L'ingestion journalière et individuelle étant connue, nous avons pu estimer l'ingestion d'acides aminés digestibles pour la période donnée. Les animaux étant pesés de façon hebdomadaire, les besoins d'entretien en acides aminés ont pu être estimés selon van Milgen *et al.* (2008) avec ce poids hebdomadaire et l'ingestion journalière de matière sèche.

Ces besoins ont été soustraits à la quantité d'acides aminés digestibles ingérés, afin de connaître la part d'acides aminés disponible à la rétention corporelle.

1.3. Analyses statistiques

Les efficacités d'utilisation des AA ont été analysées par analyse de variance avec comme effets fixes l'essai, le sexe et le traitement alimentaire et comme covariable le poids vif moyen. L'effet essai a été considéré en effet fixe d'une part parce que le contexte de travail entre essais est très proche (même ferme expérimentale, Sauvart *et al.*, 2020) et d'autre part le nombre d'études différentes est très faible (Sauvart *et al.*, 2008). L'unité expérimentale était le porc. Les analyses statistiques ont été réalisées avec un modèle linéaire en utilisant le langage R (package car, R version 4.2.2). Un premier modèle avec interactions entre aliment, sexe et poids vif a été testé. Seules les interactions entre le poids vif, le sexe et l'aliment et entre le poids vif et le sexe étaient significatives pour l'efficacité d'utilisation de l'arginine. Pour les autres AA, nous avons choisi d'utiliser un modèle sans interaction. Les différences sont considérées significatives lorsque $P < 0,05$, et une valeur de $P < 0,10$ dénote une tendance statistique. Lorsque les différences étaient significatives, les moyennes ont été comparées à l'aide d'un test de Tukey modifié (package emmeans, R version 4.2.2).

2. RESULTATS

De 264 à 295 valeurs d'efficacité d'utilisation étaient disponibles selon l'AA considéré. L'efficacité d'utilisation de la lysine est légèrement plus élevée chez les animaux ayant reçu un aliment R2 par rapport au groupe C ($P < 0,05$, Tableau 2). Le traitement R2 a aussi eu un effet positif sur l'efficacité d'utilisation de l'isoleucine ($P < 0,05$), de la leucine ($P < 0,001$), de la valine et de la phénylalanine+tyrosine ($P < 0,05$) avec une augmentation respective d'environ 14, 24, 15 et 8%. L'efficacité d'utilisation de la méthionine et de la cystéine augmente avec l'augmentation du poids vif des animaux ($P < 0,01$) et est plus élevée d'environ 15% chez les mâles entiers que chez les femelles ($P < 0,05$, Tableau 2 et Figure 1). Le poids vif, le sexe des animaux et l'aliment n'ont pas eu d'effet sur l'efficacité d'utilisation de la thréonine ou du tryptophane. L'efficacité d'utilisation de la leucine diminue avec l'augmentation du poids vif des animaux ($P < 0,05$, Tableau 2 et Figure 2). L'efficacité d'utilisation de l'histidine a tendance à augmenter avec l'augmentation du poids vif ($P = 0,07$, Tableau 2 et Figure 3). L'efficacité d'utilisation de l'arginine évolue différemment avec le poids vif selon le sexe des animaux et cette évolution est différente selon l'aliment reçu (PV x S x A interaction, $P < 0,05$). Ces différences sont représentées dans la figure 4. L'efficacité d'utilisation de l'arginine augmente avec le poids vif chez les ME recevant la ration C tandis qu'elle diminue lorsqu'ils reçoivent les aliments R. Chez les femelles c'est l'inverse : l'efficacité d'utilisation de l'arginine diminue avec l'augmentation du poids vif lorsqu'elles reçoivent l'aliment C mais elle augmente lorsqu'elles reçoivent un aliment R. Enfin, pour les MC, l'efficacité diminue avec l'augmentation du poids vif lorsqu'ils ingèrent la ration C ou R1 mais augmente avec le poids vif lorsqu'ils reçoivent l'aliment R2.

Tableau 2 – Effet du poids vif, du sexe et du niveau de protéine sur l’efficacité d’utilisation des acides aminés digestibles standardisés.

| | Aliment ¹ | | | Type sexuel ² | | | P-values ⁴ | | | | | |
|------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------|------|------|--------|------------|
| | C | R1 | R2 | MC | F | ME | ETR ³ | PV | S | A | PV x S | PV x S x A |
| Lysine | 0,63 | 0,71 | 0,71 | 0,64 | 0,69 | 0,68 | 0,25 | 0,44 | 0,39 | * | | |
| Méthionine+Cystéine | 0,40 | 0,46 | 0,39 | 0,63 ^{ab} | 0,65 ^a | 0,68 ^b | 0,16 | ** | * | 0,78 | | |
| Thréonine | 0,48 | 0,50 | 0,52 | 0,64 | 0,68 | 0,68 | 0,18 | 0,25 | 0,18 | 0,18 | | |
| Tryptophane | 0,37 | 0,36 | 0,34 | 0,63 | 0,65 | 0,66 | 0,13 | 0,14 | 0,94 | 0,43 | | |
| Isoleucine | 0,51 ^a | 0,51 ^a | 0,58 ^b | 0,62 | 0,69 | 0,68 | 0,22 | 0,25 | 0,77 | * | | |
| Leucine | 0,46 ^a | 0,43 ^a | 0,57 ^b | 0,61 | 0,67 | 0,68 | 0,17 | * | 0,34 | *** | | |
| Valine | 0,51 ^a | 0,53 ^a | 0,59 ^b | 0,63 | 0,65 | 0,67 | 0,20 | 0,1 | 0,77 | ** | | |
| Phénylalanine+Tyrosine | 0,37 | 0,39 | 0,41 | 0,63 | 0,65 | 0,66 | 0,15 | 0,25 | 0,85 | * | | |
| Histidine | 0,81 | 0,78 | 0,87 | 0,63 | 0,68 | 0,69 | 0,28 | 0,07 | 0,15 | 0,37 | | |
| Arginine | 0,60 | 0,65 | 0,65 | 0,61 | 0,67 | 0,65 | 0,21 | 0,06 | 0,36 | 0,54 | * | * |

¹C=Aliment contrôle formulé de manière à couvrir les besoins en nutriments conformément aux exigences suisses en matière d'alimentation des porcs en croissance – R=Aliment dont l’apport en protéines et acides aminés est environ 20% en dessous du besoin.

²MC=Mâles castrés – F=Femelles – ME=Mâles entiers.

³Écart-type résiduel

⁴Les données ont été analysées à l'aide de modèles linéaires ANOVA incluant l'effet du régime alimentaire (A), du sexe (S) en effets fixes et du poids vif (PV) en covariable. ***: $P \leq 0,001$; **: $P \leq 0,01$; *: $P \leq 0,05$.

^{a, b}Sur une même ligne, les valeurs avec des lettres en exposant différentes diffèrent ($P \leq 0,05$) les unes des autres

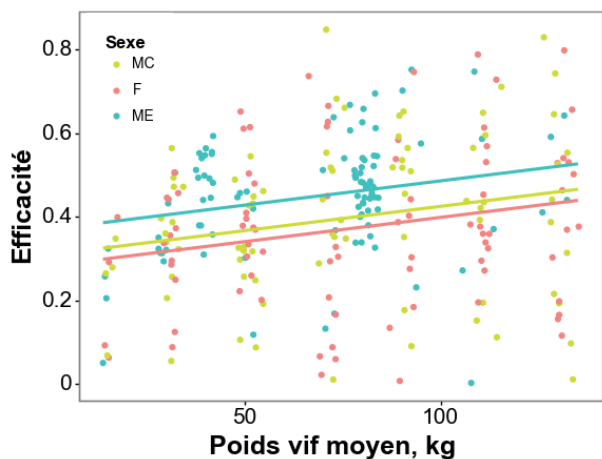


Figure 1 – Efficacité d’utilisation de la méthionine+cystéine digestible standardisée selon le poids vif et le sexe des porcs (MC = mâles castrés, F = femelles, ME = mâles entiers).

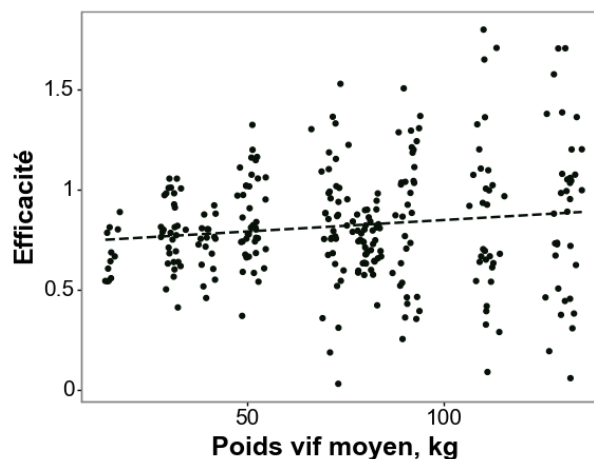


Figure 3 – Efficacité d’utilisation de l’histidine digestible standardisée selon le poids vif des porcs.

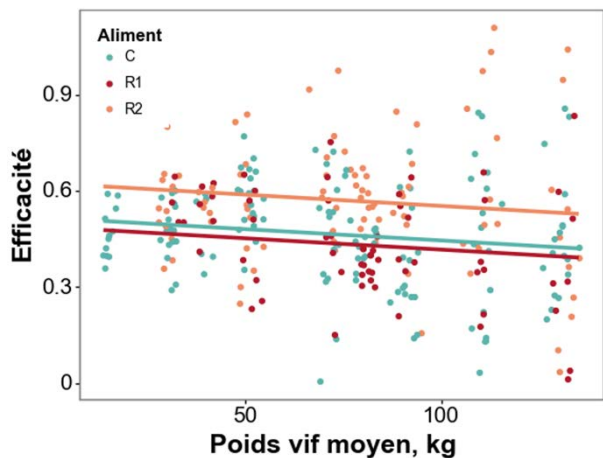


Figure 2 – Efficacité d’utilisation de la leucine digestible standardisée selon le poids vif des porcs et leur régime alimentaire (C : au besoin en protéines et équilibré en AA, R1 : réduit en protéines et équilibré en AA, R2 : réduit en protéines et ne suivant pas le profil idéal complet en AA).

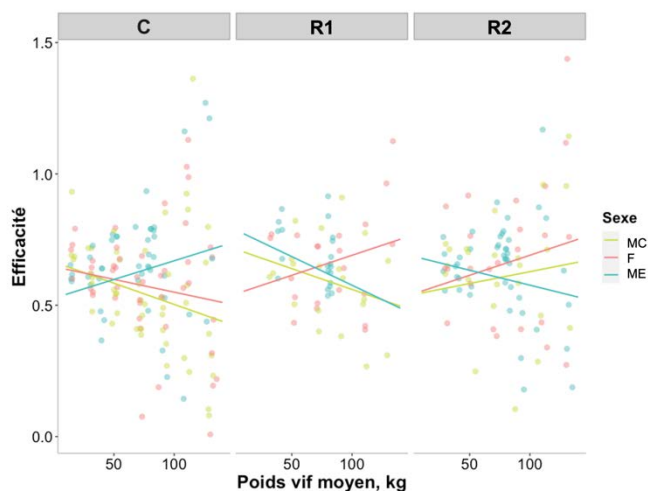


Figure 4 – Efficacité d’utilisation de l’arginine digestible standardisée selon le poids vif des porcs, leur régime alimentaire (C : au besoin en protéines et équilibré en AA, R1 : réduit en protéines et équilibré en AA, R2 : réduit en protéines et ne suivant pas le profil idéal complet en AA) et leur sexe (MC = mâles castrés, F = femelles, ME = mâles entiers).

3. DISCUSSION

L'utilisation des cinq premiers AA limitants (lysine, méthionine+cystéine, thréonine et tryptophane) a largement été étudiée mais ce n'est pas le cas des autres AA pour lesquels il existe peu voire très peu de données disponibles (Van Milgen et Dourmad, 2015). De plus, si quelques données récentes sont disponibles (Souza *et al*, 2023 ; Hulshof *et al*, 2017) elles ont pour objectif de tester des formes d'apport de certains AA mais ne font pas de distinction entre des animaux de sexe ou de catégorie de poids différentes. Cette étude apporte donc de nouvelles données sur l'utilisation de ces AA chez le porc en croissance. Les valeurs obtenues, qui sont des valeurs moyennes, sont plus faibles que celles présentées dans van Milgen *et al.*, (2008), ce qui est logique puisque ces auteurs présentent des efficacités maximales d'utilisation (lysine : 0,72 contre 0,68, méthionine+cystéine : 0,51 contre 0,41, thréonine : 0,61 contre 0,49, tryptophane : 0,57 contre 0,36, isoleucine : 0,60 contre 0,53, leucine : 0,76 contre 0,49, valine : 0,71 contre 0,54, phénylalanine+tyrosine : 0,75 contre 0,39, histidine : 0,93 contre 0,82, arginine : 1,54 contre 0,64). Les valeurs d'efficacité d'utilisation de l'arginine sont particulièrement basses dans notre étude (0,64 en moyenne) en comparaison avec le maximum d'efficacité qui est supérieur à 1 (respectivement 1,27 à 1,57 pour le NRC, 2012 et van Milgen *et al.*, 2008). Nos résultats sont en revanche plus proches de ceux de Hulshof *et al.*, (2017), qui trouvent une efficacité d'utilisation de l'arginine à 0,61 dans les aliments contrôles. Pour la lysine, le maximum d'efficacité d'utilisation est atteint par les MC et F recevant le régime R1 et les F et ME recevant l'aliment R2 et dépasse généralement l'efficacité d'utilisation de 0,62 estimé par Hulshof *et al.*, (2017). Les porcs sont depuis plusieurs dizaines d'années sélectionnés selon leur efficacité alimentaire (Gilbert, 2015 ; Bidanel *et al*, 2020) mais pas forcément directement sur leur efficacité protéique ou en AA (Kasper *et al*, 2019). Or, la lysine est généralement le premier AA limitant pour le dépôt protéique. Il serait possible que la sélection génétique des animaux ait indirectement sélectionné des porcs de plus en plus efficaces à retenir la lysine avant les autres AA.

3.1. Effet de l'alimentation

Les ingrédients utilisés dans les aliments sont très similaires d'un essai à l'autre et d'un traitement (C contre R1 contre R2) à l'autre. Nous supposons donc que les effets observés ne sont pas dus à des formes d'AA différentes. Dans notre étude, la réduction d'apport en AA n'a pas eu de conséquence sur l'efficacité d'utilisation des AA. Il a été montré que l'efficacité d'utilisation de la lysine et la thréonine, par exemple, répond de façon quadratique au niveau d'ingestion de lysine et thréonine, respectivement (Remus *et al*, 2021) et que l'efficacité d'utilisation de la lysine augmentait à partir d'une diminution d'ingestion en cet AA de 30 à 40% (Moehn *et al*, 2004). Il est possible que la diminution d'apport de 20% dans nos aliments n'ait pas été suffisante pour voir un effet sur l'efficacité d'utilisation des acides aminés.

Le non suivi du profil idéal en AA a eu un effet marqué et positif sur l'efficacité d'utilisation de l'isoleucine, la leucine, la valine et la phénylalanine+tyrosine. Dans l'aliment R1, l'apport de tous les acides aminés est diminué de 20% par rapport au besoin selon Agroscope (2005). En revanche, dans les aliments R2 l'apport est diminué de 25 à 40% pour les AA qui ne suivent pas

le profil idéal, excepté pour l'arginine et l'histidine, pour lesquelles le niveau est maintenu à -20% par rapport aux aliments C. C'est donc cette diminution plus importante du niveau d'isoleucine, leucine, valine et phénylalanine+tyrosine qui semble conduire à une augmentation de leur efficacité d'utilisation. Par ailleurs, ce suivi partiel du profil idéal n'a pas eu d'effet sur l'efficacité d'utilisation des autres AA (dont les proportions respectent le profil idéal), ce qui signifie que la plus forte diminution des AA non équilibrés ne les a pas pour autant rendus limitant pour l'utilisation des autres AA. Autrement dit, le profil idéal en AA ne paraît pas d'une importance majeure (au moins pour les acides aminés différents de la lysine, méthionine+cystéine, thréonine et tryptophane) en cas d'apport en dessous du besoin.

3.2. Effet du poids vif

Dans notre étude, l'effet du poids vif n'a eu d'effet que sur l'efficacité d'utilisation de la méthionine+cystéine et la leucine avec une tendance pour l'arginine et l'histidine. Il a d'abord été montré que l'efficacité d'utilisation de la lysine n'était pas dépendante du poids ou de l'âge de l'animal (Dourmad *et al*, 1996; Möhn *et al*, 2000). Néanmoins, d'après le NRC (2012), l'efficacité d'utilisation des AA diminue avec l'augmentation du poids vif des animaux et de la même façon pour tous les AA. De plus, Remus (2018) a montré récemment que l'efficacité d'utilisation de la thréonine était dépendante du poids vif avec une diminution de l'efficacité suivant l'augmentation du poids vif. Dans notre étude, les efficacités d'utilisation de la leucine et de l'arginine ont effectivement tendance à diminuer avec l'augmentation du poids vif mais celles de la méthionine+cystéine et de l'histidine augmentent. Il semblerait donc que l'efficacité d'utilisation de tous les acides aminés n'évolue pas de la même façon selon le poids vif.

Par ailleurs, avec l'augmentation du poids vif des animaux, la variabilité d'efficacité d'utilisation des AA est de plus en plus grande (Figures 1, 2 et 3). Peu d'études sont disponibles sur l'effet du poids vif sur l'efficacité d'utilisation des AA il est donc difficile de comparer la dispersion de nos données avec d'autres études. Notre méthode d'estimation de la rétention en AA pourrait avoir exacerbé la variabilité individuelle. En effet, dans notre étude, la composition chimique des porcs en début de période d'étude n'est qu'une estimation par calculs, qui a pu avoir comme conséquence de plus ou moins standardiser la composition des porcs en AA. A l'inverse, les compositions chimiques de fin de période sont issues d'analyses, reflétant parfaitement la variabilité individuelle entre les porcs. Si en début de période, la composition en AA de certains porcs a été sur ou sous-estimée, en conséquence l'estimation des efficacités d'utilisation des AA a aussi pu être sur ou sous-estimées menant éventuellement à une plus grande dispersion. Cette grande variabilité individuelle, accentuée avec l'augmentation du poids vif des animaux pourrait expliquer en grande partie les écart types résiduels élevés (Tableau 1).

3.3. Effet du sexe

Le sexe des animaux n'a eu un effet que sur l'efficacité d'utilisation de la méthionine+cystéine, avec des femelles moins efficaces que les mâles entiers. Les mâles entiers étant connus pour être plus efficaces à l'utilisation des nutriments que les femelles ou mâles castrés (Quiniou *et al.*, 2023 ; Moore *et al*, 2013 ; Ruiz-Ascacibar *et al*, 2017). Le fait que seule

l'utilisation de la méthionine+cystéine ait été influencée par le sexe des porcs nous questionne sur l'utilisation du même profil idéal en AA indifféremment du sexe des porcs. En effet, si les ME ont été plus efficaces à utiliser ces AA c'est peut-être qu'ils étaient en carence comparé aux femelles et donc que le ratio méthionine+cystéine/lysine devrait être plus élevé chez les ME. Dans notre étude, l'effet sexe était faible, en partie parce que le sexe des animaux était déjà pris en compte dans la formulation des aliments avec un apport en protéines et acides aminés de 105% pour les ME contre 100% pour les MC et F (Tableau 1) et il en va de même dans l'aliment réduit (84% contre 80%).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'apporter de nouvelles connaissances sur l'efficacité d'utilisation des AA chez les porcs en croissance.

Ces données ont été établies notamment pour des AA et à des stades de croissance jusque-là peu étudiés. Le poids vif des animaux a un faible effet sur l'efficacité d'utilisation des AA, à l'inverse de l'équilibre en AA dans la ration. Le dispositif n'a pas permis de conclure à la présence d'un effet sexe.

Ces résultats questionnent sur la pertinence du profil idéal en AA tel qu'il est utilisé aujourd'hui en Suisse (fixe quel que soit le poids vif du porc et le niveau d'apport en lysine). L'intérêt de la révision selon le sexe de l'animal pourrait aussi se poser, puisque les mâles entiers étaient plus efficaces à utiliser la méthionine+cystéine que les femelles, bien que le sexe ait été pris en considération dans la formulation des aliments (+5% d'AA). Ces données pourraient finalement être utilisées dans les modèles d'estimation des besoins en AA chez le porc et aider à bâtir de nouvelles stratégies alimentaires pour rendre l'utilisation des AA par les porcs plus efficaces.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroscope, 2005. Apports alimentaires recommandés pour les porcs (livre jaune). Consultable : <https://www.agroscope.ch/livre-jaune> [Consulté le 14 septembre 2023].
- Bee G., Quiniou N., Maribo H., Zamaratskaia G., and Lawlor P. G., 2020. Strategies to meet nutritional requirements and reduce boar taint in meat from entire male pigs and immunocastrates. *Animals*, 10, 1–18.
- Bidanel J.-P., Silalahi P., Tribout T., Canario L., Ducos A., Garreau H., Gilbert H., Larzul C., Milan D., Riquet J., Schwob S., Mercat M.-J., Hassenfratz C., Bouquet A., Bazin C., Bidanel J., 2020. Cinquante années d'amélioration génétique du porc en France : bilan et perspectives. *INRA Prod. Anim.*, 33, 1-16.
- Dourmad J.-Y., Guillou D., Sève B., Henry Y., 1996. Response to dietary lysine supply during the finishing period in pigs. *Livest Prod Sci*, 45, 179-186.
- Gilbert H., 2015. Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance : opportunités et challenges. *Journées Rech. Porcine*, 47, 19-30.
- Hulshof T.G., Van Der Poel A.F.B., Hendriks W.H., Bikker P., 2017. Amino acid utilization and body composition of growing pigs fed processed soybean meal or rapeseed meal with or without amino acid supplementation. *Animal*, 11, 1125-1135.
- INRAE-CIRAD-AFZ, Composition et valeurs nutritionnelles des matières premières pour bovins, ovins, caprins, porcs, volailles, chevaux, lapins et salmonidés. Consultable : <https://feedtables.com/fr> [Consulté le 28 septembre 2023].
- Kasper C., Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G., 2019. Paramètres génétiques de l'efficacité protéique dans une population porcine suisse. *Recherche agronomique Suisse*, 10, 164-171.
- Lautrou M., 2022. Modélisation des besoins phosphocalciques et stratégies d'amélioration de l'utilisation du phosphore chez le porc en croissance. Thèse de doctorat. Université Laval, Québec, Canada & AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Paris, France, 170p.
- Moehn S., Ball R.O., Fuller M.F., Gillis A.M., De Lange C.F.M., 2004. Growth potential, but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism in growing pigs. *J. Nutr.*, 134, 2287-2292.
- Möhn S., Gillis A.M., Moughan P.J., De Lange C.F., 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *J. Anim. Sci.*, 78, 1510-1519.
- Moore K.L., Mullan B.P., Campbell R.G., Kim J.C., 2013. The response of entire male and female pigs from 20 to 100-kg liveweight to dietary available lysine. *Anim. Prod. Sci.*, 53, 67-74.
- Pomar C., Andretta I., Remus A., 2021. Feeding strategies to reduce nutrient losses and improve the sustainability of growing pigs. *Front. Vet. Sci.*, 8, 1-13.
- Quiniou N., Gaudré D., 2023. Caractérisation des performances et du profil de croissance des porcs mâles entiers ou castrés chirurgicalement pour évaluer leurs besoins en acides aminés. *Journées Rech. Porcine*, 55, 141-146.
- Remus A., 2018. The ideal protein profile for growing-finishing pigs in precision feeding systems: threonine. Thèse de doctorat. Université Laval, Québec, Canada & UNESP, São Paulo, Brésil, 181 p.
- Remus A., Hauschild L., Létourneau-Montminy M.-P., Pomar C., 2021. Estimating amino acid requirements in real-time for precision-fed Pigs: the challenge of variability among individuals. *Animals*, 11, 1-15.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Boillat V., Spring P., Bee G., 2017. Impact of amino acid and CP restriction from 20 to 140 kg BW on performance and dynamics in empty body protein and lipid deposition of entire male, castrated and female pigs. *Animal*, 11, 394-404.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G., 2019a. Effects of dietary CP and amino acid restriction on the growth dynamics of organs and body components in entire male, castrated and female pigs. *Animal*, 13, 2223-2231.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G., Schlegel P., 2019b. Dynamics of the mineral composition and deposition rates in the empty body of entire males, castrates and female pigs. *Animal*, 13, 950-958.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Bee G., 2019c. Dietary CP and amino acid restriction has a different impact on the dynamics of protein, amino acid and fat deposition in entire male, castrated and female pigs. *Animal*, 13, 74-82.
- Sauvant D., Létourneau-Montminy M.-P., Schmidely P., Boval M., Loncke C., Daniel J.-B., 2020. Review: Use and misuse of meta-analysis in Animal Science. *Animal*, 14:S2, s207-s222.
- Sauvant D., Schmidely P., Daudin J.J., St-Pierre N.R., 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal*, 2, 1203-1214.
- Souza V.C., Remus A., Batonon-Alavo D.I., Rouffineau F., Mercier Y., Pomar C., Kebreab E., 2023. Systematic review and meta-analysis of the methionine utilization efficiency in piglets receiving different methionine sources. *Animal* (Article sous presse).
- Van Milgen J., Dourmad J.-Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *J Animal Sci Biotechnol*, 6:15.
- Van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.-Y., Sève B., Noblet J., 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 143, 387-405.



Impact de l'alimentation de précision en gestation sur la carrière productive de truies suivies pendant trois cycles reproductifs

Laetitia CLOUTIER (1), Béatrice SAUVÉ (2), Lucie GALIOT (1), Frédéric GUAY (2), Gabrielle DUMAS (1), Charlotte GAILLARD (3), Jean-Yves DOURMAD (3), Aude SIMONGIOVANNI (4) et Patrick GAGNON (1)

(1) Centre de Développement du Porc du Québec inc., 815 Rte Marie-Victorin, G7A 3S6, Lévis, Québec, Canada.

(2) Université Laval, Département des sciences animales, G1V 0A6, Québec, Canada

(3) INRAE, Institut Agro, PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France,

(4) METEX ANIMAL NUTRITION, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

Avec la collaboration technique de Éloïse Talbot Pouliot, Mélanie Poulin, Allison Garand et Nancy Gendron.

lcloutier@cdpq.ca

Impact de l'alimentation de précision en gestation sur la carrière productive de truies suivies pendant trois cycles reproductifs

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact d'une alimentation de précision pendant la gestation sur la carrière et la longévité de truies, initialement nullipares, et suivies pendant trois cycles de reproduction successifs. Quatre traitements isoénergétiques ont été comparés : deux stratégies d'alimentation conventionnelle à concentration en lysine digestible iléale standardisée constante (0,53 %) dont l'apport en quantité d'aliment était constant ou variable, et deux stratégies d'alimentation de précision basées sur le modèle InraPorc appliquées considérant le poids moyen par parité ou le poids individuel de chaque truie à la saillie. Les performances des stratégies d'alimentation conventionnelle (CONV) ont été comparées à celles obtenues avec les stratégies d'alimentation de précision (AP). Quatre bandes, représentant 393 cochettes, ont été suivies de la saillie au sevrage pendant trois cycles. Sur les trois cycles, le taux de mort-nés et la mortalité totale de porcelets étaient inférieurs en AP comparé à CONV (respectivement -0,9 % ; $P = 0,02$ et -1,5 % ; $P = 0,03$). Globalement, les truies AP ont sevré davantage de porcelets pendant leurs trois cycles comparativement aux truies CONV (+0,7 ; $P = 0,03$), le gain de poids de la portée au sevrage étant également augmenté pour les truies AP (+3,7 % ; $P = 0,02$). Le taux de réforme des cochettes après trois cycles n'était pas différent entre les traitements ($P = 0,27$), mais une tendance à l'augmentation avec l'AP a été observée après un cycle (+4,9 % ; $P = 0,08$). Les résultats semblent montrer un bénéfice durable de l'alimentation de précision pour les truies avec une diminution de la mortalité des porcelets pendant la lactation, laissant présager une meilleure viabilité des porcelets sans impacter significativement la longévité des truies.

Impact of precision feeding during gestation on the productive career of nulliparous sows over three reproductive parities

The aim of this study was to evaluate the impact of precision feeding during gestation on the career performances and longevity of nulliparous sows monitored over three reproductive cycles. Four isoenergetic treatments were compared: two constant-concentration feeding strategies (0.53 % DIS Lys) with feed supply either constant or variable (bump feeding), and two precision feeding strategies based on the InraPorc model applied using either the mean weight by parity or the weight of each sow at breeding. Conventional strategies (with constant Lys DIS concentration feeding, CONV) performances were compared to those of the precision feeding strategies (PF). Four groups, representing 393 gilts, were followed from breeding to weaning over three cycles. Over the three cycles, the stillborn rate and total piglet mortality were lower in PF sows than in CONV sows (respectively -0.9 % ; $P = 0.02$ and -1.5 % ; $P = 0.03$). Overall, PF sows weaned more piglets during their three cycles than CONV sows did (+0.7 ; $P = 0.03$), with weaning litter weight gain also increasing for AP sows (+3.7 % ; $P = 0.02$). The culling rate of gilts after three cycles did not differ significantly among treatments ($P = 0.27$) but tended to be higher for PF sows after one cycle (+4.9 % ; $P = 0.08$). The results seem to show a lasting benefit of precision feeding for sows, with a decrease in piglet mortality during lactation, suggesting greater viability of piglets without significantly decreasing sow longevity.

INTRODUCTION

Les truies en gestation sont habituellement alimentées avec une ration dont la composition nutritionnelle est constante sur toute la durée de la gestation. Or, plusieurs études montrent que les besoins nutritionnels des truies varient selon les caractéristiques individuelles, telles que leur poids ou le stade de gestation (Pomar, 2003 ; Levesque *et al.*, 2011) et que des carences nutritionnelles peuvent affecter les performances et la longévité des truies (Dourmad *et al.*, 1994). L'alimentation de précision consiste en l'utilisation de plusieurs aliments, dans cette étude l'un pauvre et l'autre riche en nutriments qui, par leur mélange, permettent un ajustement des apports nutritionnels à l'évolution des besoins de chaque animal. Cette stratégie aurait donc le potentiel de réduire les nutriments apportés en excès tout en augmentant les apports pour les truies parfois restreintes avec l'alimentation conventionnelle. Chez la truie en gestation, plusieurs études ont montré que l'alimentation de précision permet de réduire l'excès d'azote et de phosphore, réduisant ainsi les coûts d'alimentation et les rejets environnementaux. Les effets sur les performances et la longévité des truies demeurent toutefois incertains, car plusieurs études, généralement sur un seul cycle, ont constaté peu ou aucun impact significatif (Gagnon *et al.*, 2017 ; Cloutier *et al.*, 2019 ; Stewart *et al.*, 2021 ; Gaillard *et al.*, 2022)

À la création de la maternité de recherche du CDPQ, le troupeau étant constitué exclusivement de truies nullipares, un projet a été mis en place afin d'évaluer l'impact d'une alimentation de précision en gestation sur les performances, l'état corporel et la longévité des truies suivies pendant trois cycles reproductifs. Les résultats issus des deux premiers cycles ont montré que, chez les nullipares, l'alimentation de précision présentait un bénéfice sur le nombre de porcelets sevrés et le taux de mortalité des porcelets, principalement dû au traitement APP, alors qu'aucun bénéfice n'était observé lors du second cycle (Galot *et al.*, 2023). L'objectif final de cette étude était donc de déterminer l'impact de l'alimentation de précision appliquée chez la truie en gestation au cours de trois cycles reproductifs, sur leurs performances globales et sur leur longévité.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Traitements expérimentaux

Quatre traitements isoénergétiques ont été comparés : deux traitements témoins dits « conventionnels » (CONV) et deux traitements avec alimentation de précision (AP). Les aliments des traitements CONV avaient une teneur en lysine digestible iléale standardisée (Lys DIS) constante (0,53 % Lys DIS) pendant toute la gestation : l'un des traitements ayant un apport en quantité d'aliment constant pendant toute la gestation (FF pour *flat feeding*) et l'autre un apport moindre avant 90 jours de gestation puis plus élevé ensuite (BF pour *bump feeding*; l'apport moyen étant identique à FF sur l'ensemble de la gestation). Les deux stratégies d'alimentation de précision étaient basées sur le modèle InraPorc (Dourmad *et al.*, 2013 ; Gagnon *et al.*, 2017) prenant en compte le poids moyen par rang de portée (APP) dans le calcul des rations ou le poids individuel de chaque truie à la saillie (API ; Figure 1). Les quantités d'aliments, et donc d'énergie, ont été distribuées selon les recommandations existantes pour la génétique du troupeau (croisement Large White x Landrace). La teneur en acides aminés autres que la Lys était ajustée en fonction des teneurs en Lys DIS selon le modèle InraPorc (Dourmad *et al.*,

2013). Les besoins en phosphore et calcium ont été calculés selon Bikker et Block (2017) et leur teneur dans les aliments a été optimisée de manière à répondre aux besoins tout en minimisant les excès. Le calcul du besoin en Lys DIS pour le traitement APP est basé sur des objectifs de performances ciblés par rang de portée, les mêmes paramètres ayant été utilisés pour le traitement API à l'exception du poids à la saillie pour lequel les données individuelles ont été considérées à la place du poids moyen par rang de portée. Pour le traitement APP, entre la saillie et le transfert en salle de gestation en groupe au 28^{ème} jour de gestation, la teneur en Lys DIS a été fixée à 0,44 % pour toutes les truies, simulant l'utilisation d'un aliment unique pour cette période pour laquelle les systèmes d'alimentation de précision ne sont généralement pas disponibles en élevage commercial. Pour les truies API, l'alimentation de précision individualisée débutait dès la saillie (Figure 1).

1.2. Aliments

Deux aliments (A et B) dont la teneur en acides aminés était différente ont été utilisés en mélange lors de l'expérimentation pour réaliser les quatre traitements (Tableau 1).

Tableau 1 - Formule et composition nutritionnelle des aliments expérimentaux

| Ingrédient, g/kg | Aliment A | Aliment B |
|-------------------------------------|-----------|-----------|
| Maïs | 577,6 | 422,9 |
| Tourteau de Soja - 47 % | - | 39,1 |
| Remoulage de blé | 300,0 | 300,0 |
| Drèche de maïs (Varenes) | - | 139,2 |
| Écale d'avoine | 100,8 | 37,2 |
| Tourteau de Canola | - | 25,0 |
| Carbonate de calcium | 11,6 | 22,4 |
| Phosphate monocalcique | - | 1,92 |
| Sel | 4,93 | 4,49 |
| Lysine HCL | 0,95 | 2,50 |
| Thréonine | 0,29 | 1,12 |
| Chlorure de Choline | 0,72 | 0,72 |
| Phytase (QUANTUM B 5000 L) | 0,04 | 0,15 |
| Microprémélange Truie | 2,50 | 2,50 |
| Liquiprop liquide (anti-moisissure) | 0,50 | 0,50 |
| Composition nutritionnelle | | |
| Énergie nette truie, kcal/kg | 2220 | 2219 |
| Protéine brute, % | 10,0 | 15,4 |
| Protéine Brute analysée, % | 10,2 | 16,2 |
| Lysine totale, % | 0,45 | 0,81 |
| Lysine DIS % | 0,35 | 0,65 |
| Lysine totale analysée, % | 0,45 | 0,80 |
| Méthionine + Cystéine DIS, % | 0,31 | 0,50 |
| Thréonine DIS, % | 0,28 | 0,52 |
| Tryptophane DIS, % | 0,08 | 0,13 |
| Isoleucine DIS, % | 0,26 | 0,43 |
| Valine DIS, % | 0,37 | 0,56 |
| Leucine DIS, % | 0,71 | 1,11 |
| Arginine DIS, % | 0,50 | 0,75 |
| Matières grasses, % | 3,3 | 4,1 |
| Cellulose brute, % | 7,1 | 6,1 |
| Calcium, % | 0,52 | 1,00 |
| Calcium analysé, % | 0,67 | 1,10 |
| Phosphore, % | 0,47 | 0,64 |
| Phosphore analysé, % | 0,51 | 0,69 |
| Phosphore disponible, % | 0,20 | 0,40 |
| Sodium, % | 0,2 | 0,2 |
| Vitamine A, UI | 10,00 | 10,00 |
| Vitamine D, UI | 1,50 | 1,50 |
| Vitamine E, UI | 0,06 | 0,06 |

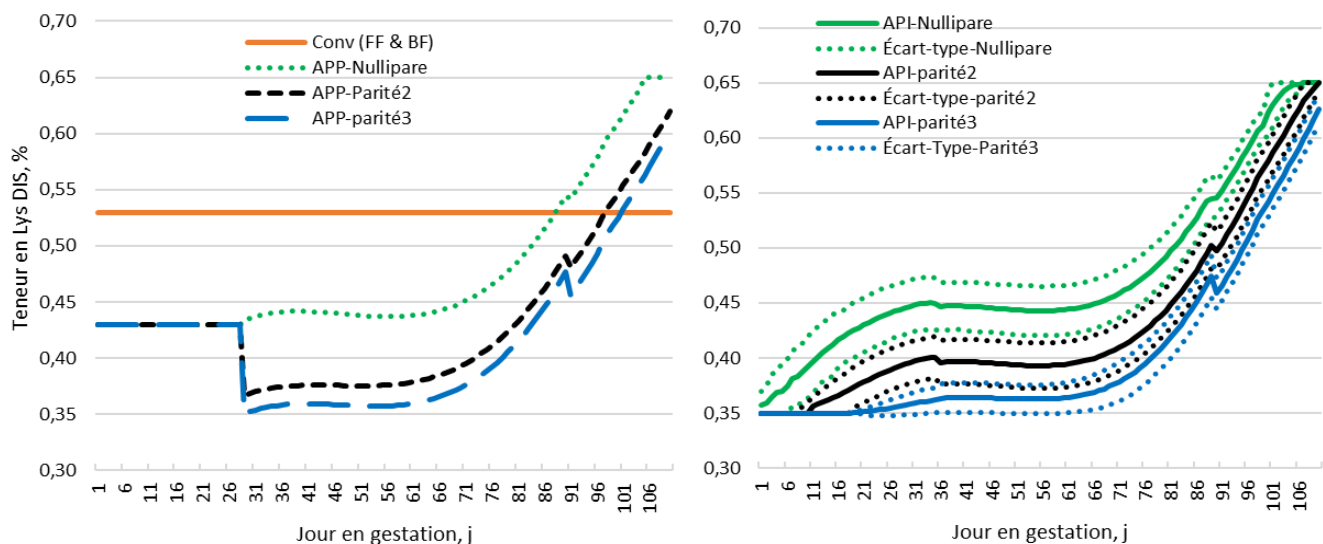


Figure 1 - Teneur en Lysine digestible iléale standardisée (Lys DIS) des aliments distribués en fonction du traitement alimentaire, du jour en gestation et du rang de portée.

FF : flat feeding ; BF : bump feeding ; APP : alimentation de précision poids moyen par rang de portée ; API : poids individuel

La composition en ingrédients des aliments a été fixée pour toute la durée de l'essai. Un aliment en lactation correspondant à une composition nutritionnelle conventionnelle était donné à l'ensemble des truies de leur entrée en mise bas jusqu'au sevrage. Pour cet aliment, la teneur en Lys DIS était de 1,0 % et l'énergie nette de 2540 kcal/kg.

Des stations d'alimentation Gestal 3G2 (JYGA Technologies, St-Lambert-de-Lauzon, Québec) ont permis d'adapter automatiquement les proportions de chacun des deux aliments selon le stade de gestation et l'animal.

Des échantillons de chaque aliment ont été prélevés chaque semaine et des échantillons composites ont ensuite été réalisés chaque mois afin d'être analysés au laboratoire pour en valider la composition nutritionnelle.

1.3. Prise de mesures

L'essai a été réalisé à la maternité de recherche et de formation du CDPQ située à Armagh (Québec, Canada). Les truies de quatre bandes, toutes nullipares au départ, ont été étudiées sur trois cycles reproductifs complets, soit de la saillie jusqu'au sevrage dans le cadre du peuplement de l'élevage. L'essai s'est déroulé de février 2021 à juillet 2022. La mise-bas des truies n'était pas induite et était assistée seulement en cas de besoin. La durée de lactation était en moyenne de 21 jours. Au cours des trois cycles, les données des truies sevrées n'étant pas fécondées dans les sept jours suivant le sevrage, donc réalisant un saut de bande (quatre semaines), ont été comptabilisées dans le projet afin de mesurer l'effet des traitements sur le nombre de jours improductifs des truies (nombre de sauts de bandes).

Le poids vif (balance Pennsylvania 7400) et l'épaisseur de lard dorsal (P2) des truies ont été mesurés cinq jours avant l'insémination artificielle, à l'entrée en salle de maternité (110 jours de gestation) et au sevrage (21 jours de lactation). Les gains entre ces périodes ont été calculés. Les épaisseurs de lard dorsal ont été mesurées par ultrasons au niveau de la dernière côte (appareil Ultra Scan 50, Alliance Medical Inc., Limerick, Irlande) par un technicien du CDPQ accrédité.

La distribution journalière et individuelle d'aliment a été

enregistrée en continu par le système d'alimentation. Le nombre total de porcelets nés a été comptabilisé et le poids individuel des porcelets a été mesuré lors des soins suivant la naissance, et lors du décès ou des adoptions. Le poids de la portée a été mesuré au sevrage. Les gains de poids de portées ont été calculés en incluant les variations issues des adoptions et des mortalités.

1.4. Analyses statistiques

Les modèles statistiques ont été développés avec les fonctions *lmer* et *glmer* du package *lme4* et les comparaisons multiples avec le package *emmeans* du logiciel R® (R Core Team, 2022) avec le traitement alimentaire comme facteur fixe et la bande comme facteur aléatoire. Des contrastes ont également été calculés afin de comparer les traitements AP (APP & API) avec les traitements CONV (BF & FF). L'unité expérimentale était la truie. L'analyse des truies de rangs de portées 3 portait seulement sur les truies qui n'ont pas changé de bande en cours d'essai (soit 273 truies), alors que la totalité des truies ayant réalisé trois cycles complets de gestation et lactation a été considérée pour l'analyse des résultats globaux (soit 393 truies). Les hypothèses nécessaires pour l'application de l'analyse de la variance (normalité des résidus et homogénéité des variances) étaient vérifiées dans tous les cas. Un modèle linéaire généralisé était appliqué lorsque nécessaire. Les différences ont été considérées comme significatives pour $P < 0,05$ et les tendances pour $P < 0,10$.

2. RESULTATS

Le tableau 2 présente les teneurs en Lys DIS fournies aux truies en fonction du stade de gestation en moyenne durant leurs trois cycles ainsi que les teneurs moyennes globales en Lys DIS, en protéine brute (PB) et en phosphore digestible (Pdig) sur l'ensemble des trois cycles.

Les traitements d'alimentation de précision (APP ; API) ont occasionné une réduction de la teneur en Lys DIS, en PB et en P dig de l'ordre de 15 %, 11 % et 17 % respectivement par rapport aux traitements CONV.

Tableau 2 –Teneur moyenne globale sur les trois cycles en Lys DIS, PB et P dig en fonction des traitements alimentaires

| Traitements alimentaires | | Teneur en Lys DIS par phase de gestation, % | | | Teneur globale, % | | |
|--------------------------|-----|---|---------|----------|-------------------|------|-------|
| | | 0-28 j | 29-89 j | 90-110 j | Lys DIS | PB | P dig |
| CONV | FF | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 13,2 | 0,32 |
| | BF | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 13,2 | 0,32 |
| AP | APP | 0,43 | 0,41 | 0,56 | 0,45 | 11,8 | 0,27 |
| | API | 0,38 | 0,42 | 0,58 | 0,44 | 11,6 | 0,2 |

Lys Dis : lysine digestible iléale standardisée ; PB : protéine brute ; P dig : phosphore digestible ; CONV : conventionnelle ; AP : alimentation de précision

2.1. Performances des truies de rang de portée 3

Au terme du 3^e cycle, le gain de poids en gestation des truies FF étaient inférieurs aux autres traitements ($P < 0,001$), leur poids en début de gestation étant toutefois supérieur aux truies APP et API ($P < 0,01$), les truies BF étant intermédiaires. La perte en épaisseur de lard dorsal durant la lactation était significativement plus importante chez les truies APP et API comparée aux truies BF ($P = 0,05$), les truies FF étant intermédiaires. Concernant les performances reproductives, le taux de mort-nés étaient réduits chez les truies recevant l'APP

comparativement aux truies BF et FF ($P = 0,04$), les truies API étant intermédiaires. La mortalité totale tendait également à être réduite chez les truies APP ($P = 0,06$).

2.2. Performances globales au terme des trois cycles

Le taux de mort-nés après trois cycles était plus bas chez les truies en AP par rapport à celles en CONV ($P = 0,02$; Tableau 4). Le taux de mortalité global, incluant les mort-nés et la mortalité de la naissance au sevrage, était également plus faible en AP ($P = 0,03$). Par conséquent, le nombre de porcelets sevrés était plus élevé chez les truies AP ($P = 0,03$), de même que le gain de portée au sevrage ($P = 0,02$) et le poids des porcelets sevrés ($P = 0,04$). Le nombre de porcelets nés totaux, le nombre de nés vivants, le poids de portée à 24h, le gain moyen quotidien (GMQ) par porcelet, le taux de mortalité de la naissance au sevrage et la consommation moyenne quotidienne (CMQ) en lactation ne présentaient aucune différence significative entre traitements.

Le nombre de truies réformées après un cycle tendait à être plus élevé chez les truies AP que les truies CONV ($P = 0,08$, Tableau 4). Après deux et trois cycles, il n'y avait plus de différence entre les traitements concernant le taux cumulé de truies réformées. Le nombre de truies ayant sauté une bande, représentant le nombre de jours improductif, était également augmenté chez les truies AP ($P = 0,02$).

Tableau 3 – Bilan par traitement (FF, BF, APP, API) des performances des truies de rang de portées 3

| Variables, Unité | FF | | BF | | APP | | API | | Valeur P | ETM1 |
|---|----|---------------------|----|---------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|------------------|------|
| | N | Moy. | N | Moy. | N | Moy. | N | Moy. | | |
| Truies | | | | | | | | | | |
| Poids début gestation, kg | 73 | 224,8 ^a | 72 | 221,1 ^{ab} | 60 | 219,6 ^b | 68 | 217,1 ^b | <0,01 | 1,7 |
| Poids après la mise bas, kg | 73 | 259,0 | 72 | 259,9 | 60 | 259,9 | 68 | 258,9 | 0,942 | 1,7 |
| Poids après le sevrage, kg | 73 | 235,5 | 72 | 234,6 | 60 | 233,3 | 67 | 232,3 | 0,665 | 2,3 |
| Gain poids gestation, kg | 73 | 34,0 ^a | 72 | 39,4 ^b | 60 | 40,3 ^b | 68 | 41,9 ^b | <0,001 | 1,3 |
| Gain poids lactation, kg | 73 | -23,5 | 72 | -25,7 | 60 | -26,5 | 67 | -27,1 | 0,219 | 2,3 |
| Gain poids total, kg | 73 | 10,7 | 72 | 13,5 | 60 | 13,7 | 67 | 15,1 | 0,110 | 1,7 |
| Épaisseur gras dorsal début gestation, kg | 73 | 13,1 | 72 | 12,6 | 60 | 12,8 | 68 | 12,9 | 0,651 | 1,2 |
| Épaisseur gras dorsal mise bas, kg | 73 | 14,2 | 72 | 13,9 | 60 | 14,3 | 68 | 14,4 | 0,815 | 2,6 |
| Épaisseur gras dorsal sevrage, kg | 73 | 12,5 | 72 | 12,4 | 60 | 12,2 | 67 | 12,2 | 0,837 | 2,9 |
| Gain gras gestation, kg | 73 | 1,02 | 72 | 1,33 | 60 | 1,48 | 68 | 1,49 | 0,417 | 2,6 |
| Gain gras lactation, kg | 73 | -1,62 ^{ab} | 72 | -1,45 ^a | 60 | -2,11 ^b | 67 | -2,24 ^b | 0,048 | 0,08 |
| Gain gras total, kg | 73 | -0,59 | 72 | -0,12 | 60 | -0,62 | 67 | -0,71 | 0,196 | 0,3 |
| CMQ lactation, kg/j | 72 | 7,31 | 71 | 7,48 | 60 | 7,20 | 66 | 7,31 | 0,355 | 0,18 |
| Portée | | | | | | | | | | |
| Nombre (Nb) nés totaux | 73 | 15,5 | 72 | 15,7 | 60 | 15,3 | 68 | 15,6 | 0,919 | 0,42 |
| Nb nés vivants | 73 | 14,0 | 72 | 14,3 | 60 | 14,3 | 68 | 14,5 | 0,877 | 0,44 |
| Nb porcelets sevrés | 71 | 12,6 | 71 | 12,7 | 60 | 12,5 | 67 | 12,8 | 0,526 | 0,26 |
| Taux de mort-nés (MN) ² , % NT | 73 | 9,80 ^a | 72 | 9,10 ^a | 60 | 6,52 ^b | 68 | 7,61 ^{ab} | 0,037 | |
| Mortalité naissance-sevrage ² , % NV | 73 | 13,1 | 72 | 13,3 | 60 | 11,5 | 68 | 12,1 | 0,604 | |
| Mortalité totale ³ , % NT | 73 | 21,5 | 72 | 21,1 | 60 | 17,3 | 68 | 18,8 | 0,062 | |
| Poids portée 24h, kg | 73 | 21,9 | 72 | 21,9 | 60 | 21,5 | 68 | 21,1 | 0,608 | 0,79 |
| Poids sevrés, kg | 72 | 77,0 | 71 | 78,4 | 60 | 78,7 | 68 | 78,7 | 0,858 | 2,57 |
| Gain portée au sevrage, kg | 71 | 59,6 | 68 | 60,6 | 60 | 60,4 | 64 | 62,0 | 0,543 | 1,65 |
| GMQ par porcelet, g/jour | 71 | 240,8 | 68 | 245,8 | 60 | 246,8 | 64 | 248,4 | 0,482 | 3,87 |

¹ Erreur-type à la moyenne ; ² Régression logistique ; ³ Inclus les mort-nés et la mortalité naissance-sevrage, N= nombre de truies

Tableau 4 – Bilan des performances totales des truies aux cours des trois cycles reproductifs comparant l'alimentation conventionnelle (CONV) à l'alimentation de précision (AP)

| Variables, Unité | CONV | | AP | | Valeur P | ETM ¹ |
|--|------|-------|-----|-------|--------------|------------------|
| | N | Moy. | N | Moy. | | |
| Nombre (nb) de porcelets nés totaux (NT) | 202 | 44,3 | 191 | 44,6 | 0,610 | 0,8 |
| Taux de mort-nés (MN) ² , % NT | 202 | 6,7 | 191 | 5,8 | 0,019 | |
| Nb porcelets nés vivants | 202 | 41,3 | 191 | 42,0 | 0,267 | 0,8 |
| Mortalité naissance-sevrage ² , % NV | 202 | 11,9 | 191 | 11,2 | 0,122 | |
| Nb sevrés | 202 | 36,2 | 191 | 36,9 | 0,030 | 0,4 |
| Mortalité totale ^{3,4} , % NT | 202 | 17,8 | 191 | 16,3 | 0,031 | |
| Poids portée 24h, kg | 201 | 60,9 | 191 | 60,4 | 0,591 | 1,2 |
| Gain portée au sevrage, kg | 174 | 163,2 | 171 | 169,3 | 0,019 | 2,6 |
| Poids sevrés, kg | 202 | 214,1 | 191 | 220,1 | 0,041 | 2,9 |
| GMQ par porcelet, g/jour | 170 | 241,5 | 168 | 245,2 | 0,148 | 2,6 |
| CMQ lactation, kg/j (Nb jours en covariable) | 202 | 6,44 | 189 | 6,35 | 0,208 | 0,08 |
| Taux de réforme après cycle 1 ² , % | 249 | 9,9 | 253 | 14,8 | 0,079 | 0,3 |
| Taux de réforme cumulatif après cycle 2 ² , % | 249 | 19,7 | 253 | 24,5 | 0,194 | 0,2 |
| Taux de réforme cumulatif après cycle 3 ² , % | 249 | 31,8 | 253 | 36,4 | 0,273 | 0,2 |
| Sauts de bande totaux ³ , % | 200 | 0,47 | 191 | 0,64 | 0,015 | 0,14 |

¹ Erreur-type à la moyenne ; ² Régression logistique ; ³ Régression de Poisson ; ⁴ Inclus les mort-nés et la mortalité naissance-sevrage ; N= nombre de truies

3. DISCUSSION

3.1. Effets sur les performances des truies

Les truies de rang de portées 3 recevant l'alimentation de précision, surtout les APP, avaient un taux de mort-nés et un taux de mortalité des porcelets inférieurs aux truies conventionnelles. En réalisant l'analyse des résultats de la carrière globale au cours des trois cycles de reproduction de ces truies, le nombre total de porcelets morts, incluant les mort-nés, était ainsi réduit de 1,5 % avec l'alimentation de précision (AP) comparativement à l'alimentation conventionnelle (CONV), principalement dû aux effets chez les nullipares (Galiot *et al.*, 2023) et chez les truies de rang de portée 3. Cette réduction de la mortalité a d'ailleurs permis d'augmenter significativement le nombre de porcelet sevrés sur les trois cycles (+0,7 porcelet). Une précédente étude sur l'alimentation de précision en gestation conduite sur deux cycles avait également montré une tendance à la réduction du taux de mort-nés avec l'alimentation de précision (Cloutier *et al.*, 2019) appuyant les résultats observés dans le cadre de cette étude.

En fin de gestation, l'alimentation conventionnelle ne répondrait pas pleinement au besoin en Lys DIS des truies (Gagnon *et al.*, 2017 ; Dourmad *et al.*, 2018 ; Gaillard *et al.*, 2020). La fin de la gestation est caractérisée par une forte croissance des fœtus, requérant un dépôt de protéines très élevé (McPherson *et al.*, 2004). L'une des hypothèses pouvant expliquer la réduction de la mortalité des porcelets serait que l'alimentation de précision permettrait de mieux combler les besoins à ce stade de gestation (Figure 1 & Tableau 2), ce qui pourrait avoir un impact sur la qualité et sur la viabilité des fœtus. Certaines études ont d'ailleurs montré qu'une restriction nutritionnelle ou énergétique en gestation pouvait affecter négativement la survie embryonnaire et postnatale des porcelets (Ji *et al.*, 2017 ; Zhang *et al.*, 2019), et le développement placentaire (Belkacemi *et al.*, 2010). Une autre étude a également observé qu'un ajustement adéquat de l'apport en acides aminés en fin de gestation diminuait la variation des poids de porcelets à la naissance (Kim *et al.*, 2009).

Il existerait donc un équilibre à atteindre entre une alimentation trop pauvre en protéines, qui implique une réduction de la croissance intra-utérine, du poids à la naissance et de l'efficacité alimentaire des porcelets, ainsi qu'une alimentation trop riche, qui produit des métabolites toxiques en excès chez la truie pouvant altérer la survie fœtale (Herring *et al.*, 2018), d'où l'importance d'un ajustement adéquat des apports de nutriments à chaque truie.

3.2. Effets sur la longévité des truies

Davantage de truies nullipares soumises à l'alimentation de précision tendaient à être réformées à la suite de leur premier cycle reproductif. Cet effet était toutefois non significatif aux termes des trois cycles, bien que numériquement supérieur pour les truies avec l'alimentation de précision. Le nombre de sauts de bande était également plus élevé chez ces truies. Considérant une durée de 28 jours par bande, ce résultat représenterait une augmentation significative de 4,9 jours improductifs par truie (17,9 vs 13,0 jours en AP et CONV respectivement).

Les truies nullipares et de rang de portée 3 AP ont eu tendance à perdre davantage de lard dorsal pendant la lactation, tout en sevrant autant voire davantage de porcelets chez les nullipares. Elles semblaient donc mobiliser davantage leurs réserves corporelles pendant la lactation. Comme en lactation les besoins nutritionnels des truies nullipares ne sont pas pleinement comblés avec l'alimentation conventionnelle (Clowes *et al.*, 2003 ; Gauthier *et al.*, 2019 ; Cloutier *et al.*, 2022), la présence d'un nombre supplémentaire de porcelets, tout en ayant une alimentation en lactation limitée en Lys DIS, a possiblement accentué la mobilisation des réserves de ces truies. Le retour en œstrus et la fertilité subséquente de ces truies ont ainsi pu être affectés, se reflétant par une tendance à avoir un taux de réforme plus élevé et par une augmentation significative du nombre de jours improductifs chez ces truies (sauts de bande).

CONCLUSION

L'alimentation de précision pendant la gestation a montré un bénéfice global sur les performances en lactation au terme des trois cycles par une réduction de la mortalité des porcelets occasionnant une augmentation du nombre de sevrés (+0,7 porcelets au terme de trois cycles de gestation et lactation). Toutefois, les truies avec l'alimentation de précision présentent un nombre de jours improductifs significativement supérieur (saut de bande) et une tendance à être davantage réformées après le premier cycle.

L'alimentation de précision offrirait ainsi des bénéfices économiques par une réduction du coût d'alimentation lié à la réduction des apports en Lys, protéines et phosphore, mais également en lien avec l'augmentation du nombre de porcelets sevrés. À cela s'ajoute la réduction des rejets environnementaux occasionnée par la diminution de l'apport nutritionnel en azote et en phosphore de 11 % et 17 % respectivement. Toutefois, afin de s'assurer que ces bénéfices ne soient limités par une augmentation du nombre de jours improductifs ou d'un taux de réformes plus élevé après le

premier cycle, il demeure important d'optimiser la stratégie d'alimentation des truies nullipares à la fois en gestation et en lactation. Un apport en Lys DIS supplémentaire en lactation serait une stratégie potentielle à investiguer afin de valider s'il est possible de réduire les impacts négatifs observés au terme de la première lactation, l'alimentation de précision en lactation pouvant être une stratégie complémentaire optimale afin de minimiser les coûts d'alimentation pour les truies multipares pour lesquelles l'alimentation conventionnelle en lactation serait généralement suffisante (Gauthier *et al.*, 2019).

REMERCIEMENTS

Ce projet est financé par l'entremise du Programme Innov'Action agroalimentaire, en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec et grâce aux partenariats financiers Agri-Marché, Groupe Cérès, INRAE, METEX Animal Nutrition, Olymel Sec, Université Laval et Trouw nutrition.

Merci également à toute l'équipe du CDPQ et particulièrement aux techniciens qui ont tous grandement contribué au projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Belkacemi L., Nelson DM., Desai M., Ross M.G., 2010. Maternal undernutrition influences placental-fetal development. *Biol. Reprod.*, 83, 325-331.
- Bikker P., Blok M-C., 2017. Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows, CVB documentation report; No. 59, Wageningen Livestock Research.
- Cloutier L., Dourmad J.Y., Pomar C., Morin-Doré L., Gagnon P., 2019. Effet d'une alimentation de précision sur les performances, la productivité et le coût d'alimentation pendant la gestation dans un contexte commercial de gestion des truies en groupe. *Journées Rech. Porcine*, 51, 129-134.
- Cloutier L., Gagnon P., Gauthier R., Dourmad J.Y., Guay F., Berthiaume G., 2022. Étude technico-économique sur l'alimentation de précision chez la truie en lactation. Rapport. Centre de développement du porc du Québec, Québec, Canada, pp.40.
- Clowes E.J., Aherne F.X., Schaefer A.L., Foxcroft G.R., Baracos V.E., 2003. Parturition body size and body protein loss during lactation influence performance during lactation and ovarian function at weaning in first-parity sows. *J. Anim. Sci.*, 81, 1517-1528.
- Dourmad J.Y., Van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Brossard L., Noblet J., 2013. Modeling nutrient utilization in sows, a way towards the optimization of nutritional supplies. *International Symposium: Modelling in pig and poultry production*, 18-20 June, Jaboticabal, Sao Paulo, Brésil.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Prunier A., Noblet J., 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: A review. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 87-97.
- Dourmad J.Y., Gagnon P., Brossard L., Pomar C., Cloutier L., 2018. Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'alimentation de précision des truies en gestation. *Journées Rech. Porcine*, 50, 101-106.
- Gaillard C., Quiniou N., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2020. Evaluation of a decision support system for precision feeding of gestating sows. *J. Anim. Sci.*, 98, 1-12.
- Gaillard C., Dourmad J. Y., 2022. Application of a precision feeding strategy for gestating sows. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 287, 115280.
- Gagnon P., Cloutier L., Rivest J., Dourmad J.Y., Pomar C., Bussièrès D., Lefebvre A., 2017. Évaluation par simulation de l'impact nutritionnel et économique d'une alimentation de précision chez la truie en gestation. Rapport. CDPQ, Québec, Canada, pp.37.
- Galiot L., Cloutier L., Guay F., Dumas G., Gaillard C., Dourmad J.-Y., Simongiovanni A., Gagnon P., 2023. Impact de l'alimentation de précision et d'un surplus d'aliment en fin de gestation sur les performances et l'état corporel de truies suivies pendant leurs deux premiers cycles de gestation et lactation. *Journées Rech. Porcine*, 55, 183-188.
- Gauthier R., Largouët C., Gaillard C., Cloutier L., Guay F., Dourmad J.Y., 2019. Dynamic modeling of nutrient use and individual requirements of lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 97, 2822-2836.
- Herring C.M., Bazer F.W., Johnson G.A., Wu G., 2018. Impacts of maternal dietary protein intake on fetal survival, growth, and development. *Exp. Biol. Med.*, 243, 525-533.
- Ji Y., Wu Z., Dai Z., Wang X., Li J., Wang B., Wu G., 2017. Fetal and neonatal programming of postnatal growth and feed efficiency in swine. *J. Animal. Sci. Biotechnol.*, 8, 42.
- Kim S.W., Hurley W.L., Wu G., Ji F., 2009. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *J. Anim. Sci.*, 87, E123-E132.
- Levesque C.L., Moehn S., Pencharz P.B., Ball R.O., 2011. The Threonine requirement of sows increases in late gestation. *J. Anim. Sci.*, 89, 93-102.
- McPherson R.L., Ji F., Wu G., Blanton J.R. Jr., Kim S.W., 2004. Growth and compositional changes of fetal tissues in pigs. *J. Anim. Sci.*, 82, 2534-2540.
- Pomar C., Kyriazakis I., Emmans G.C., Knap P.W., 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, E178-E186.
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Site web: <https://www.R-project.org/>.
- Stewart V., Buis R.Q., Christensen B., Hansen L.L., de Lange C.F., Mandell I.B., Huber L.A., 2021. The effects of precisely meeting estimated daily energy and lysine requirements for gestating sows over three consecutive pregnancies on sow reproductive and lactation performance. *Transl. Anim. Sci.*, 5(4), txab226.
- Zhang S., Heng J., Song H., Zhang Y., Lin X., Tian M., Chen F., Guan W., 2019. Role of Maternal Dietary Protein and Amino Acids on Fetal Programming, Early Neonatal Development, and Lactation in Swine. *Animals (Basel)*, 9, 19.



Effets d'une alimentation de précision en phosphore et calcium sur le statut phosphocalcique de la truie durant deux cycles de gestation

Thomas LEMEE (1), Julien HEURTAULT (1,3), Lucie GALIOT (2), Patrick SCHLEGEL (3), Laetitia CLOUTIER (2), Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, Canada, G1V 1A6

(2) Centre de Développement du Porc du Québec inc., 815 Rte Marie-Victorin, Saint-Nicolas, Lévis, Canada, G7A 3S7

(3) Agroscope, Groupe de recherche porcine, 1725 Posieux, Suisse

marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca

Effets d'une alimentation de précision en phosphore et calcium sur le statut phosphocalcique de la truie durant deux cycles de gestation

L'objectif de cette étude était de tester une stratégie d'alimentation de précision de la truie en gestation en comparaison d'apports fixes sur son statut phosphocalcique et ses performances. Pour ce faire, 120 truies ont été suivies sur deux parités afin d'étudier les effets de trois traitements alimentaires : 1) canadien (CAN ; 0,32 % de phosphore (P) digestible ; 0,83 % de calcium (Ca)), 2) européen (EU ; 0,25 % de P digestible ; 0,68 % de Ca) et 3) précision (PR ; de 0,15 % à 0,32 % de P digestible ; de 0,46 % à 0,83 % de Ca). Le statut phosphocalcique, étudié pendant les deux cycles aux 30^{ème} et 90^{ème} ou 110^{ème} jours de gestation, a été mesuré par la méthode de collecte urinaire totale sur 24h par cathéter et par des analyses sanguines. Les performances zootechniques en lactation, le Ca et le P sériques étaient similaires entre les traitements. Néanmoins, durant le 1^{er} cycle étudié, les truies PR excrétaient plus de P via l'urine que CAN (+63 % ; *P-value* < 0,05) bien qu'elles avaient reçu deux fois moins de P digestible. Le Ca urinaire était plus faible dans PR que CAN (-27 %) conduisant à un ratio Ca : P urinaire plus faible pour PR (0,46 vs. 1,08 ; *P-value* < 0,05) indiquant que le Ca était limitant pour le dépôt osseux des PR. Ce résultat montre l'importance de l'équilibre phosphocalcique pour la rétention osseuse. A l'inverse, au 2^{ème} cycle étudié, les truies PR excrétaient peu de P et de Ca au 30^{ème} jour de gestation. Ainsi, le traitement PR semblait se rapprocher du besoin phosphocalcique de la truie. Ces résultats montrent le potentiel d'abaisser le niveau de formulation en P digestible.

Effects of precision phosphorus and calcium feeding on sow phosphocalcic status over two gestations

The aim of this study was to test a precision feeding strategy during gestation and compare its effects on sow phosphocalcic status and performance to those of fixed dietary concentration. To this end, 120 sows were monitored over two successive parities and fed one of the following treatments: 1) Canadian (CAN; 0.32 % digestible phosphorus (P); 0.83 % calcium (Ca)), 2) European (EU; 0.25 % digestible P; 0.68 % Ca) or 3) precision (PR; 0.15-0.32 % digestible P; 0.46-0.83 % Ca). Phosphocalcic status at 30 and 90 or 110 days of both gestations was measured by collecting urine produced over 24 hours using a catheter and by analysing blood. Lactation performance and blood serum Ca and P were similar among treatments. Nevertheless, during the first cycle, PR sows excreted more urinary P than CAN (+63 %; *P-value* < 0.05) despite consuming half as much digestible P. Urinary Ca was lower in PR than CAN (-27 %), which led to a lower urinary Ca:P ratio for PR (0.46 vs. 1.08; *P-value* < 0.05), indicating that Ca was limiting for bone deposition in PR. This result shows the need to have balanced P and Ca supplies for bone retention. Conversely, during the second cycle, PR sows excreted little urinary P and Ca by day 30 of gestation. Thus, the PR diet seemed to match sow phosphocalcic requirements closely. These results show the potential for lowering the level of digestible P formulation.

INTRODUCTION

Les truies des élevages commerciaux reçoivent en général un seul aliment de composition nutritionnelle fixe durant la gestation. Or, les besoins nutritionnels des truies, incluant celui du phosphore (P) et du calcium (Ca), varient selon le stade de gestation et les caractéristiques individuelles des animaux (Bikker et Blok, 2017 ; Quiniou *et al.*, 2021). Le P est un élément indispensable pour le développement et le maintien de la minéralisation du squelette (Crenshaw, 2001). Une stratégie alimentaire pour couvrir le besoin plus élevé à la fin de la gestation, nommée le "bump feeding", consiste à augmenter la quantité d'aliment distribué dans le dernier tiers de gestation des truies. Cependant, cela a pour effet d'augmenter le nombre de truies en excès de P alimentaire (Gaillard *et al.*, 2020). Ce dernier est au centre d'enjeux économiques, par la disponibilité limitée et non renouvelable du phosphate inorganique, et d'enjeux environnementaux, par les excès de P dans les sols de certaines régions (Dourmad *et al.*, 2020). Ainsi, des stratégies alternatives permettant de maximiser l'utilisation du P par la truie tout en minimisant son incorporation dans l'aliment doivent être développées. L'une des solutions est la mise en place d'une stratégie d'alimentation de précision, consistant à mélanger un aliment riche avec un aliment pauvre en nutriment et d'ajuster leur proportion tout au long de la gestation, dans le but de fournir la quantité de P nécessaire pour couvrir les besoins de la truie tout en limitant les excès. Toutefois, cela demande une fine connaissance du besoin en P chez la truie gestante. Des modèles de prédiction du besoin phosphocalcique journalier chez la truie sont disponibles (Bikker et Blok, 2017), mais ont été peu utilisés en pratique. Ainsi, l'objectif de cette étude était d'évaluer les effets d'une stratégie d'alimentation de précision en gestation (*i.e.* ajustement des apports aux besoins en P des truies de façon quotidienne) sur le statut phosphocalcique et les performances zootechniques des truies en comparaison à des apports fixes.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et régimes expérimentaux

Un total de 120 truies Yorkshire Landrace (22 de 1^{ère} parité, 10 de 2^{ème} parité, 9 de 3^{ème} parité, 11 de 4^{ème} parité et 68 de 5^{ème} parité) ont été suivies sur deux cycles (P1 et P2) de gestation. Deux aliments (Tableau 1) ont été utilisés pour cette étude : un riche en P et Ca (H ; 3,2 g de P digestible ; 8,3 g de Ca/kg) et un pauvre (B ; 1,5 g de P digestible ; 4,6 g de Ca/kg).

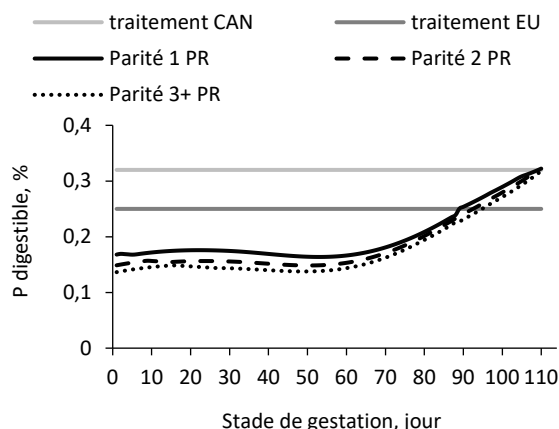


Figure 1 - Concentration en P digestible (%) en fonction des traitements alimentaires et du jour de gestation

La distribution de ces aliments commençait le lendemain de la dernière insémination. Jusqu'au $30 \pm 3^{\text{ème}}$ jour de gestation, les truies étaient logées individuellement. Puis, elles rejoignaient un parc de gestation en groupe de 60 ± 5 truies jusqu'au $110 \pm 3^{\text{ème}}$ jour de gestation. Les animaux ont été répartis entre trois régimes alimentaires (Figure 1) : 1) aliment canadien (CAN), 2) aliment européen (EU) et 3) aliment de précision (PR). Le CAN était constitué à 100% de l'aliment H, le EU était composé à 59% du H et à 41% du B, quant au PR sa composition variait tous les jours. Les besoins d'entretien et de gestation étaient calculés selon Bikker et Blok (2017) et le besoin de croissance selon Dourmad *et al.* (2021). Les truies recevaient 2,3 kg/j (primipares) et 2,4 kg/j (multipares) et cet apport était augmenté à 3,0 kg/j à partir du 90^{ème} jour de gestation. Des ajustements de quantité allouée pouvaient avoir lieu en fonction de l'état corporel de la truie. En phase de lactation, un seul aliment était distribué (Tableau 1). Le lendemain de la mise bas, des adoptions étaient réalisées à l'intérieur des traitements pour égaliser les portées à 13 ou 14 porcelets. La moitié des truies de chaque traitement étaient en cage ascenseur et l'autre moitié en cage standard.

Tableau 1 - Aliments expérimentaux

| Stade Aliments | Gestation | | Lactation |
|--|----------------|----------------|-------------|
| | B ¹ | H ² | |
| Ingrédients, g/kg | | | |
| Maïs | 526,10 | 514,84 | 601,70 |
| Blé | | | 75 |
| Gru rouge | 300 | 300 | |
| Drèche de distillerie | 60 | 93 | 50 |
| Pain déshydraté | | | 24,8 |
| Écales d'avoine | 81 | 58 | |
| Tourteau de soja | 10,0 | | 200,5 |
| Graisse animale | | | 8,8 |
| Pierre à chaux | 10,06 | 18,60 | 14,70 |
| Sel | 6,08 | 6,00 | 4,50 |
| DL-Méthionine | | | 1 |
| L-Lysine HCl | 2,20 | 2,36 | 3,70 |
| L-Thréonine | 0,74 | 0,70 | 1,30 |
| Chlorure de choline | 0,72 | 0,72 | |
| L-Tryptophane | | | 0,2 |
| L-Valine | | | 0,8 |
| Phosphate-monocalcique | | 2,58 | 9,2 |
| Phytase ³ | | 0,10 | |
| Prémélange truie 2,5kg SP | 2,5 | 2,5 | |
| PX -SE 500 | 0,6 | 0,6 | |
| Premix lactation | | | 3,8 |
| Composition nutritionnelle analysée | | | |
| Cellulose brute, g/kg | 69 | 64 | 26 |
| Protéine brute, g/kg | 121 | 124 | 174 |
| Lysine DIS, g/kg ⁴ | 5,3 | 5,3 | 5,3 |
| Calcium (Ca), g/kg | 4,6 (5,6) | 8,3 (8,9) | 8,1 |
| Phosphore (P), g/kg | 5,1 (5,4) | 5,8 (5,9) | 5,5 |
| P digestible, g/kg ⁴ | 1,5 (1,6) | 3,2 (3,3) | 4,0 |
| Ca : P digestible | 3,1 (3,5) | 2,6 (2,7) | 2,03 |
| Energie digestible, kcal/kg | 2241 | 2240 | 2540 |

¹ Aliment pauvre en P digestible. ² Aliment riche en P digestible. ³ 0,10% de Quantum Blue 5000 (150 g/t) correspond à 750 FTU/kg avec une équivalence de 1,58 g P digestible et 1,92 g Ca par kg d'aliment. ⁴ Digestible idéale standardisée. ⁵ Valeurs calculées selon NRC (2012).

1.2. Mesures

Un total de huit échantillons d'aliments de gestation a été analysé, soit quatre prélèvements par aliment.

La consommation moyenne journalière (CMJ) et individuelle des truies a été enregistrée à l'aide de stations d'alimentation Gestal 3G (Jyga Technologies, St-Lambert-de-Lauzon, Québec). Au sevrage et aux 30^{ème} et 110^{ème} jours de gestation, les truies ont été pesées et l'épaisseur de lard dorsal (ELD) a été mesurée par ultrasons à 6,5 cm de part et d'autre de la ligne médiane, au niveau de la dernière côte. Des échantillons de sang ont été prélevés dans la jugulaire des truies à 30 et 110 jours après l'insémination et stockés à -20°C. Le telopeptide C-terminal du collagène de type I (CTX), marqueur de résorption osseuse, ainsi que le P et le Ca sériques ont été déterminés.

Les excréments urinaires ont été collectés pendant 24 heures aux 30 et 90 jours après l'insémination par cathéter urinaire Foley (taille 18 ; ballon de 30 ml ; DYND11778, Illinois, États-Unis) selon la méthode décrite par Grez-Capdeville et Crenshaw (2021a). Lors de la pose, la zone péri-vulvaire a été nettoyée avec de l'eau savonneuse puis avec une solution de chlorhexidine (dilution : 2%, DIN 02295253, Ilderton, Canada). Puis, un cathéter stérile et recouvert d'un triple antibiotique (DIN 02246693, Brampton, Canada) a été introduit dans l'urètre de la truie à l'aide de lubrifiant (LU 020 PC, Elgin, États-Unis). L'urine a été récupérée dans des contenants de 20 L. La quantité totale et les teneurs en Ca et P ont permis d'obtenir la phosphaturie et la calciurie. Seule l'urine des truies CAN et PR a été prélevée à 90 jours de gestation car les apports de P alimentaire des traitements PR et EU ont été jugés similaires à ce stade.

1.3. Analyses chimiques des échantillons

Les teneurs en P et Ca alimentaires ont été déterminées après digestion par acides perchlorique et nitrique et analysées à l'aide d'un spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES, Agri-marché, Québec, Canada ; Tableau 2). Dans le sérum sanguin, le marqueur de résorption osseuse (CTX) a été analysé avec un kit ELISA (Novus Biologicals, Centennial, USA). La limite de détection la plus basse était de 0,19 ng/ml pour le CTX. La concentration sérique et urinaire de

P et Ca ont été mesurées par ICP (ICP soluble, IRDA, Québec, Canada).

Tableau 2 - Teneurs analysées en frais en phosphore et calcium des aliments¹

| Jour de gestation ² | Premier cycle | | Second cycle | |
|--------------------------------|---------------|--------|--------------|--------|
| | 1-30 | 31-113 | 1-30 | 31-113 |
| P digestible, g/kg | | | | |
| CAN | 3,5 | 3,1 | 2,8 | 3,3 |
| EU | 2,6 | 2,4 | 2,3 | 2,7 |
| PR | 1,5 | 2,0 | 1,6 | 2,2 |
| Calcium, g/kg | | | | |
| CAN | 10,2 | 8,6 | 7,6 | 9,1 |
| EU | 8,1 | 7,3 | 7,0 | 7,5 |
| PR | 5,4 | 6,5 | 6,3 | 6,5 |
| Ca : P digestible | | | | |
| CAN | 2,8 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| EU | 3,0 | 2,9 | 3,0 | 2,7 |
| PR | 3,4 | 3,2 | 3,8 | 2,8 |

¹ CAN, Canadien, EU, Européen, PR, précision.

² Date basée sur la dernière truie saillie.

1.4. Statistiques

L'unité statistique était la truie. Les performances de gestation et de lactation ont été analysées par mesures répétées, avec le traitement et le cycle comme effets fixes, à partir de la fonction Anova du package Rstatix et d'un test de Khi-deux du package emmeans sur Rstudio (version 4.1.2). Dans le cas d'une distribution des données non normale, un test de Kruskal-Wallis suivi d'un test de Mann-Whitney-Wilcoxon ont été réalisés. Les analyses urinaires et sanguines ont été corrigées par la fonction powerTransform du package Car et analysées par Anova de type 2, avec le traitement, le cycle et le stade de gestation comme effets fixes, à partir du package Car sur Rstudio (version 4.1.2). Les différences ont été considérées comme significatives lorsque *P-value* < 0,05 et une tendance était notée lorsque la valeur de *P-value* était comprise entre 0,05 et 0,10. Les performances de gestation et de lactation ont été analysées à partir des truies étudiées sur les deux cycles.

Tableau 3 - Caractéristiques des portées et évolution de l'état corporel des truies lors de la gestation et de la lactation

| Traitement ¹ | Premier cycle | | | Second cycle | | | ETR | <i>P-value</i> ³ | |
|------------------------------------|---------------|------|------|--------------|------|------|------|-----------------------------|--------|
| | CAN | EU | PR | CAN | EU | PR | | TRT | Cycle |
| Truie² | 23 | 27 | 16 | 23 | 27 | 16 | | | |
| Poids à la saillie, kg | 223 | 236 | 225 | 239 | 249 | 238 | 32 | 0,15 | < 0,05 |
| Poids à 110 jours de gestation, kg | 244 | 264 | 259 | 274 | 278 | 275 | 34 | 0,17 | < 0,05 |
| ELD à la saillie, mm | 12,8 | 13,4 | 13,9 | 11,8 | 12,0 | 12,0 | 2,5 | 0,15 | < 0,05 |
| ELD à 110 jours de gestation, mm | 12,6 | 13,5 | 15,0 | 12,7 | 12,2 | 14,0 | 2,9 | < 0,05 | 0,22 |
| Ingestion pendant la gestation, kg | 307 | 311 | 305 | 308 | 309 | 299 | 14 | < 0,05 | 0,43 |
| Ingestion pendant la lactation, kg | 172 | 175 | 163 | 154 | 160 | 150 | 26 | 0,14 | < 0,05 |
| Portée | | | | | | | | | |
| Nés totaux (NT) | 15,2 | 16,9 | 14,7 | 15,7 | 16,3 | 14,9 | 3,6 | 0,06 | 0,98 |
| Mort-nés, % NT ⁴ | 6,7 | 6,8 | 7,4 | 9,4 | 7,6 | 8,7 | 8,4 | <0,05 | 0,20 |
| Nés vivants (NV) | 13,6 | 15,3 | 13,0 | 13,5 | 14,4 | 13,1 | 3,2 | < 0,05 | 0,53 |
| Mortalité, % NV | 15,5 | 15,3 | 8,3 | 10,2 | 13,1 | 6,8 | 12,5 | < 0,05 | 0,15 |
| Poids à la naissance, kg/NV | 1,64 | 1,46 | 1,49 | 1,63 | 1,54 | 1,55 | 0,27 | < 0,05 | 0,34 |
| Nombre de sevrés par portée | 12,2 | 12,4 | 12,3 | 11,3 | 11,3 | 11,9 | 1,9 | 0,71 | < 0,05 |
| Gain moyen quotidien, g/j/porcelet | 234 | 244 | 242 | 257 | 236 | 237 | 54 | 0,86 | 0,68 |
| Poids sevrage, kg/porcelet | 6,31 | 6,44 | 6,28 | 6,31 | 6,43 | 6,21 | 0,81 | 0,88 | 0,55 |

¹CAN : aliment canadien (3,2 g P digestible /kg) ; EU : aliment européen (2,5 g P digestible /kg) ; PR : aliment de précision (1,5 à 3,2 g P digestible /kg) ; ELD, épaisseur de lard dorsal. Effets fixes dans le modèle : traitement, cycle, traitement x cycle. ETR : écart-type résiduel. ²Seules les truies présentes lors des deux cycles sont prises en compte. ³Aucune interaction traitement x cycle n'est significative. ⁴Distribution non normale.

2. RESULTATS

En raison de problèmes de fertilité non liés à l'essai, certaines truies n'ont pas réalisé de second cycle. Au total, 66 truies ont été suivies au cours des deux cycles de gestation. Les teneurs en Ca alimentaires étaient supérieures à celles attendues, et ce notamment dans l'aliment B (5,6 vs. 4,6 g/kg). Il en était de même pour le P, mais la différence entre valeur attendue et analysée était plus faible que pour le Ca (5,4 vs. 5,1 g/kg).

2.1. Performances des truies

L'ingestion en gestation était différente selon les traitements (P -value < 0,05 ; Tableau 3). Les truies PR ingéraient moins d'aliment que les EU (P -value < 0,05) et elles avaient tendance à en ingérer moins que les CAN (P -value = 0,10). Entre CAN et EU aucune différence n'a été observée (P -value = 0,36). En lactation, l'ingestion était similaire entre les traitements. Cependant, les truies ingéraient moins d'aliment lors du second cycle (P -value < 0,05).

Les poids des truies à la saillie et à 110 jours de gestation étaient équivalents entre les traitements (Tableau 3). En revanche, le poids des truies était supérieur lors du second cycle comparé au premier (P -value < 0,05). Concernant l'ELD, à la saillie il n'y avait pas d'effet du traitement, mais l'ELD était plus importante lors du second cycle (P -value < 0,05). L'ELD à 110 jours de gestation était influencée par les traitements alimentaires. Les truies PR avaient une ELD supérieure aux CAN (P -value < 0,05) et aux EU (P -value < 0,05). Tandis que les ELD des truies CAN et EU étaient similaires.

2.2. Performances des porcelets

Le nombre de sevrés par portée, le gain moyen quotidien durant la lactation et le poids moyen d'un porcelet au sevrage étaient similaires pour les trois traitements (Tableau 3). Les truies du traitement PR avaient un pourcentage de mort nés plus faible que les truies du traitement EU (P -value < 0,05) et du traitement CAN (P -value < 0,05). Les truies du traitement PR avaient tendance à avoir moins de nés totaux que les CAN (P -value = 0,07).

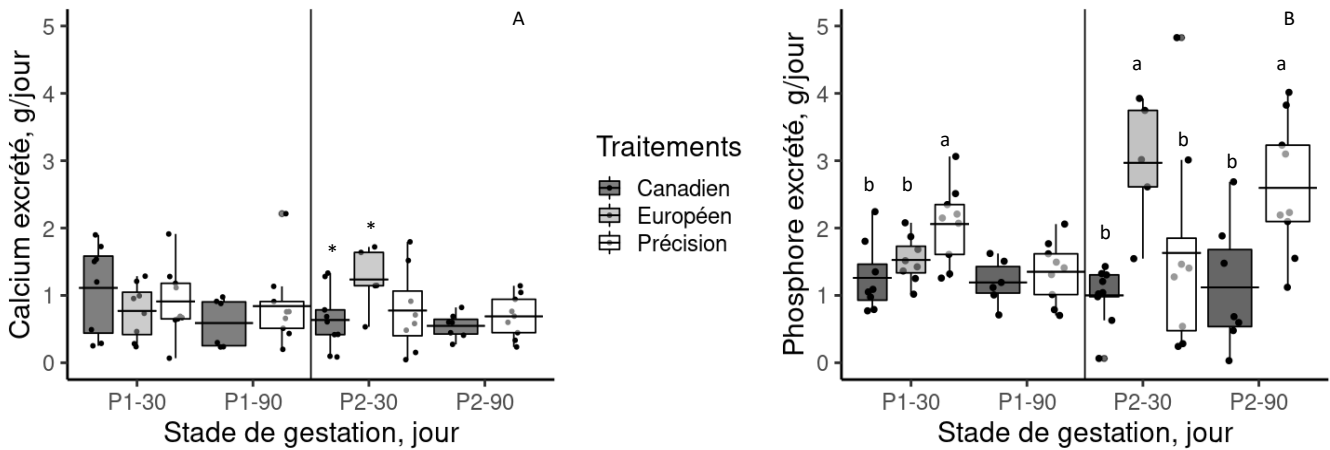


Figure 2 - Quantité de calcium et de phosphore urinaire excrétée à 30 et 90 jours de gestation selon le cycle¹

¹P1-30 : 30^{ème} jour de gestation lors du premier cycle, P1-90 : 90^{ème} jour de gestation lors du premier cycle, P2-30 : 30^{ème} jour de gestation lors du second cycle, P2-90 : 90^{ème} jour de gestation lors du second cycle. Effets fixes : traitement, cycle, stade de gestation, et toutes les interactions. Les lettres indiquent les différences entre traitements à un même stade de gestation. A : interaction traitement x cycle (P -value < 0,05), autre effet et interaction (P -value > 0,10). B : effet du traitement (P -value < 0,05), interaction traitement x cycle (P -value < 0,05), interaction stade de gestation x cycle (P -value < 0,05), interaction traitement x stade de gestation x cycle (P -value = 0,09), autre effet et interaction (P -value > 0,10).

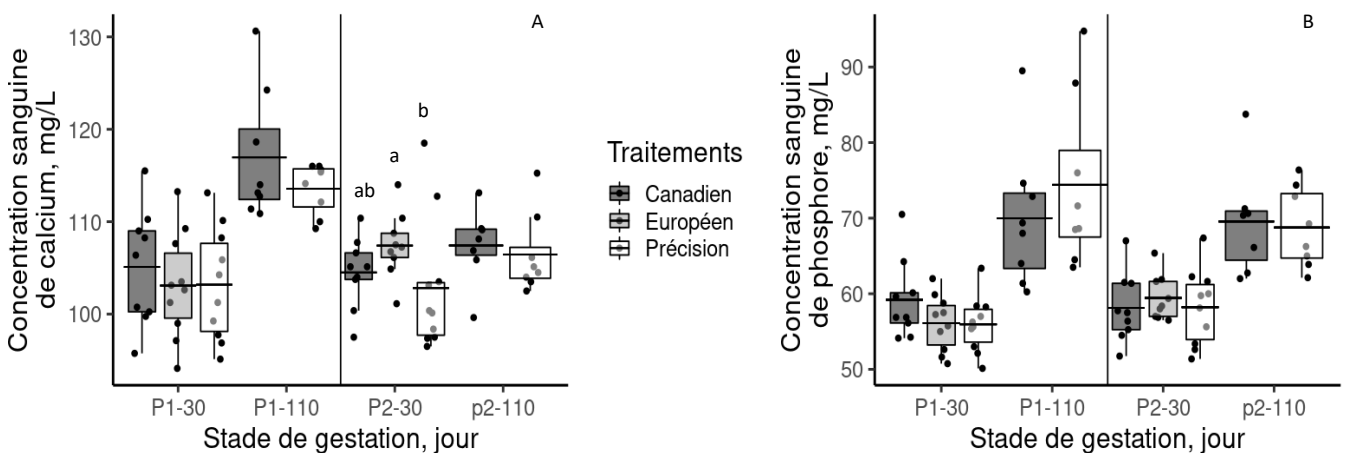


Figure 3 - Quantité de calcium et de phosphore sanguin excrétée à 30 et 110 jours de gestation selon le cycle¹

¹P1-30 : 30^{ème} jour de gestation lors du premier cycle, P1-110 : 110^{ème} jour de gestation lors du premier cycle, P2-30 : 30^{ème} jour de gestation lors du second cycle, P2-110 : 110^{ème} jour de gestation lors du second cycle. Effets fixes : traitement, cycle, stade de gestation, et toutes les interactions. Les lettres indiquent les différences entre traitements à un même stade de gestation. A : effet du stade de gestation (P -value < 0,05), interaction stade de gestation x cycle (P -value < 0,05), effet du cycle (P -value = 0,10), autre effet et interaction (P -value > 0,10) ; B : effet du traitement (P -value < 0,05), effet du cycle (P -value < 0,05), autre effet et interaction (P -value > 0,10).

Les truies EU avaient plus de porcelets nés vivants que les CAN (P -value < 0,05) et les PR (P -value < 0,05). Les truies PR ont eu moins de mortalité de porcelets que les EU (P -value < 0,05) et tendaient à en avoir moins que les CAN (P -value = 0,06). Le poids des porcelets nés vivants était supérieur chez les CAN par rapport au EU (P -value < 0,05) et tendait à être supérieur par rapport aux PR (P -value = 0,06). Enfin, les truies ont sevré moins de porcelets lors du second cycle (P -value < 0,05).

2.3. Ca et P urinaire

L'excrétion urinaire de P variait entre les traitements alimentaires (P -value < 0,05 ; Figure 2) sauf au 90^{ème} jour du premier cycle. Au 30^{ème} jour du premier cycle, les PR rejetaient plus de P que les CAN (P -value < 0,05) et tendaient à en rejeter plus que les EU. Les truies EU et les truies CAN rejetaient des quantités similaires en P. Au 30^{ème} jour du deuxième cycle, les EU rejetaient plus de P que les autres traitements (P -value < 0,05). Au 90^{ème} jour du deuxième cycle, les PR rejetaient plus de P que les CAN (P -value < 0,05). Concernant le Ca, les traitements alimentaires avaient un effet au 30^{ème} jour du deuxième cycle où les truies PR rejetaient plus de Ca que les autres traitements (P -value < 0,05).

2.4. Concentration en Ca, P et CTX sanguin

Les traitements alimentaires n'ont pas eu d'effet sur la phosphatémie et la calcémie des truies sauf au 30^{ème} jour du second cycle, où les truies EU avaient une calcémie supérieure aux PR (P -value < 0,05 ; Figure 3). De plus, tout traitement confondu, la calcémie augmentait durant la gestation (P -value < 0,05). Les traitements alimentaires ont eu un effet au 30^{ème} jour du premier cycle où les truies EU avaient une concentration sanguine en CTX supérieure aux autres traitements (P -value < 0,05 ; données non montrées).

3. DISCUSSION

3.1. Performances de gestation et de lactation

Au cours de la gestation, seule l'ELD mesurée au 110^{ème} jour de gestation a été impactée par le traitement alimentaire. Les truies PR sont arrivées plus grasses à la mise-bas. Cela pourrait s'expliquer en partie par une différence numérique (13,9 vs. 12,8 mm pour les CAN) d'ELD à la saillie. Les performances zootechniques sont proches pour les CAN et les PR sauf sur la mortalité des porcelets qui était réduite chez les PR (7,5 vs. 12,9% des nés totaux) et le poids de naissance qui était supérieur chez les CAN (1,64 vs. 1,52 kg). Comme ont pu observer Grez-Capdeville et Crenshaw (2021b), un régime pauvre en P, tel est le cas au début de la gestation dans l'étude, ne semble pas dégrader les performances de lactation. Globalement, les performances de lactation sont similaires entre une alimentaire de précision et une conduite alimentaire au Canada et en Europe.

3.2. Statut phosphocalcique

Les truies PR ont excrété plus de P, notamment au 30^{ème} jour du premier cycle et au 90^{ème} jour du second cycle de gestation, tandis que les excréments de Ca étaient semblables entre les traitements. Cela pourrait s'expliquer par un manque de Ca dans l'aliment qui aurait pu limiter la minéralisation osseuse. Toutefois, au 30^{ème} jour du second cycle, les truies PR excrétaient peu de P et de Ca. Les valeurs analysées montrent, en effet, un plus faible apport de Ca dans les 30 premiers jours du premier cycle (PR au 30^{ème} jour du 1^{er} cycle : 5,4 vs. PR au 30^{ème} jour du 2nd cycle : 6,3 g/kg). Ce résultat appuie l'importance de contrôler le ratio Ca : P en formulation et indique que ce dernier aurait été déséquilibré durant le premier cycle. Concernant les truies EU, elles n'ont pas réagi de la même manière entre les deux cycles (P -value = 0,09). Lors du deuxième cycle, les truies ont excrété en moyenne le double de P et de Ca dans leurs urines. Une hypothèse serait qu'elles ont mis en place des mécanismes de régulation de la digestibilité du P et du Ca, pouvant ainsi expliquer la hausse de la calcémie observée. Lors des deux cycles, la phosphatémie n'était pas modifiée par les traitements alimentaires des truies, ce qui coïncide avec la littérature qui indique que le taux de phosphate sérique est constant et normal tout au long de la grossesse chez l'humain et l'animal (Kovacs et Kronenberg, 1997). Concernant la calcémie, tout comme pour le P, elle n'a pas été impactée par les traitements alimentaires, sauf au 30^{ème} jour du 2^{ème} cycle où la calcémie des PR était plus faible que pour les autres traitements. Il est donc possible que les truies aient été moins à même de faire face à un deuxième cycle avec des apports de Ca faibles.

CONCLUSION

Les résultats de l'étude confirment la possibilité de mettre en place une alimentation de précision pendant la gestation tout en maintenant les performances zootechniques. En effet, les apports canadiens actuels dépasseraient le besoin réel des truies pour leur croissance, leur entretien et leur gestation. De plus, la mise en place d'une stratégie de précision permettrait de réduire l'utilisation de phosphates dans les aliments de gestation. Cependant, un suivi sur plusieurs cycles est toutefois nécessaire pour confirmer cette stratégie et la promouvoir en élevages commerciaux. Il serait aussi intéressant de refaire cet essai avec une supplémentation de phytase microbienne afin de diminuer encore plus les rejets de P et de rééquilibrer le ratio Ca : P digestible. Cette étude met en évidence la possibilité de revoir les ratios Ca :P digestible lors des deux premiers tiers de gestation afin d'abaisser le niveau de formulation du P digestible tout en continuant à maximiser l'utilisation et la rétention de P.

REMERCIEMENT

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec dans le cadre du programme Prime-Vert.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bikker P., Blok M.C., 2017. Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows. CVB documentation report n°59., Wageningen Livestock Research, Wageningen, Pays-Bas, 72 p.
- Crenshaw T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. In: A.J. Lewis & L.L. Southern (Eds), Swine nutrition (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, Floride, USA, 187-212.
- Crenshaw T.D., Rortvedt L.A., Hassen Z., 2011. Triennial growth symposium: a novel pathway for vitamin D-mediated phosphate homeostasis: implications for skeleton growth and mineralization. J. Anim. Sci., 89, 1957-1964.
- Dourmad J.-Y., Etienne M., Noblet J., Boudon A., 2021. Contenu corporel en minéraux des truies reproductrices. Journées Rech. Porcine, 53, 203-204.
- Dourmad J.-Y., Boudon A., Narcy A., 2020. Le phosphore dans les systèmes d'élevage. INRAE Prod. Anim., 33, 31-40.
- Dourmad J.-Y., Gauthier R., Gaillard, C., 2021. Évolution des concepts nutritionnels et des méthodes d'alimentation des truies reproductrices : historique et perspectives. INRAE Prod. Anim., 34, 111-126.
- Gaillard C., Quiniou N., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2020. Evaluation of a decision support system for precision feeding of gestating sows. J. Anim. Sci., 98, 1-12.
- Grez-Capdeville M., Crenshaw T.D., 2021a. Estimation of phosphorus requirements of sows based on 24-h urinary phosphorus excretion during gestation and lactation. Br. J. Nut., 128, 377-388.
- Grez-Capdeville M., Crenshaw T.D., 2021b. Evaluation of calcium to phosphorus ratio in spot urine samples as a practical method to monitor phosphorus intake adequacy in sows. J. Anim. Sci., 99, skab33.
- Kasper C., Schlegel P., Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G., 2021. Accuracy of predicting chemical body composition of growing pigs using dual-energy X-ray absorptiometry. Animal, 15, 100307.
- Kovacs C.S., Kronenberg H.M., 1997. Maternal-fetal calcium and bone metabolism during pregnancy, puerperium, and lactation. Endocrine reviews, 18(6), 832-872.
- Levasseur P., Courboulay V., 2001. Quels rejets pour des truies gestantes alimentées avec un régime enrichi en fibres ? TechniPorc, 24(5), 13-16.
- NRC (National Research Council), 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. Ed. National Academies Press, Washington D.C. 400 pp.
- Quiniou N., Boudon A., Dourmad J.-Y., Moinecourt M., Priymenko N., Narcy, A., 2021. Modélisation du besoin en calcium de la truie reproductrice et variation du rapport phosphocalcique des aliments selon le niveau de performance. INRA Prod. Anim., 34, 61-78.
- Seydoux S., Côté D., Grenier M., Comité technique - porc, 2005 Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des déjections animales liquides en Chaudière-Appalaches. IRDA (Ed), Québec, Canada, 75 p.



Modèle mécaniste de l'utilisation du phosphore et du calcium alimentaire et de la dynamique de rétention des cendres corporelles chez la truie en lactation

Julien HEURTAULT (1,2), Patrick SCHLEGEL (2), Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, Canada, G1V 1A6

(2) Agroscope, Groupe de recherche porcine, 1725 Posieux, Suisse

marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca

Modèle mécaniste de l'utilisation du phosphore et du calcium alimentaire et de la dynamique de rétention des cendres corporelles chez la truie en lactation

Principalement stockés dans l'os, le phosphore (P) et le calcium (Ca) sont mobilisables pour subvenir au fort besoin phosphocalcique des truies durant la lactation. Ce flux, non négligeable et non pris en compte dans les modèles actuels, a été quantifié chez 24 truies primipares nourries à différents niveaux alimentaires de P et de Ca. Ainsi, une nouvelle approche mécaniste a été développée pour simuler la dynamique de rétention et d'utilisation des réserves corporelles de P et de Ca pendant la lactation incluant un compartiment osseux. Le modèle comprend trois sous-modules 1) le sous-module de digestion qui prédit la quantité de minéraux absorbée, 2) le sous-module de croissance et mobilisation des tissus-mous, et 3) le sous-module des cendres corporelles qui simule la répartition du Ca et du P absorbés dans les compartiments osseux, laitier, protéique et lipidique, ainsi que les pertes urinaires. La sortie du modèle est la mobilisation osseuse en P et en Ca à l'issue de la lactation. Le modèle sous-estime la mobilisation osseuse de P (prédit = $-72,95 + 0,973$ observé ; racine de l'erreur quadratique moyenne de prédiction (RMSPE) : 71% ; erreur de tendance centrale (ECT) : 87% ; erreur de régression (ER) : 1% ; erreur de bruit (EB) : 11%), et la mobilisation osseuse de Ca (prédit = $-117,8 + 0,813$ observé ; RMSPE : 72% ; ECT : 84% ; ER : 1% ; EB : 15%). Plusieurs hypothèses pourraient expliquer une partie de l'erreur de prédiction et restent à confirmer, soit une surestimation des quantités absorbées, une déminéralisation obligatoire en lactation ou une sous-estimation de la quantité de P sécrétée dans le lait.

Mechanistic model of dietary phosphorus and calcium use and the dynamics of body ash retention in lactating sows

Mainly stored in the bone, phosphorus (P) and calcium (Ca) can be mobilised to satisfy the high phosphocalcic requirement of sows during lactation. This flow, which is large and not included in current models, was quantified for 24 primiparous sows fed different dietary levels of P and Ca. Thus, a new mechanistic approach was developed to simulate the dynamics of retention and use of body P and Ca reserves during lactation, including a bone compartment. The model includes three sub-modules: 1) digestion, which predicts the amounts of minerals absorbed; 2) soft tissue growth and mobilisation and 3) body ash, which simulates the distribution of absorbed Ca and P in the bone, milk, protein and lipid compartments, as well as urinary losses. The output of the model is bone mobilisation in P and Ca at the end of lactation. The model underestimated P bone mobilisation (predicted = $-72.95 + 0.973$ observed; root mean square error of prediction (RMSEP): 71%; central tendency error (ECT): 87%; regression error (ER): 1%; disturbance error (EB): 11%) and Ca bone mobilisation (predicted = $-117.8 + 0.813$ observed; RMSEP: 72%; ECT: 84%; ER: 1%; EB: 15%). Several hypotheses, which remain to be confirmed, could explain some of the prediction error: overestimation of the amounts absorbed, the necessary demineralisation during lactation, or underestimation of the amount of P secreted in the milk.

INTRODUCTION

Le phosphore (P), bien qu'élément non substituable et essentiel à la structure osseuse (Crenshaw, 2001), représente un risque de pollution pour l'environnement lorsqu'il est apporté en surplus des besoins des cultures (Agroscope, 2017 ; Dourmad *et al.*, 2020). Sur la base actuelle des prédictions du besoin en P digestible d'une truie en lactation, sa couverture ne peut se faire sans ajout de phosphate inorganique dans l'aliment, une ressource limitée et non renouvelable. En raison de la forme de stockage du P dans l'os, conjointement liée au calcium (Ca), l'étude du P s'associe intrinsèquement au Ca.

Répondre à ces deux enjeux implique une estimation précise du besoin en P et en Ca. Cependant, les modèles actuels de prédiction du besoin d'une truie en lactation reposent sur un système factoriel comprenant le besoin d'entretien et le besoin de production laitière, avec l'ingestion comme seul flux disponible de nutriments pour l'organisme. La capacité de la truie à mobiliser ses réserves en P et Ca osseuses (Giesemann *et al.*, 1998) n'est pas considérée dans la prédiction du besoin, par manque de données. Toutefois, de nouvelles données de cinétique de minéralisation osseuse de la truie en lactation en fonction de l'apport en P et Ca alimentaire sont à présent disponibles (Heurtault *et al.*, 2023). L'ajout de ces données pour aboutir à un modèle mécaniste d'utilisation et de rétention des cendres corporelles chez la truie en lactation pourrait permettre d'affiner la prédiction du besoin en P et Ca. Cet écrit se consacre à la première étape de modélisation des flux métaboliques de P et Ca. Une étude du comportement du modèle dans différentes conditions d'alimentation, une analyse de sensibilité, et une étude de la qualité de prédiction du modèle seront également présentées et permettront d'énumérer des axes d'amélioration du modèle.

1. PRESENTATION DU MODELE

1.1. Structure générale du modèle

Une approche mécaniste a été mise en œuvre pour représenter la dynamique de rétention et de répartition du P et du Ca entre les différents compartiments physiologiques chez une truie en lactation. Le modèle simplifié est présenté à la figure 1. Il comprend trois sous-modules : 1) le sous-module de digestion, qui prédit la quantité de P et de Ca absorbée dans le tube digestif et la quantité de P et de Ca excrétée au niveau fécal, 2) le sous-module de croissance des tissus-mous (muscle, gras) est basé sur le modèle de Gauthier *et al.* (2019), et 3) le sous-module des cendres corporelles qui simule le dépôt et la mobilisation du Ca et du P stockés dans les compartiments osseux, protéique et lipidique, l'exportation dans le lait ainsi que les pertes urinaires. Le modèle est basé sur l'hypothèse que la sécrétion de P et de Ca dans le lait est prioritaire sur le dépôt dans les tissus mous et les os. Ainsi, lorsque l'absorption et les cendres libérées par la mobilisation des tissus mous en réponse à la demande importante en protéine et énergie pour la lactation ne suffisent pas à satisfaire le besoin minéral du lait, les réserves osseuses sont mobilisées avec un ratio Ca : P dans les os fixé à 2,16 (Crenshaw, 2001). Le plasma est simulé comme un pool stable dans une situation d'homéostasie. L'excrétion urinaire permet d'éviter un surplus de minéraux au niveau plasmatique. Les entrées nutritionnelles du modèle comportent le niveau d'ingestion, les acides aminés (AA) digestibles iléaux standardisés, l'énergie métabolisable, le Ca et P alimentaire ainsi que les équivalences phytasiques. Les entrées zootechniques du modèle comportent les performances de la portée : la taille de la portée et le gain moyen quotidien. Les sorties du modèle sont la mobilisation osseuse durant la lactation et la quantité de minéraux fécaux et urinaires.

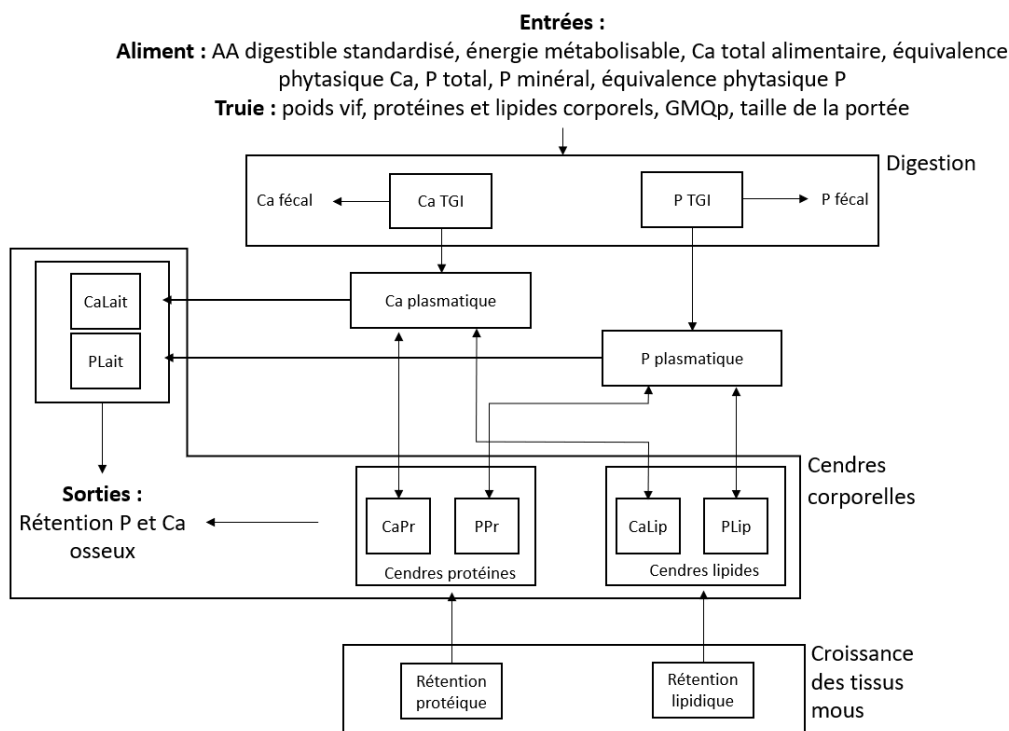


Figure 1 – Modèle mécaniste de prédiction de la mobilisation osseuse en phosphore et calcium d'une truie en lactation ¹

¹ TGI : tractus gastro-intestinal ; AA : acide aminé ; GMQp : gain moyen quotidien de la portée durant toute la lactation (g/j) ; CaPr : Ca lié à la mobilisation protéique ; PPr : P lié à la mobilisation protéique ; CaLip : Ca lié à la mobilisation lipidique ; PLip : P lié à la mobilisation lipidique ; CaLait : Ca sécrété dans le lait ; PLait : P sécrété dans le lait.

1.2. Données observées

Le modèle a été ajusté à partir de données issues de 24 truies primipares réparties entre quatre traitements alimentaires. Les aliments étaient formulés pour couvrir les besoins nutritionnels, exceptés ceux en Ca et en P digestible (P dig) : témoin (Lact100 ; 5,9 g P ; 9,9 g Ca/kg), carencé à 25 % (Lact75 ; 5,3 g P ; 8,3 g Ca/kg), carencé à 50 % (Lact50 ; 4,3 g P ; 6,0 g Ca /kg), carencé à 50 % avec phytase (Lact50+FTU ; 4,2 g P ; 6,0 g Ca /kg ; 500 FTU de phytase /kg -Quantum Blue 5G, AB Vista, Marlborough, United Kingdom). Le descriptif de l'essai est détaillé dans la publication de Heurtault *et al.* (2023).

1.3. Compartiments du modèle

Par manque de connaissances disponibles sur des truies en lactation, les pertes fécales endogènes ont été estimées d'après des résultats de truies en gestation à 212 mg P/kg de matière sèche ingérée (MSI ; Bikker *et al.*, 2016) et 596 mg Ca/kg MSI (Lee *et al.*, 2019). En revanche, les pertes urinaires obligatoires ont été estimées à partir de données obtenues chez des truies en lactation à 0,2 g P/j (Everts *et al.*, 1998 ; Grez-Capdeville et Crenshaw, 2021) et 0,3 g Ca/j (Giesemann *et al.*, 1998).

1.3.1. Simulation de la digestion

Ce sous-module comporte un modèle empirique de prédiction de l'absorption en P et Ca (Heurtault *et al.*, 2024). Il comprend la digestibilité apparente (ATTD) prédite par le Ca total et le P minéral ingéré, respectivement pour l'ATTD Ca et l'ATTD P, ainsi que la quantité de phytase exogène. Les modèles empiriques de l'ATTD ont été construits à partir de données observées de digestibilité apparente de P et de Ca mesurée par la méthode par marqueur à partir d'échantillon de fèces récoltés en 3^{ème} semaine de lactation. Par déduction entre la quantité ingérée et la quantité absorbée, l'excrétion fécale en P et Ca est calculée.

1.3.2. Simulation de la croissance des tissus mous

La dynamique des compartiments lipidiques et protéiques maternels est prédite d'après le modèle de Gauthier *et al.* (2019). La teneur de chaque AA digestible iléal standardisé a été calculée à partir de la matrice EvaPig® et corrigée par la teneur en matière azotée de chaque matière première. Durant la lactation, le dépôt protéique et lipidique est nul. La rétention lipidique est la différence entre des flux positifs (l'énergie métabolisable ingérée et l'énergie fournie par l'involution utérine) et des flux négatifs (besoin d'entretien et besoin pour la production laitière). La rétention protéique est dépendante de l'apport des AA et de la déficience énergétique drivée par la rétention lipidique. La production laitière quotidienne a été estimée par le modèle de Hansen *et al.* (2012). Un facteur de production laitière quotidienne, calculé comme la production laitière quotidienne divisée par la production laitière moyenne (Gauthier *et al.*, 2019), a été utilisé pour prédire l'exportation d'énergie et de protéines dans le lait.

1.3.3. Simulation des cendres des tissus mous

La simulation des cendres des tissus mous est réalisée comme dans le modèle de Lautrou *et al.* (2020). Le muscle et la graisse sous-cutanée – i.e., les compartiments anatomiques qui contiennent le plus de protéines et de lipides - ont été utilisés comme tissus de référence. La teneur en protéine, P, et Ca du muscle et la teneur en lipides de la graisse sous-cutanée proviennent de données récentes générées à des poids de 25,

75 et 125 kg (Lautrou *et al.*, 2022). La teneur en P et Ca des lipides a été publiée par Nielsen (1973).

1.3.4. Simulation de l'exportation en cendres dans le lait

L'exportation de P par le lait est estimée à partir de la quantité de protéines exportée par le lait en supposant un ratio P : protéine de 0,031 (Jondreville et Dourmad, 2005 ; NRC, 2012). Le ratio Ca : P dans le lait a été estimé à 1,37 (Bikker et Blok, 2017).

1.4. Évaluation du modèle

Le comportement du modèle a été évalué en simulant l'impact d'une réduction de P alimentaire d'après les niveaux de la publication de Heurtault *et al.* (2023). La simulation a été effectuée sur 21 jours de lactation. Les caractéristiques moyennes en entrée des truies du traitement Lact100 a été prise comme référence pour la composition corporelle de la truie et les performances durant la lactation. La sensibilité globale a été testée avec tous les paramètres dans un plan factoriel complet et toutes les interactions possibles ont été testées. Les critères testés étaient les suivants : la teneur protéique du lait, le ratio Ca : P dans le lait, l'ATTD P, la mobilisation protéique et la mobilisation lipidique. Ces critères ont été testés sur une plage de valeurs situées entre -1,5 et +1,5 écart-type d'après les données observées de l'essai. Ainsi, les variations prises en considération (1,5 écart-type) étaient de 14%, 14%, 24%, 98% et 44% des données observées, respectivement pour la teneur protéique du lait, le ratio Ca : P dans le lait, l'ATTD P, la mobilisation protéique et la mobilisation lipidique. Puis, les indices d'ordre total de Sobol (1993) ont été calculés pour quantifier l'influence de chaque paramètre testé sur les sorties du modèle.

Pour évaluer la qualité de prédiction de la mobilisation osseuse en P et Ca, l'erreur quadratique moyenne de prédiction (MSPE) et sa racine (RMSPE ; exprimé en pourcentage de la moyenne des données observées) ont été calculées selon la procédure Goodness.of.fit du package Zebook sur Rstudio (version 4.0.3). La MSPE a été décomposée en trois fractions : l'erreur de tendance centrale (ECT), l'erreur due à la régression (ER), l'erreur due aux perturbations (ED), exprimées en pourcentage de la MSPE.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Comportement du modèle

L'analyse du comportement du modèle en situation de mobilisation en P et Ca osseuse est illustrée aux figures 2 et 3. Pour les truies Lact100 et Lact75, la quantité de P et de Ca absorbée ou provenant de la mobilisation des tissus mous suffisait à satisfaire le besoin laitier. Ainsi, la mobilisation osseuse de la truie, étant la différence entre le P et le Ca absorbés et l'export dans le lait, était nulle. En revanche, pour la truie Lact50, le pool de P et de Ca disponible dans le plasma en provenance de la digestion et de la mobilisation des tissus mous ne suffisait pas à satisfaire son besoin laitier. Ainsi, la truie a déminéralisé ses réserves de minéraux osseux. En revanche, la truie Lact50+FTU avait un pool plasmatique de P suffisant pour satisfaire son besoin laitier mais insuffisant en ce qui concerne le Ca. Ainsi, la résorption osseuse a eu lieu et a permis une augmentation du pool plasmatique de Ca, et de P. Cependant, son besoin en P étant déjà couvert, l'excédent de P a été rejeté dans les urines, expliquant une perte urinaire en P élevée.

Ainsi, cette analyse a montré que la déminéralisation osseuse en P pouvait être induite à la suite d'un manque de Ca pour satisfaire la production laitière.

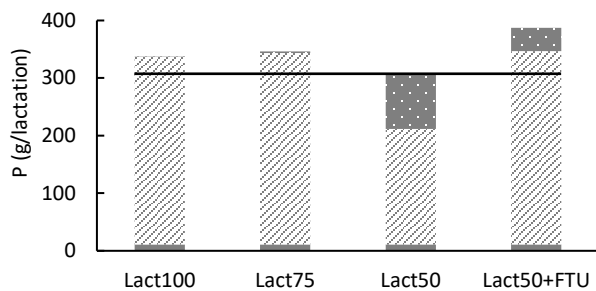


Figure 2 – Simulation du niveau de P plasmatique selon le compartiment d'origine et le traitement alimentaire

Lactation : sevrage à 21 jours, Lact100 : 100 % des besoins en Ca et en P, Lact75 : 75 % des besoins en Ca et en P, Lact50 : 50 % des besoins en Ca et en P, Lact50+FTU : 50 % des besoins en Ca et en P avec 500 FTU de phytase, ■ P provenant de la mobilisation des tissus mous, ▨ P absorbé, ▩ P provenant de la mobilisation osseuse, = besoin en P pour l'exportation dans le lait.

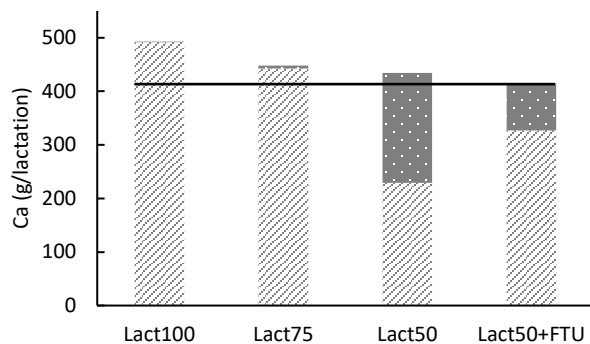


Figure 3 – Simulation du niveau de Ca plasmatique selon le compartiment d'origine et le traitement alimentaire

Lactation : sevrage à 21 jours, Lact100 : 100 % des besoins en Ca et en P, Lact75 : 75 % des besoins en Ca et en P, Lact50 : 50 % des besoins en Ca et en P, Lact50+FTU : 50 % des besoins en Ca et en P avec 500 FTU de phytase, ■ Ca provenant de la mobilisation des tissus mous, ▨ Ca absorbé, ▩ Ca provenant de la mobilisation osseuse, = besoin en Ca du lait.

2.2. Analyse de sensibilité

Tableau 1 – Indices de Sobol¹ des paramètres testés sur la mobilisation du P osseux

| Paramètres | Mobilisation P os |
|---------------------------|-------------------|
| ATTD ² du P | 59,8 |
| Protéine du lait | 40,7 |
| Ca:P du lait ³ | 11,8 |
| Mobilisation protéique | < 1 |
| Mobilisation lipidique | < 1 |

¹Résultat en pourcentage de la variance totale.

²ATTP : digestibilité totale apparente.

³Ca : P lait : ratio Ca : P dans le lait

L'ATTD du P était le facteur le plus influent sur la quantité de P mobilisée des os avec 59,8 % de la variance observée (Tableau 1). Ce résultat semble logique en considérant que le P absorbé peut représenter jusqu'à 96 % (Figure 2 ; Lact75) du P présent dans le pool plasmatique avec le modèle actuel.

L'exportation protéique laitière, qui est le prédicteur de la teneur en P du lait, était également un paramètre influent.

Ceci est dû aux variations de quantité de lait produite comme la teneur en protéine du lait est supposée stable (NRC, 2012).

Heurtault *et al.* (2023) avait estimé le ratio Ca : P dans le lait à $1,46 \pm 0,13$ (données non publiées), et ce ratio ne semblait pas être influencé par les traitements alimentaires. Ainsi, bien que ce soit un paramètre du modèle avec 11,8 % de la variance observée, son estimation à ce jour basée sur de nombreuses études (référéncées dans Bikker et Blok, 2017) rend ce ratio robuste.

Enfin, en raison d'un stockage de 90% du P et 99% du Ca dans l'os (Crenshaw, 2001), bien qu'une mobilisation des tissus mous ait lieu pendant la lactation en situation de déficit entre l'ingestion et l'exportation dans le lait (Tokach *et al.*, 2019), il semble cohérent que la mobilisation protéique et lipidique n'expliquent que très faiblement la variance observée.

2.3. Qualité de prédiction du modèle

Le modèle sous-estime la mobilisation osseuse de P (Figure 4) et de Ca (Figure 5). Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette sous-estimation. Premièrement, l'absorption pourrait avoir été surestimée. Il est connu qu'en lactation le besoin minéral augmente, donc à un niveau d'ingestion donnée inférieur au besoin, le besoin l'est d'autant plus, ce qui est en faveur d'une absorption active accrue (Berndt *et al.*, 2009).

La régulation de l'absorption est liée en partie au niveau de couverture du besoin phosphocalcique de l'animal. Pendant la lactation, le besoin est majoritairement alloué au besoin laitier, qui suit une courbe de Wood, soit une courbe quadratique ascendante non symétrique avec une augmentation de la production laitière au début de la lactation plus rapide que la diminution en fin de lactation (Wood, 1967 ; Hansen *et al.*, 2012). Ainsi, il est probable que l'absorption ait été surestimée dans les deux premières semaines de lactation en raison d'une prédiction de l'ATTD basée sur des données observées en 3^{ème} semaine de lactation. A notre connaissance, aucune donnée de cinétique de la digestibilité apparente du P et du Ca n'est disponible dans la littérature. Cependant, la forte sensibilité du modèle à ce paramètre demanderait de mieux le quantifier.

Deuxièmement, Heurtault *et al.* (2023) ont montré que le squelette d'une truie nourrie à 100% du besoin en P et Ca calculé selon Bikker et Blok (2017) se déminéralisait durant la lactation. Ainsi, soit le besoin serait sous-estimé, soit une déminéralisation osseuse serait hormonale dépendante en lactation et donc indépendante du traitement alimentaire. Dans l'hypothèse qu'une déminéralisation serait hormonale dépendante, Gutzwiller et Schlegel (2015) ont montré qu'un apport supérieur de P et de Ca en lactation chez des truies primipares et multipares (+15% par rapport à Heurtault *et al.*, 2023) ne diminuait pas l'intensité du processus de déminéralisation osseuse des truies. Ainsi, une déminéralisation indépendante de l'apport alimentaire en P et Ca en lactation serait possible et reste à approfondir.

Enfin, il se pourrait que la production laitière soit sous-estimée et que la quantité de P sécrétée dans le lait le soit donc également. Cependant, dû à la difficulté de quantifier la production laitière d'une truie, il est difficile d'évaluer la précision de prédiction du modèle d'Hansen *et al.* (2012). Le fait que l'estimation de la production laitière serait responsable d'une forte partie de l'erreur de prédiction de la mobilisation du P et du Ca est peu probable. En effet, le modèle estime à 14,9 g

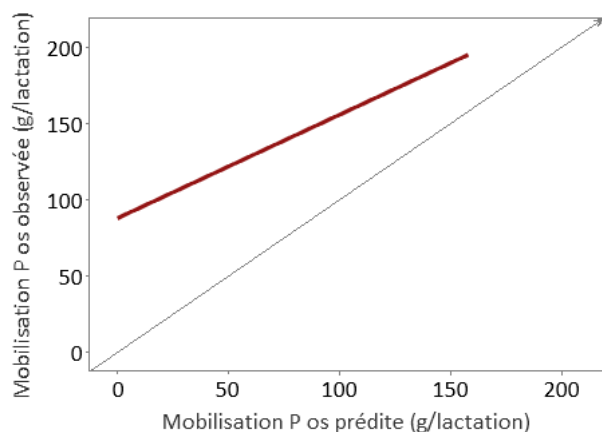


Figure 4 – Mobilisation du phosphore osseux observée et prédite durant la lactation¹; rouge : droite de régression ; noire : x=y

¹Moyenne observée : 113,40 g/lactation ; moyenne prédite : 37,46 g/lactation ; RMSPE : 71% ; ECT : 87% ; ER : 1% ; EB : 11%.

la quantité de P sécrété dans le lait en moyenne par jour durant la lactation (pour un nombre de porcelet moyen de 12,9, et un gain moyen quotidien de la portée moyen de 2,7 kg). Ce résultat est proche de l'estimation de 15,2 g par jour pour une truie primipare avec 14 porcelets sous mère et un gain moyen quotidien de la portée de 2,5 kg, cité par Bikker et Blok (2017).

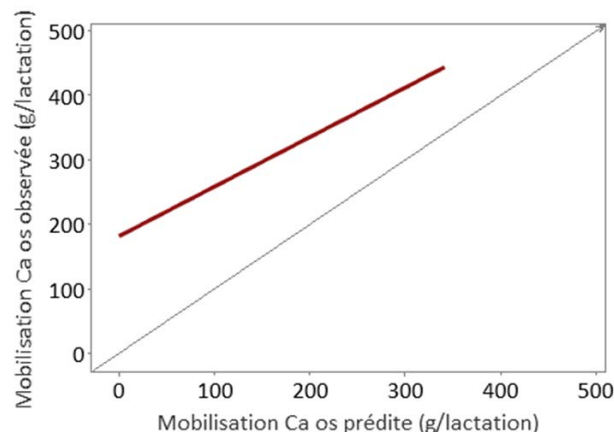


Figure 5 – Mobilisation du calcium osseux observée et prédite durant la lactation¹ ; rouge : droite de régression ; noire : x=y

¹Moyenne observée : 244,31 g/lactation ; moyenne prédite : 80,91 g/lactation ; RMSPE : 72% ; ECT : 84% ; ER : 1% ; EB : 15%.

CONCLUSION

L'objectif du présent modèle est de prédire le devenir métabolique du P et du Ca alimentaires chez une truie en lactation. A ce jour, le modèle sous-estime fortement la mobilisation osseuse de P et de Ca. A des fins d'amélioration du modèle, trois axes restent à approfondir : la cinétique d'absorption, l'éventuelle déminéralisation obligatoire en lactation et la qualité de prédiction de la quantité de P sécrété dans le lait.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroscope 2017. Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse. Recherche Agronomique Suisse 8.
- Berndt T., Kumar R., 2009. Novel mechanisms in the regulation of phosphorus homeostasis. *Physiology*, 24(1), 17-25.
- Bikker P., van Laar H., Sips V., Walvoort C., Gerrits, W. J. J., 2016. Basal endogenous phosphorus losses in pigs are affected by both body weight and feeding level. *J. Anim. Sci.*, 94, 294-297.
- Crenshaw T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. In: A.J. Lewis and L.L. Southern (Eds), *Swine nutrition* (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, Floride, USA, 187-212.
- Dourmad J.Y., Boudon A., Narcy A., 2020. Le phosphore dans les systèmes d'élevage. *INRAE Prod. Anim.*, 33(1), 31-40.
- Evapig®. Un outil de prédiction des valeurs énergétiques, d'acides aminés et de phosphore des matières premières et des aliments pour le porc en croissance et adulte. <http://www.evapig.com/>
- Everts H., Jongbloed A. W., Dekker, R. A., 1998. Calcium, magnesium and phosphorus balance of sows during lactation for three parities. *Livest. Prod. Sci.*, 55, 109-115.
- Gauthier R., Largouët C., Gaillard C., Cloutier L., Guay F., Dourmad J.Y., 2019. Dynamic modeling of nutrient use and individual requirements of lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 97, 2822-2836.
- Giesemann M.A., Lewis A.J., Miller P.S., Akhter M.P., 1998. Effects of the reproductive cycle and age on calcium and phosphorus metabolism and bone integrity of sows. *J. Anim. Sci.*, 76(3), 796-807.
- Grez-Capdeville M., Crenshaw T.D., 2021. Evaluation of calcium to phosphorus ratio in spot urine samples as a practical method to monitor phosphorus intake adequacy in sows. *J. Anim. Sci.*, 99, skab335.
- Gutzwiller A., Schlegel P., 2015. Mineralstoffgehalt der Knochen von Sauen als Indikator für die Kalzium- und Phosphorversorgung. *ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung Band 38*.
- Hansen A. V., Strathe A. B., Kebreab E., France J., Theil P.K., 2012. Predicting milk yield and composition in lactating sows: A Bayesian approach. *J. Anim. Sci.* 90, 2285-2298.
- Heurtault J., Létourneau-Montminy M.P., Schlegel P., 2023. Cinétique de la minéralisation osseuse de truies primipares en fonction de l'apport en phosphore et en calcium alimentaire durant la lactation. *Journées Rech. Porcine*, 55, 177-182.
- Heurtault J., Schlegel P., Létourneau-Montminy M.P., 2024. Prédiction de l'absorption de phosphore et de calcium chez une truie en lactation. *Journées Rech. Porcine*, 56, en cours de publication.
- Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. *INRA Prod. Anim.*, 18, 183-192.
- Lautrou M., 2022. Phosphocalcic requirements modeling and strategies to improve phosphorus utilization in growing pigs (Doctoral dissertation, Université Paris-Saclay; Université Laval (Québec, Canada)).
- Lautrou M., Pomar C., Dourmad J. Y., Narcy A., Schmidely P., Létourneau-Montminy M. P., 2020. Phosphorus and calcium requirements for bone mineralisation of growing pigs predicted by mechanistic modelling. *Animal*, 14, 313-322.
- Lee S. A., Lagos L. V., Walk C. L., Stein H. H., 2019. Basal endogenous loss, standardized total tract digestibility of calcium in calcium carbonate, and retention of calcium in gestating sows change during gestation, but microbial phytase reduces basal endogenous loss of calcium. *J. Anim. Sci.*, 97, 1712-1721.

- National Research Council, 2012. Nutrient requirements of swine, 11th revised edition. The National Academies Press, Washington, DC, 420 p.
- Nielsen A. J., 1973. Anatomical and chemical composition of danish Landrace pigs slaughtered at 90 kilograms live weight in relation to litter, sex and feed composition. *J. Anim. Sci.*, 36(3), 476–483.
- Sobol I. M., 1993. Sensitivity analysis for nonlinear mathematical models. *Mathematical Modelling Computational Experiments*, 1(4).
- Tokach M.D., Menegat M.B., Gourley K.M., Goodband R.D., 2019. Nutrient requirements of the modern high-producing lactating sow, with an emphasis on amino acid requirements. *Animal*, 13(12), 2967-2977.
- Wood P. D. P., 1967. Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature*, 216, 164– 165.



L'efficacité de la phytase ajoutée aux aliments des porcs en croissance et des truies en maternité est améliorée par une source de carbonate de calcium insoluble

David GUILLOU, Gaël GOASDOUE, Noémie LEMOINE

MIXSCIENCE, Campus Avril, 2 avenue Ker Lann, 35172 Bruz, France

david.guillou@mixscience.eu

Avec la collaboration de l'atelier pilote R&D de Mixscience et du personnel de la station Euronutrition

L'efficacité de la phytase ajoutée aux aliments des porcs en croissance et des truies en maternité est améliorée par une source de carbonate de calcium insoluble

La digestibilité du phosphore (P) phytique est améliorée par des phytases ajoutées aux aliments, limitant ainsi le recours aux phosphates. Mais, les apports élevés de calcium (Ca) peuvent réduire l'efficacité des phytases dans l'estomac. Une forme de carbonate de Ca digestible (PTZ), rendue insoluble dans l'estomac, était évaluée dans deux essais, avec des porcs en croissance ou des truies en lactation. Dans chaque essai, trois aliments étaient comparés : BASAL (bas P digestible), PHY (ajout d'une phytase à BASAL, porcs : 500 FTU/kg, truies : 750 FTU/kg) et PTZ (remplacement du carbonate de Ca par PTZ sur la base PHY). La digestibilité apparente de P et Ca a été mesurée deux fois sur 18 porcs, âgés de 90 puis 105 jours. En maternité (n=54 truies, rangs 1-7), la digestibilité de P et Ca a été mesurée à 15 jours de lactation dans un essai zootechnique. Dans les deux essais, la digestibilité des minéraux était significativement plus faible pour BASAL que pour les groupes avec phytase (P : croissance, 55 vs. 64 % respectivement ; truies, 56 vs. 65% respectivement). La digestibilité du Ca n'était pas réduite dans le groupe PTZ. Pour les deux stades, PTZ améliorait numériquement la digestibilité apparente et significativement ($P = 0,044$) l'apport de P digestible. Chez le porc, la digestibilité du Ca et du P baissait avec l'âge dans les trois lots. Chez la truie, la digestibilité du P dans BASAL augmentait avec le rang de portée, sauf pour PTZ où elle était constante. L'effet de PHY était intermédiaire pour les truies de rangs 1 et 2, puis équivalente à PTZ. L'apport d'une source de Ca insoluble dans l'estomac avec la phytase améliorait l'apport de P digestible.

Efficacy of phytase in growing pig and lactating sow diets is improved by a source of insoluble calcium carbonate

To minimise phosphate use, the digestibility of phytic phosphorus (P) from pig feed is generally improved by adding phytase. However, high calcium (Ca) intake can reduce phytase efficacy in the stomach. A source of digestible Ca carbonate made insoluble in the stomach (PTZ) was evaluated in two trials, with growing pigs or lactating sows. In each trial, three diets were compared: BASAL (low digestible P), PHY (phytase added to BASAL, 500 or 750 FTU/kg for pigs and sows, respectively), and PTZ (replacing some Ca carbonate with PTZ in PHY). Total apparent digestibility of P and Ca was measured twice in 18 growing pigs (90 and 105 days of age). In the farrowing room (n=54 sows, parities 1-7), P and Ca digestibility was assessed at 15 days of lactation in a performance trial. In both trials, mineral digestibility was significantly lower with BASAL than with diets that included phytase (P: pigs, 55 % vs. 64 %, respectively; sows, 56 % vs. 65 %, respectively). Ca digestibility did not decrease with the PTZ diet. In both animal types, PTZ improved apparent P digestibility numerically and digestible P intake significantly ($P = 0.044$). In growing pigs, Ca and P digestibility decreased as age increased for all three groups. P digestibility with the BASAL diet increased as sow parity increased ($P < 0.05$), whereas with PTZ, P digestibility was always higher than that of the BASAL diet and did not change with sow parity. With PHY, P digestibility was intermediate for sow parities 1 and 2 and then matched PTZ. In conclusion, including stomach-insoluble Ca carbonate with phytase increased the amount of digestible P supplied to pigs and sows.

INTRODUCTION

L'utilisation des phosphates minéraux en agriculture et en alimentation animale pose à la fois le problème d'une ressource limitée (épuisement des gisements connus non contaminés prévu vers 2040 dans les scénarios pessimistes, Blackwell *et al.*, 2019) et d'un usage excessif à l'origine d'une pollution environnementale par le phosphore. L'optimisation du recours aux phosphates minéraux en agriculture est donc une voie nécessaire à suivre. Grâce aux phytases ajoutées aux aliments, qui améliorent la digestibilité du phosphore (P) phytique contenu dans les végétaux, il est possible de limiter le recours aux phosphates dans les aliments des porcs. L'analyse mécanistique et quantitative des données de la littérature montre l'importance de la nature du P alimentaire et de sa concentration, ainsi que du temps de résidence gastrique, du pH de l'estomac et de la teneur de l'aliment en calcium (Ca), pour prédire l'effet des phytases sur la digestibilité du P phytique (Létourneau-Montminy *et al.*, 2007). Par ailleurs, Kim *et al.* (2019) ont proposé une méthode afin de caractériser *in vitro* la solubilité du carbonate de Ca pour prédire la digestibilité du calcium chez l'oiseau et pour minimiser les interactions avec les phytases. Dans ce cas, les sources de Ca favorisant une digestion élevée du P phytique sont digestibles par les animaux. Le calcium digestible étant important pour le développement osseux du porc en croissance (Samson *et al.*, 2013) et pour la minéralisation du squelette des truies à forte production laitière (Mahan et Newton, 1995), l'effet d'une forme de carbonate de Ca rendue insoluble dans l'estomac (PTZ) sur la digestibilité du P et du Ca en présence d'une phytase (PHY), a été évaluée dans deux essais, avec des porcs en croissance ou des truies en lactation.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Source de carbonate de calcium (PTZ)

Une source de carbonate de Ca rapidement soluble dans les conditions de l'estomac a été sélectionnée à partir des résultats d'une enquête nationale réalisée en 2019 (Altis nutrition animale, non publié). La matière première subit ensuite une encapsulation matricielle spécifique avec une matière grasse végétale sélectionnée par Mixscience, qui a permis de réduire sa solubilité *in vitro* en conditions acides ou neutres. Le produit fini contient 75% de carbonate de calcium.

1.2. Animaux et logement

1.2.1. Porcs en croissance

L'essai s'est déroulé au printemps 2020. Dix-huit porcs mâles castrés (génétique : Libra* × Maxter, Hypor France), âgés de 69

jours et pesant initialement 29,6 ($\pm 1,6$) kg, étaient logés dans une salle spécialisée pour les essais de digestibilité de la station Euronutrition (Saint-Symphorien, 72) pendant 35 jours.

Les cases sont conçues pour loger deux porcs charcutiers, disposant chacun d'un nourrisseur et d'un abreuvoir individuels. Ces cases peuvent être individualisées pendant la durée nécessaire à la collecte des fèces. Sous le caillebotis, une grille amovible permet de récolter les fèces sous chaque animal, sans les urines. Les porcs étaient affectés aux traitements en fonction de leur poids vif et de leur date de naissance, en distribuant les frères dans les trois groupes expérimentaux.

1.2.2. Truies en maternité

L'essai était conduit dans la salle de maternité de la station Euronutrition pendant l'été 2022, avec 54 truies Libra*. Dans une même bande de conduite, les truies étaient sélectionnées pour l'essai et allotées 3 jours avant le transfert en maternité, sur la base de leur rang de portée (1, 2, 3-4, 5-7), de leur poids vif (à partir des mesures quotidiennes de la station d'alimentation de gestation, DAC), de leur état corporel mesuré la veille du transfert en maternité (épaisseur de lard dorsal, ELD, et épaisseur de muscle dorsal, EMD), et du nombre de mort-nés à la mise-bas précédente (0, 1, 2 et plus). Elles entraient en maternité le vendredi précédant la semaine des mises-bas, sans déclenchement programmé. Des adoptions de porcelets pouvaient être réalisées jusqu'au lundi suivant les naissances (âge < 5 jours), pour que les portées soient constituées d'au moins 12 porcelets. Après 3 semaines de lactation, les porcelets et leurs mères étaient sevrés.

1.3. Schémas expérimentaux et alimentation

Le Tableau 1 présente le schéma expérimental de chaque essai avec les valeurs nutritionnelles calculées des aliments, sans aucune valorisation de la phytase ajoutée. Dans les deux essais, trois aliments étaient comparés : BASAL (bas P digestible), PHY (ajout d'une phytase à BASAL) et PTZ (dans PHY, remplacement partiel du carbonate de Ca par PTZ). Les aliments des porcs ont été décrits par Bournazel *et al.* (2022). Les aliments des truies étaient formulés à base de blé (43%), orge (20%), drêches de maïs (10%), son (10%), tourteaux de tournesol (6%), de colza (2%), de soja (1%), complétés par des acides aminés, des minéraux et des prémix. Comme pour les porcs en croissance, le carbonate de Ca dans le prémix était substitué sur une base isocalcique et iso-huile ajoutée par du PTZ pour le régime du même nom. Tous les aliments (porcs et truies) contenaient 1% d'un antifongique sur support de sépiolite, pour assurer un apport mesurable de minéraux indigestibles au laboratoire. L'aliment PHY de l'essai Porcs en croissance incluait une phytase commerciale, à la dose de 500 FTU/kg.

Tableau 1 – Description des aliments expérimentaux des essais sur porcs et truies (valeurs calculées)

| | Porcs (n=18) | | | Truies (n=54) | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| | BASAL | PHY | PTZ | BASAL | PHY | PTZ |
| Carbonate de calcium | + | + | - ¹ | + | + | - ² |
| Phytase | - | + ³ | + ³ | - | + ⁴ | + ⁴ |
| PTZ | - | - | + | - | - | + |
| Energie nette ⁵ (MJ/kg) | 9,700 | 9,700 | 9,700 | 9,675 | 9,675 | 9,675 |
| Protéine brute (%) | 15,00 | 15,00 | 15,00 | 15,50 | 15,53 | 15,53 |
| Calcium (%) | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,650 | 0,650 | 0,649 |
| Phosphore (%) | 0,630 | 0,630 | 0,630 | 0,590 | 0,592 | 0,593 |
| Phosphore phytique (%) | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,303 | 0,303 |
| Phosphore digestible (%) | 0,240 | 0,240 | 0,240 | 0,255 | 0,256 | 0,257 |

¹PTZ=40% du total carbonate de Ca ; ²PTZ=81% du total carbonate de Ca ; ³500 FTU/kg ; ⁴750 FTU/kg ; ⁵valeurs croissance ou adulte

Dans l'essai Truies en maternité, l'aliment PHY correspondant incluait la même source de phytase, mais à 750 FTU/kg, pour refléter les pratiques courantes. Dans l'essai porcs en croissance, l'incorporation de 10 kg/T de PTZ se traduisait par une baisse d'apport de carbonate de Ca de 7,5 kg, soit 40% du total de la formule basale. Dans l'essai Truies en maternité, les mêmes 10 kg/T de PTZ correspondaient à 81% du carbonate de Ca de la formule BASAL respective. Les porcs étaient rationnés selon un plan démarré à 3,5% de leur poids d'entrée, atteignant un plafond de 2,8 kg/j. Toutes les truies recevaient 2,0 kg d'aliment le jour de la mise-bas, et leur ration augmentait en 9 jours jusqu'à 7,5 kg pour les cochettes et 8,5 kg pour les multipares.

1.4. Mesures, prélèvements et analyses

1.4.1. Porcs en croissance

Les porcs étaient pesés individuellement à l'entrée et à la sortie de l'essai (69 et 106 j d'âge, respectivement). Ils recevaient un même aliment du début à la fin de l'essai. Les refus étaient récoltés tous les 2 jours, pesés et écartés. En cours d'essai, 3 périodes de 3 jours de collecte partielle de fèces étaient réalisées, à partir des jours 75, 90 et 105 (âges). Seuls les deuxième et troisième prélèvements ont été retenus pour les analyses en raison d'un délai d'adaptation trop court après le post-sevrage pour la première période de collecte (Bournazel *et al.*, 2022).

1.4.2. Truies en maternité

Les truies étaient pesées au sevrage, et leur état corporel (ELD, EMD) était mesuré par échographie la veille. Les distributions et les refus d'aliment étaient relevés quotidiennement. Les performances de « naissage » étaient enregistrées à chaque mise-bas, et les mortalités suivies quotidiennement. Les porcelets étaient pesés individuellement le jour de leur naissance, le jour de fin des adoptions, puis au sevrage. Les soins et les interventions réalisés aux truies comme aux porcelets étaient enregistrés individuellement et quotidiennement, et les symptômes mentionnés. Au moins 500 g de fèces de truies étaient collectés à l'excrétion, à 15 jours de lactation.

1.4.3. Analyses d'aliments et de fèces

Les aliments étaient prélevés à la fabrication pour l'analyse de la MS, de l'insoluble chlorhydrique (iHCl, marqueur indigestible), des matières minérales (MM), du Ca et du P, pour les calculs de digestibilité, de l'azote et du sodium pour la conformité des fabrications. Les fèces étaient pesées fraîches à la collecte, puis après 24h en étuve et après broyage. Un aliquote du pool broyé était expédié au laboratoire pour mesurer MS, iHCl, MM, Ca et P. Les analyses d'aliments et de fèces étaient réalisées par le même laboratoire (Artemis, Janzé, 35).

1.5. Calculs de digestibilité

La digestibilité était décrite par le coefficient d'utilisation digestive apparent (CUD_a) des nutriments, qui était calculé pour chaque sujet et chaque collecte selon la formule :

$$CUD_a X = (1 - (X_{fèces} \div X_{aliment}) \times (iHCl_{aliment} \div iHCl_{fèces})) \times 100$$

où : X : teneur en nutriment sur sec dans l'aliment ou les fèces et iHCl_{xxx} : teneur en iHCl dans l'aliment ou les fèces

Les ingérés de P et de Ca digestibles étaient également calculés à partir des digestibilités et des consommations d'aliment individuelles.

1.6. Statistiques

Les données étaient analysées avec la console R studio version 4.0.2. (©The R Foundation for Statistical Computing 2017). Pour les porcs en croissance, les données individuelles étaient analysées dans un modèle mixte d'analyse de la variance en données répétées avec un effet du lot, un effet de la période de collecte, leur interaction et un effet aléatoire de l'individu. Un animal soigné contre une diarrhée en début d'essai, puis affecté d'un prolapsus rectal, a été exclu de l'essai. Pour les truies, le modèle incluait un effet du lot et un effet de la classe de rang de portée. Une seule donnée a été exclue de l'analyse, correspondant à une truie du lot PHY n'ayant que 10 porcelets à élever, quand toutes les autres en élevaient entre 12 et 15.

2. RESULTATS

2.1.1. Porcs en croissance

Sur la durée complète de l'essai, la croissance des porcs du régime BASAL tendait ($P = 0,07$) à être réduite par rapport aux deux régimes incluant de la phytase (Tableau 2). Malgré la différence apparente de consommation entre les porcs du lot BASAL et les autres, il n'y avait pas de différence significative de consommation entre les lots. Ces observations valident le choix du niveau bas de P digestible dans BASAL, qui s'est révélé sublimitant pour les performances.

Tableau 2 – Effets de la phytase (PHY) et du carbonate de calcium insoluble (PTZ) sur les performances des porcs en croissance et la digestibilité (CUD_a %) de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO)

| | BASAL | PHY | PTZ | E.T.R. | Effet lot |
|------------------------------------|-------|------|------|--------|------------|
| n | 6 | 6 | 5 | | |
| PV ₀ , kg | 29,6 | 29,6 | 28,9 | 1,87 | $P > 0,20$ |
| PV ₃₅ , kg ¹ | 59,2 | 63,0 | 62,0 | 3,32 | 0,073 |
| GMQ, g ¹ | 844 | 956 | 945 | 79,9 | 0,070 |
| CMJ, g | 1876 | 2042 | 2061 | 228,4 | $P > 0,20$ |
| CUD _a MS | 85,2 | 84,9 | 85,0 | 0,85 | $P > 0,20$ |
| CUD _a MO | 88,5 | 88,0 | 88,0 | 0,76 | $P > 0,20$ |

¹PV₀ en covariable, PV₃₅ : $P = 0,040$; GMQ, $P = 0,940$

Les CUD_a de la MS et de la matière organique (MO) n'étaient pas affectés significativement par les aliments testés. L'absence d'écart observable confirme la conformité des fabrications d'aliments.

Aux deux âges de prélèvement, la digestibilité des minéraux était plus faible pour BASAL que pour les groupes avec phytase ($P < 0,001$, Figure 1 et Figure 2).

La digestibilité du Ca et du P baissait au cours du temps dans les trois lots ($P = 0,012$). La substitution partielle du carbonate de Ca par PTZ n'affectait pas significativement la digestibilité du Ca, ni celle du P, mais l'apport de P digestible était supérieur (PHY : 0,329 vs. PTZ : 0,346 %, $P = 0,044$).

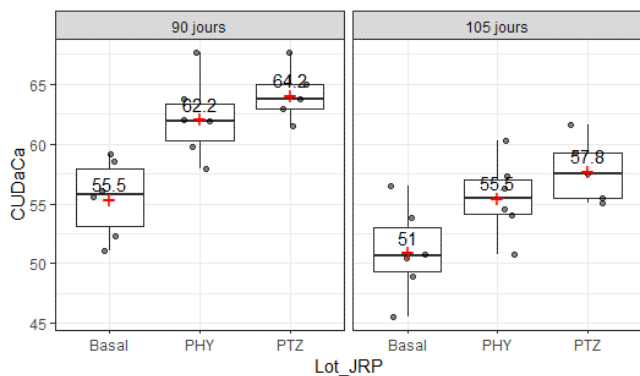


Figure 1 – Influence de l'âge, de la phytase (PHY) et du carbonate insoluble dans l'estomac (PTZ) sur la digestibilité totale apparente (CUD_a, %) du calcium chez le porc en croissance

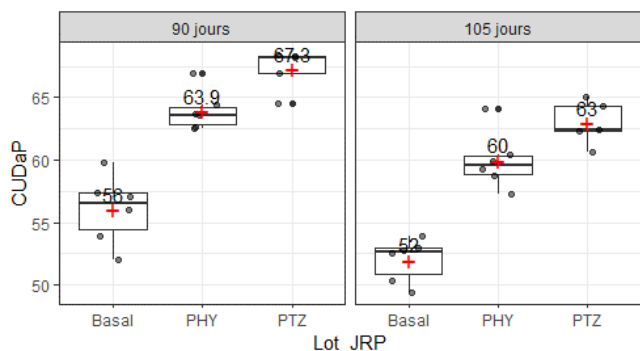


Figure 2 – Influence de l'âge, de la phytase (PHY) et du carbonate insoluble dans l'estomac (PTZ) sur la digestibilité totale apparente (CUD_a, %) du phosphore chez le porc en croissance

2.1.2. Truies en maternité

Les principales performances des truies et la digestibilité du Ca et du P sont présentées au Tableau 3.

Les performances des truies n'étaient pas significativement affectées par les aliments. La consommation d'aliments était assez faible, probablement en lien avec la chaleur estivale. En effet, 66% des truies présentaient plus de 3 périodes de refus d'ingestion. Malgré ces conditions, les pertes au sevrage étaient faibles et les poids de portées proches de 80 kg.

Les pertes de poids et d'état corporel (données non présentées) ne dépendaient pas des lots, elles étaient conformes aux valeurs habituelles de l'élevage.

La digestibilité du P dans BASAL augmentait avec le rang de portée ($P=0,023$), sauf pour PTZ où elle était toujours élevée (Figure 3). L'effet de PHY était intermédiaire pour les truies de rangs 1 et 2 seulement. En revanche, le rang de portée n'affectait pas la digestibilité du Ca (résultats non présentés). Le nombre d'individus par rang et par régime étant limité (4 maximum), il serait prudent de valider ces effets avant de les généraliser.

En moyenne, l'ajout de phytase améliorait significativement la digestibilité du P de 2,5 à 10 points ($P < 0,001$). L'effet du PTZ, numériquement intéressant mais non significatif, était de magnitude équivalente à celui mesuré chez le porc en croissance (+2,4 points par rapport à PHY en moyennes).

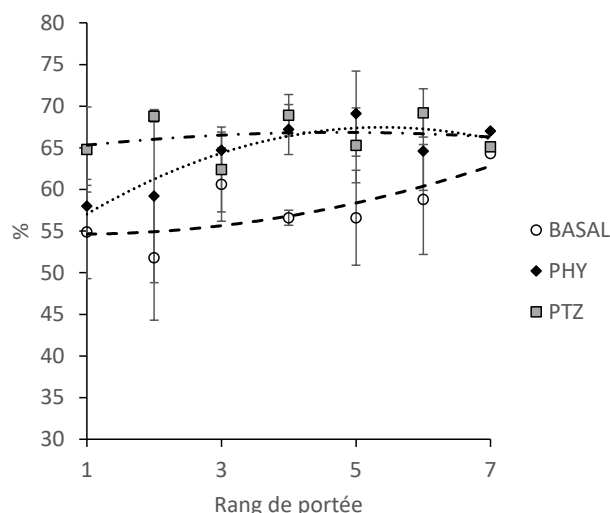


Figure 3 – Effets du rang de portée et de l'ajout de phytase en combinaison (PTZ) ou non (PHY) avec l'utilisation d'une source du carbonate de calcium insoluble dans l'estomac, sur la digestibilité totale apparente (CUD_a) du phosphore chez la truie en lactation

3. DISCUSSION

L'amélioration de la digestibilité des minéraux par les porcs en croissance avec la phytase ajoutée dans notre dispositif avait déjà été rapportée (Bournazel *et al.*, 2022). En travaillant avec une activité phytasique ajoutée supérieure de 50% à celle utilisée chez le porc en croissance, un effet similaire a été observé sur les truies pendant la lactation. De plus, dans les deux cas, le remplacement d'une partie du carbonate de Ca par le produit PTZ améliorait, mais seulement numériquement, la digestibilité du P (+2,4 à +4,0 points). En proportion de la contribution de la phytase à l'apport de P digestible, calculée à partir des valeurs obtenues sur les régimes, le remplacement de 7,5 kg/T de carbonate de Ca par 10 kg de PTZ correspondraient à une augmentation du même ordre de grandeur pour les deux stades étudiés, de 40 à 46% de l'activité phytasique. Toutefois, les doses de phytase ajoutées et la part du carbonate de Ca apportée sous forme de PTZ variaient dans les deux essais. De plus, à chaque stade, une seule dose de PTZ était testée. L'équivalence calculée ici devrait donc être précisée par des mesures complémentaires.

Le mécanisme généralement retenu pour expliquer l'effet du Ca sur la digestibilité du P et sur l'efficacité de la phytase, considère que le Ca en solution peut se lier aux phytates partiellement hydrolysés. En précipitant dans l'estomac, ces complexes ne seraient alors plus accessibles à l'hydrolyse sous l'action des phytases (Létourneau-Montminy *et al.*, 2007 ; Hu *et al.*, 2023 ; Klein *et al.*, 2023). Les effets observés dans nos essais par la substitution de 40 à 80% du carbonate de Ca par le PTZ sont compatibles avec ce mode d'action. Avec sa solubilité gastrique ralentie, une grande partie du Ca alimentaire ne pourrait plus réagir avec les phytates en solution, donc la phytase ajoutée pourrait catalyser la digestion complète (ou presque) du phosphore phytique. Ainsi, l'activité apparente de la phytase ajoutée pourrait être améliorée, ce qui serait peut-être mesurable en substituant tout le carbonate de calcium.

Tableau 3 – Effets de la phytase (PHY) et du carbonate de calcium insoluble (PTZ) sur les performances et la digestibilité des minéraux chez la truie en lactation

| | BASAL | PHY | PTZ | E.T.R. | Effet Lot | Effet rang |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|-----------------|----------------|
| Nombre de truies | 18 | 17 | 18 | | | |
| Porcelets après adoption (n) | 13,6 | 13,5 | 13,6 | 0,35 | <i>P</i> >0,20 | <i>P</i> >0,20 |
| Porcelets sevrés (n) | 13,1 | 13,4 | 13,2 | 0,79 | <i>P</i> >0,20 | 0,033 |
| Poids de portée sevrée, kg | 78,3 | 78,4 | 79,8 | 5,20 | <i>P</i> >0,20 | 0,047 |
| Cumul aliment adoption-sevrage, kg | 114,5 | 115,7 | 115,8 | 11,75 | <i>P</i> >0,20 | 0,050 |
| CUD _a Ca, J15, % | 50,1 ^b | 55,3 ^a | 55,5 ^a | 6,09 | 0,020 | <i>P</i> >0,20 |
| CUD _a P, J15, % | 56,5 ^b | 64,1 ^a | 66,5 ^a | 4,87 | <i>P</i> <0,001 | 0,023 |

^{a, b} les exposants différents indiquent des différences significatives entre les moyennes (*P*<0,05 ou moins)

Parce que la méthode de dosage de Kim *et al.* (2019) consiste à mesurer le résidu de carbonate et non le Ca libéré, la question se pose également d'un effet du carbonate en solution sur le pH de l'estomac. En effet, en solution l'ion bicarbonate possède un effet tampon important et il pourrait ainsi réduire l'efficacité de la phytase, qui est maximale en milieu acide. L'hypothèse de la maîtrise du pouvoir tampon des aliments s'appuie d'ailleurs sur ce type de mesure (Gabert *et al.*, 1995 ; Lawlor *et al.*, 2005). Toutefois, ni Narcy *et al.* (2012), ni Lagos *et al.*, (2021) n'ont observé d'augmentation de pH dans l'estomac de porcelets sevrés recevant différentes doses de carbonate de calcium. Dans ces essais, les animaux avaient probablement la capacité d'adapter leur sécrétion gastrique d'HCl, et c'est le cas également sur des animaux plus matures. Si un effet du pouvoir tampon sur le pH gastrique existait, il serait fugace et consisterait en une augmentation du « coût » de la digestion (sécrétion de sucs digestifs plus élevée pour un résultat identique).

Les performances de croissance des porcs ou de lactation des truies, n'étaient pas affectées significativement par l'augmentation de digestibilité du Ca et du P, même si la croissance des porcs du lot BASAL tendait à être réduite. La durée courte des essais participe à l'absence d'effet significatif, car les déficiences en minéraux digestibles affectent à long terme la rétention osseuse (Mahan et Newton, 1995 ; Samson *et al.*, 2013). Dans le cas des truies, 3 cycles reproducteurs consécutifs étaient nécessaires pour mettre en évidence une déficience (Mahan et Newton, 1995). Il faut noter que les apports calciques étaient bien couverts par PTZ, confirmant l'adaptation de cette solution. La sélection d'un carbonate de calcium naturellement insoluble (par exemple, issu d'une carrière de marbre), aurait probablement amélioré l'efficacité de la phytase dans l'estomac, mais sans couvrir les besoins en calcium digestible.

Les valeurs absolues des digestibilités mesurées dans les essais rapportés ici sont nettement supérieures aux valeurs utilisées

pour caractériser les matières premières et les aliments complets, y compris pour les régimes de base. Si ces valeurs étaient justes, cela aurait pour conséquence de modifier radicalement les calculs de rejets des minéraux. La collecte fécale partielle mise en œuvre, modifie probablement les données par rapport à la collecte totale telle que décrite initialement dans les travaux de Jongbloed (1987), dont les méthodes sont à l'origine des principales bases de données. En effet, les différents marqueurs indigestibles influencent les valeurs des digestibilités mesurées (Kim *et al.*, 2020 ; Zhai *et al.*, 2023), il convient alors de se garder des comparaisons directes des valeurs absolues de digestibilités quand les protocoles diffèrent. De plus, les digestibilités calculées ici sont totales et apparentes, donc décalées avec des digestibilités standardisées ou réelles. La détermination d'un endogène de référence pour le phosphore ou le calcium fait encore l'objet de discussions scientifiques (Zhang et Adeola, 2017).

L'influence de l'âge du porc en croissance ou du rang de portée de la truie sur la digestibilité des minéraux ouvre également des perspectives sur la possibilité d'intégrer de la nutrition de précision dans les modèles de performances et de rejets. Ces données mériteraient donc d'être confirmées.

CONCLUSION

La sélection d'un carbonate de calcium bien digestible, modifié technologiquement pour être insoluble dans l'estomac des porcs, a permis d'améliorer numériquement ou significativement l'utilisation du phosphore alimentaire en présence de phytase, sans affecter négativement les apports nutritionnels de calcium. Des résultats convergents ont été mesurés sur des porcs en croissance et sur des truies en lactation, deux stades physiologiques particulièrement sensibles à la subcarence en phosphore. Ce type d'ingrédient pourrait donc participer à l'amélioration de l'efficacité nutritionnelle et à limiter l'impact de l'élevage sur les pollutions.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blackwell M., Darch T., Haslam R., 2019. Phosphorus use efficiency and fertilizers: future opportunities for improvement. *Front. Agr. Sci. Eng.*, 6, 332-340.
- Bournazel M., Lemoine N., Tersiguel E., Guillou D., 2022. La digestibilité du phosphore et celle du calcium sont améliorées par l'apport de phytases, et évoluent au cours de la phase de croissance du porc charcutier. *Journées Rech. Porcine*, 54, 195-196.
- Gabert V.M., Sauer W.C., Schmilz M., Ahrens F., Mosenthin R., 1995. The effect of formic acid and buffering capacity on the ileal digestibilities of amino acids and bacterial populations and metabolites in the small intestine of weanling pigs fed semipurified fish meal diets. *Can. J. Anim. Sci.*, 75, 615-623.
- Hu Y., Hendricks W., van Baal J., Resink J.-W., Rodehutschord M., van Krimpen M.M., Bikker P., 2023. The impact of dietary calcium content on phosphorus absorption and retention in growing pigs is enhanced by dietary microbial phytase supplementation. *Br. J. Nutr.*, 12 p, doi:10.1017/S0007114522001039
- Jongbloed A.W., 1987. Phosphorus in the feeding of pigs: effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs. Ed. I.V.V.O., Lelystad (Pays-Bas), 343 p.
- Kim S.W., Li W., Angel R., Plumstead P.W., 2019. Modification of a limestone solubility method and potential to correlate with in vivo limestone calcium digestibility. *Poultry Sci.*, 98, 6837-6848.
- Kim B.G., Lee S.A., Park K.R., Stein H.H., 2020. At least 3 days of adaptation are required before indigestible markers (chromium, titanium, and

acid insoluble ash) are stabilized in the ileal digesta of 60-kg pigs, but values for amino acid digestibility are affected by the marker. *J. Anim. Sci.*, 98, skaa027.

- Klein N., Sarpong N., Melzer T., Feuerstein D., Heyer C.M.E., Camarinha-Silva A., Rodehutsord M., 2023. Effect of dietary calcium concentration and exogenous phytase on inositol phosphate degradation, mineral digestibility, and gut microbiota in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 101, skad254.
- Lagos L.V., Lee S.A., Bedford M.R., Stein H.H., 2021. Reduced concentrations of limestone and monocalcium phosphate in diets without or with microbial phytase did not influence gastric pH, fecal score, or growth performance, but reduced bone ash and serum albumin in weanling pigs. *Transl. Anim. Sci.*, 5, 1-10.
- Lawlor P.G., Lynch B., Caffrey P.I., O'Reilly J.J., O'Connell K., 2005. Measurements of the acid-binding capacity of ingredients used in pig diets. *Irish Vet. Journal*, 58, 447-452.
- Létourneau-Montminy M.P., Jondreville C., Lescoat P., Meschy F., Pomar C., Bernier J.F., Sauvant D., 2007. First step of a model of calcium and phosphorus metabolism in growing pigs: Fate of ingested phosphorus in the stomach. *Livestock Science*, 109, 63–65.
- Mahan D.C., Newton E.A., 1995. Effect of initial breeding weight on macro- and micromineral composition over a three-parity period using a high-producing sow genotype. *J. Anim. Sci.*, 73, 151-158.
- Nancy A., Létourneau-Montminy M.P., Bouzouagh E., Mème N., Magnin M., Dourmad J.Y., 2012. Modulation de l'utilisation digestive du phosphore chez le porcelet sevré : influence de l'apport de calcium et de phytase sur le pH et la solubilité des minéraux au niveau gastro-intestinal. *Journée Rech. Porcine*, 44, 159-164.
- Samson A., van Meyel J.P., Launay C., 2013. Influence de l'origine et de la granulométrie du carbonate de calcium sur sa valeur alimentaire pour le porc charcutier. *Journée Rech. Porcine*, 45, 201-202.
- Zhai H., Stamatopoulos K., Walk C., 2023. Sampling time influences the apparent total tract digestible Ca and P equivalence of 5 phytase in weaner pigs during a 21-day study. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4539273> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4539273>
- Zhang F., Adeola O., 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Animal Nutrition*, 3, 344-352.



Effets de probiotiques de type *Bacillus* combinés à un aliment 2^{ème} âge pour porcelets sevrés précocement

Sandrine DUFOURNY (1), Mario AGUEDO (2), Othmane BENCHAIB (3), Giulia DE RAZZA (1), Véronique DELCENSERIE (4), Benjamin DUBOIS (1), Thami EL MEJDOUB (5), Sébastien GOFFLOT (1), Irma GONZA QUITO (4), Elizabeth GOYA-JORGE (4), Serge HILIGSMANN (6), Julien POPULIN (3), Martine SCHROYEN (7), Philippe THONART (2,5), José WAVREILLE (1)

(1) Centre wallon de Recherches agronomiques, 5030 Gembloux, Belgique

(2) Artechno SA, 5032 Les Isnes, Belgique

(3) Lutosa SA, 7900 Leuze-en-Hainaut, Belgique

(4) Université de Liège, FARAHA, Faculté de Médecine Vétérinaire, 4000 Liège, Belgique

(5) Fermented Product Partner SA, 5032 Les Isnes, Belgique

(6) CELABOR Plateforme de Valorisation des Biomasses, 4650 Chaineux, Belgique

(7) Université de Liège, TERRA, Gembloux Agro Bio-Tech, 5030 Gembloux, Belgique

s.dufourny@cra.wallonie.be

Effect of *Bacillus* spp. probiotics on the ability to sustain early-weaned piglets receiving a 2nd age diet immediately

Weaning is a critical step for piglets. The feeding strategy needs to be adapted to sustain performances and intestinal health. *Bacillus* spp. are well known probiotics. In this study, *B. subtilis* (BS), *B. licheniformis* (BL) and *B. coagulans* (BC) were tested *in vitro* before performing an *in vivo* experiment with the strains that showed the most promising microbiota and fermentation process. *In vitro*, BL and BC showed the most contrasting effects by acting on the propionate and butyrate pathways despite reducing the relative quantities of *C. coccoides* group. BC tended to be the most effective at reducing coliforms in the fermentation juice of the bioreactors. *In vivo*, an experiment was conducted with 84 piglets for 42 days. They were weaned at 21 days and divided into three groups: a control group that received a 2nd age commercial diet and two groups that received the same diet supplemented with either BL or BC (> 2.10⁹ CFU/kg diet). BC induced an increase in piglet weight on d7 post-weaning ($P = 0.03$) and a higher valerate concentration in piglet faeces ($P = 0.03$). The diarrhoea frequencies tended to be reduced for the supplemented piglets ($P = 0.07$). These results showed that BC is a promising probiotic strain for piglets weaned under difficult conditions. The advantage conferred by the strain should now be economically assessed under conditions in which feed is manufactured on-farm.

INTRODUCTION

Le sevrage du porcelet constitue une étape importante de sa vie pour laquelle l'éleveur adapte l'alimentation afin d'assurer une santé et des performances. Cependant, cette adaptation a un coût puisque les aliments spécifiquement adaptés au sevrage requièrent d'utiliser des ingrédients plus digestes et d'assurer la santé intestinale au travers de pré-, pro- ou symbiotiques. Des économies pourraient être réalisées mais cela se ferait au détriment des performances. L'étude vise à évaluer, lors du sevrage, les effets de probiotiques du type *Bacillus* incorporés dans un aliment dédié au 2^{ème} âge, moins coûteux mais également moins adapté à la transition du sevrage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Modèle *in vitro*

Un modèle *in vitro* simplifié du modèle baby-SPIME (Dufourny *et al.*, 2019) a été utilisé durant 48 h. Douze bioréacteurs de 300 mL, maintenus en anaérobiose par flush quotidien à l'azote, mimaient le côlon distal de porcelets non sevrés (39,5°C, pH 6,6

– 6,9, agitation continue à 300 rpm), milieu de culture de type post-sevrage. L'inoculum unique (mélange de matières fécales de 12 porcelets allaités de 25 j d'âge homogénéisé dans un tampon phosphate) a été réparti dans les bioréacteurs (15 mL) avec 0,6 g d'additif. Quatre additifs ont été préparés, répartis chacun dans trois bioréacteurs. Le contrôle (CO) était le produit nommé 3LP à base d'amidon de pomme de terre de chez Lutosa (Leuze-en-Hainaut, Belgique). Les trois autres additifs étaient ce 3LP diluant 5*10⁹ UFC/g des souches sporulées de *B. subtilis* (BS) ou *B. licheniformis* (BL) ou *B. coagulans* (BC). Des échantillons ont été prélevés à 0 (J0), 24 h (J1) et 48 h (J2) pour analyser les acides gras à chaînes courtes par HPLC (détecteur RI, calcul du ratio molaire en % de chaque acide par rapport à la somme des acides acétique, propionique et butyrique), dénombrer les bactéries sur milieux gélosés et faire une quantification relative de groupes bactériens par qPCR.

1.2. Animaux, logement et aliments

Quatre-vingt-quatre porcelets croisés Piétrain x Landrace ont été sevrés à 21 j d'âge. Ils ont été répartis (en fonction des portées, du poids et du sexe) entre trois groupes alimentaires répartis chacun aléatoirement dans sept loges sur caillebotis

pour 42 jours de post-sevrage. Le groupe CO a reçu un aliment porcelet 2^{ème} âge. Les autres groupes ont reçu le même aliment mais supplémenté avec BL ou B dilués dans le 3LP (aliment + > 2.10⁹ CFU/kg aliment). Les animaux ont été pesés hebdomadairement et les gains moyens quotidiens (GMQ) calculés. Les ingestions ont été consignées et les indices de consommation ont été calculés sur la base de la matière sèche de l'aliment. Des échantillons de matières fécales (MF) ont été prélevés à 7 j post-sevrage (deux porcelets par loge).

1.3. Statistiques

Les données, normales, ont été traitées par ANOVA avec un facteur fixe (Minitab® 21.4.1, Minitab LLC., USA). Les moyennes ont été comparées par la méthode de Dunnett sur base de CO. L'unité statistique est le bioréacteur ou la case. La fréquence de diarrhées a fait l'objet du test Khi-2 (contrôle vs. supplémenté).

2. RESULTATS - DISCUSSION

2.1. Résultats *in vitro*

A J1 (Tableau 1), les traitements BL et BC se sont démarqués de CO par l'emprunt de la voie propionique et non acétique. A J2, BC a continué de se démarquer par l'emprunt de la voie butyrique, ce qui tendait à se confirmer sur la concentration du métabolite en bioréacteurs (donnée non communiquée, $P = 0,09$). Cependant, une diminution de l'abondance de l'un des deux groupes bactériens de *Clostridium* connus pour favoriser la production de butyrate (Guo *et al.*, 2020), *C. coccoides*, a été observée avec l'ajout des souches BL et BC.

A J2, une réduction du nombre de coliformes a été observée dans chaque bioréacteur (Tableau 1). Une tendance a par ailleurs été observée sur ce critère. La souche pour laquelle la réduction du nombre de coliformes, par rapport à l'inoculum de départ, a été la plus marquée était BC.

Tableau 1 – Synthèse des principaux résultats obtenus *in vitro* et *in vivo* avec l'utilisation des souches probiotiques de l'étude¹

| | CO | BS | BL | BC | SEM ² | P ² |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|---------|------------------|----------------|
| Stades et critères <i>in vitro</i> | (n = 3) | (n = 3) | (n = 3) | (n = 3) | | |
| J1 ¹ Ratio molaire (RM) acide acétique (%) | 44,9 ^a | 45,1 ^a | 40,5 | 41,3 | 0,65 | < 0,001 |
| RM acide propionique (%) | 51,2 ^a | 51,0 ^a | 55,1 | 54,2 | 0,58 | < 0,001 |
| RM acide butyrique (%) | 3,9 | 3,9 | 4,4 | 4,5 | 0,11 | 0,06 |
| J2 ¹ RM acide acétique (%) | 42,3 | 43,4 | 40,8 | 41,3 | 0,35 | < 0,01 |
| RM acide propionique (%) | 54,0 | 53,0 | 55,0 | 54,5 | 0,30 | 0,05 |
| RM acide butyrique (%) | 3,8 ^a | 3,6 ^a | 4,1 ^a | 4,3 | 0,09 | 0,01 |
| Réduction coliformes (10 ⁴ CFU/mL) | 5,85 | 1,69 | 11,1 | 16,2 | 2,18 | 0,07 |
| Quantification relative de <i>C. coccoides</i> | 0,029 ^a | 0,031 ^a | 0,011 | 0,015 | 0,0028 | 0,001 |
| Quantification relative de <i>C. leptum</i> | 0,062 | 0,068 | 0,037 | 0,043 | 0,0060 | 0,19 |
| Critères <i>in vivo</i> | (n = 7) | | (n = 7) | (n = 7) | | |
| Poids vif initial (kg) | 6,3 | | 6,4 | 6,4 | 0,02 | 0,32 |
| Poids vif après 1 semaine (kg) | 6,3 ^a | | 6,6 ^a | 6,7 | 0,07 | 0,03 |
| GMQ pendant la 1 ^{ère} semaine (kg/j) | -0,007 | | 0,035 | 0,046 | 0,0096 | 0,05 |
| GMQ final (kg/j) | 0,236 | | 0,246 | 0,252 | 0,0056 | 0,54 |
| Indice de consommation | 1,86 | | 1,86 | 1,84 | 0,014 | 0,91 |
| Matière sèche des MF (%) ³ | 20,5 | | 21,7 | 22,3 | 1,10 | 0,79 |
| Acide valérique (mmol/kg MF sèches) ³ | 10,99 ^a | | 12,66 ^a | 16,63 | 0,937 | 0,03 |

¹ J1 et J2 : analyses à 24 et 48 h de digestion *in vitro*, MF : matières fécales. ² Les moyennes B. subtilis (BS), B. licheniformis (BL), B. coagulans (BC) non étiquetées « a » sont significativement différentes de la moyenne du témoin (CO) ; SEM : erreur standard de mesure. ³ Matières fécales collectées 7 jours après le sevrage.

2.2. Résultats *in vivo*

Bien que la supplémentation en probiotique n'ait pas influencé les performances des animaux en fin d'essai (Tableau 1), BC s'est différencié de CO sur le poids et le GMQ de la première semaine de post-sevrage, montrant un soutien de croissance des animaux sur ce moment considéré le plus critique du post-sevrage. Dans les MF, BC a également augmenté la concentration en valérate. Or, ce dernier pourrait être considéré comme un bioindicateur non invasif de stimulation du système immunitaire (Kar *et al.*, 2022). Bien que le taux de MS des MF n'ait pas été significativement différent entre les traitements, la fréquence de diarrhées à risque pathogénique (MS < 20%, Niewold, 2015) chez les porcelets supplémentés tendait à être réduite de moitié par rapport aux porcelets

contrôles (respectivement 29% vs. 57%, $P = 0,07$). La distribution d'un aliment 2^{ème} âge, moins cher, dès le sevrage n'est pas dans les pratiques d'élevage. Mais le concept pourrait être transposé chez les éleveurs qui fabriquent des aliments à la ferme moins optimisés au sevrage que les aliments commerciaux. Dans ce cas, cette souche probiotique pourrait conférer un bénéfice.

CONCLUSION

L'étude a démontré l'intérêt de *B. coagulans* en tant que probiotique. Il a favorisé la croissance des animaux en début de post-sevrage et tendait à réduire la fréquence des diarrhées. La concentration plus élevée en valérate des fèces témoignerait d'une potentielle action sur le système immunitaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dufourny S., Everaert N., Lebrun S., Douny C., Scippo M.L., Li B., Taminiu B., Marzorati M., Wavreille J., Froidmont E., Rondia P., Delcensier V., 2019. Baby-SPIIME: a dynamic *in vitro* piglet model mimicking gut microbiota during the weaning process. J. Microbiol. Methods, 167, 105735.
- Guo P., Zhang K., Ma X., He P., 2020. Clostridium species as probiotics: potentials and challenges. J. Anim. Sci. Biotechnol., 11, 24.
- Kar S.K., Te Pas M.F.W., Kruijt L., Vervoort J.J.M., Jansman A.J.M., Schokker D., 2022. Sanitary conditions on the farm alters fecal metabolite profile in growing pigs. Metabolites, 12, 238.
- Niewold T., 2015. Intestinal health. Key to maximise growth performance in livestock. Wageningen Academic Publishers (Ed), Wageningen, The Netherlands, 276 p.



Changements dans le comportement alimentaire des porcelets dans les premiers jours suivant le sevrage

Jeroen DEGROOTE, Thomas VAN DE PUTTE, Joris MICHIELS

Ghent University, Department of Animal Sciences and Aquatic Ecology, Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgique

Jerdgroot.degroot@ugent.be

Changes in eating behaviour of piglets in the early days of post-weaning

This study aimed to better understand the development of feeding behaviour of piglets during the weaning transition. Individual body weight and feed intake of one batch of 90 weaned piglets were continuously monitored by using 9 pens, each equipped with an electronic weighing station (Asserva, Lamballe, France) and an electronic feeding station (Schauer, Prambachkirchen, Austria). In general, the daily time spent eating was lower (57 min/d) during week 1 post-weaning than for all other weeks (i.e. 79, 90, 85, 85, 86 min/d, $P < 0.001$). Time spent eating rapidly increased during the first few days of weaning and remained relatively constant thereafter. Therefore, data were modelled using piecewise linear regression with two segments. When averaging over individual animals, the model predicted that daily time spent eating equalled 16 min/d ($P = 0.016$) at d0 and increased by 19 min/d (adj $R^2 = 0.873$, $P = 0.043$) until a break point at 3.4 days post-weaning, when it reached 81 min/d ($P < 0.001$). Thereafter, daily time spent eating remained relatively constant (slope = 0,2 min/d, adj $R^2 = 0.051$, $P = 0.095$). Semi-partial correlation analysis showed that the time spent eating contributed 76 % to the variance in feed intake at d0 while this was only 20 % for the feed intake rate. This changed over time to 40 % and 71 % at d10, respectively. These results indicate that feed intake was driven mainly by time expenditure in the early days of post-weaning, and its impact decreased when piglets reached a normal level of eating time. Further investigation will focus on the pattern of individual piglets and the association with growth performance and feed intake.

INTRODUCTION

Lors du sevrage, les porcelets passent de la consommation de lait maternel à l'ingestion d'aliments à partir d'une mangeoire, entraînant une prise alimentaire insuffisante pendant les premiers jours (Bruininx *et al.*, 2001). Une transition réussie nécessite un apprentissage et peut prendre du temps avant que les porcelets développent les compétences nécessaires pour atteindre une prise alimentaire adéquate (Oostindjer *et al.*, 2014). Les paramètres décrivant le comportement alimentaire, comme par exemple le temps consacré à manger, pourraient fournir des informations importantes permettant aux producteurs de mieux gérer la transition du sevrage (Widowski *et al.*, 2008). Cependant, il est encore nécessaire de mieux comprendre comment le comportement alimentaire évolue pendant la transition du sevrage. Par conséquent, cette expérience visait à évaluer comment la durée d'ingestion est associée à la prise alimentaire réelle.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Protocole expérimental et mesures

À quatre semaines, 90 porcelets (Topigs, TN70 × Belgium Piétrain) ont été sevrés (j0) et répartis dans neuf cages avec 10 porcelets par cage. Chaque cage était équipée d'une station de pesée électronique (Asserva, Lamballe, France), permettant la surveillance individuelle du poids corporel et de la consommation d'eau pour chaque visite. Chaque cage était

également équipée d'une station d'alimentation électronique (Schauer, Prambachkirchen, Autriche) avec une mangeoire individuelle, des clôtures ajustables et une porte d'accès automatisée pour faciliter la distinction des visites séparées et pour limiter les visites de plusieurs animaux en même temps. Tous les porcelets étaient nourris avec un régime commercial pour porcelets de j0-14 et de j14-42 post-sevrage (AVEVE Veevoeding, Merksem, Belgique). Tous les régimes étaient sous forme de granulés. Chaque porcelet avait un transpondeur électronique à l'oreille qui était lu par une antenne opposée à la mangeoire. Les stations d'alimentation enregistraient le poids de la mangeoire et le temps au début et à la fin de chaque visite, ainsi que le numéro d'identification électronique du porcelet.

1.2. Prétraitement des données

À partir des données brutes (189 959 observations), la durée d'ingestion (min) et le niveau d'alimentation par visite (g/min) ont été calculés. Toutes les observations où le taux d'ingestion par visite était > 60 g/min ont été retirées des données. Cela a entraîné la perte de 110 observations (189 849 observations restantes). Les données ne contenaient pas de valeurs négatives de prise alimentaire, mais elles contenaient des observations où la prise alimentaire et/ou la durée de la visite étaient de zéro. Ces observations n'ont pas été retirées des données, car cette étude explore l'importance du comportement de prise alimentaire, y compris apprendre à utiliser la station d'alimentation ou établir un rang entre les animaux pendant l'alimentation.

1.3. Analyse des données

Les données ont été traitées à l'aide de Python version 3.11.2. L'analyse statistique pour évaluer l'effet de la semaine sur la durée d'ingestion a été réalisée à l'aide d'un test anova, incluant l'effet fixe de la semaine, suivi d'un test post-hoc de Tukey, en utilisant des packages statsmodels et scipy.stats. L'ajustement linéaire par morceaux a été réalisé à l'aide du package 'pwlif', où une corrélation a été réalisée pour un modèle à deux segments. Les coefficients de corrélation semi-partielle ont été calculés pour évaluer la contribution unique de la durée d'ingestion et du taux d'ingestion à la variance de la prise alimentaire. Cela a été réalisé à l'aide du package 'pingouin'. La contribution relative a été calculée en divisant leurs corrélations semi-partielles au carré par la variance expliquée totale.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les moyennes de la durée quotidienne d'ingestion étaient différentes selon la semaine ($P < 0,001$, Tableau 1). Les valeurs étaient plus faibles pendant la semaine 1 par rapport à toutes les autres semaines. De plus, la valeur moyenne pour la semaine 2 était plus faible par rapport aux semaines 3, 4, 5 et 6, et était significativement plus élevée que la semaine 1.

Tableau 1 – La durée quotidienne d'ingestion par semaine

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | ETM | P-value |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|---------|
| DI (min/j) | 57 ^a | 79 ^b | 90 ^c | 85 ^c | 85 ^c | 86 ^c | 1 | < 0,001 |

DI : Durée quotidienne d'ingestion pour une semaine, S : semaine après le sevrage avec S1 représentant les premiers 7 jours, ETM : erreur type de la moyenne.

Les données ont été modélisées par une régression linéaire par morceaux avec deux segments, comme représenté sur la figure 1. Ce graphique montre la durée quotidienne d'ingestion, en moyenne pour tous les animaux inclus dans l'étude. Le modèle a montré que la durée quotidienne d'ingestion en moyenne était de 16 min/j ($P = 0,016$) à j0 et augmentait de 19 min/j (R^2 ajusté = 0,873, $P = 0,043$) jusqu'au point de rupture à 3,4 jours après le sevrage, atteignant 81 min/j ($P < 0,001$). Par la suite, la durée quotidienne d'ingestion restait relativement constante (pente 0,2 min/j, R^2 ajusté = 0,051, $P = 0,095$).

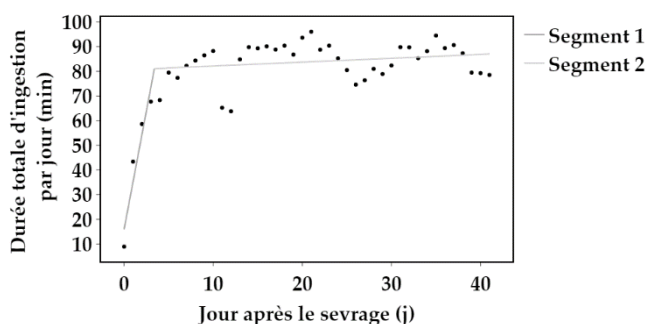


Figure 1 – La durée quotidienne d'ingestion modélisée par une régression linéaire par morceaux avec deux segments

La figure 2 montre les changements dans la contribution relative de la durée d'ingestion à la variance totale de la prise alimentaire expliquée par la durée d'ingestion et le niveau d'ingestion. Les résultats montrent que la durée d'ingestion et le niveau d'ingestion contribuaient à 79 % (R-carré semi-partiel 76 %) et 21 % (R-carré semi-partiel 20 %), respectivement, à la variance de la prise alimentaire à j0. Ceci a changé avec le temps, pour atteindre 36 % (R-carré semi-partiel 40 %) pour la durée d'ingestion et 64 % (R-carré semi-partiel 71 %) pour le niveau d'ingestion à j10.

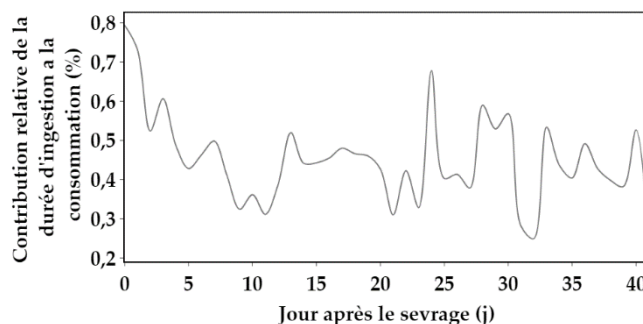


Figure 2 – Contribution relative (%) de la durée d'ingestion à la variance associée à expliquer la consommation d'aliment par la durée d'ingestion et le niveau d'ingestion

La figure 2 montre qu'il y a encore de grandes fluctuations dans les contributions relatives des deux paramètres. Ceci était principalement lié à l'obstruction temporaire de la mangeoire de temps en temps, empêchant les porcelets de visiter la mangeoire jusqu'à ce que l'obstruction soit retirée. De plus, ces données ont été collectées à l'aide de stations d'alimentation électroniques individuelles pouvant interférer avec le comportement alimentaire normal d'alimentation en groupe. Cela pourrait augmenter le temps nécessaire pour que les porcelets apprennent à utiliser la mangeoire, et donc affecter le moment du point de rupture entre les deux segments de ligne.

CONCLUSION

Ces résultats indiquent que la prise alimentaire pendant les premiers jours après le sevrage était principalement déterminée par le temps que les animaux passaient à manger. Durant la transition du sevrage, ces relations changent car le niveau d'ingestion alimentaire devient le critère dominant associé à la consommation de nourriture. Ceci est lié à l'observation que les porcelets semblent augmenter leur dépense de temps pour manger les premiers jours après le sevrage, jusqu'à atteindre un niveau normal de durée d'ingestion chaque jour. Ce niveau reste ensuite relativement stable pendant la période restante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bruininx M. A. M., van der Peet-Schwering C. M. C., Schrama J. W., Vereijken P. F. G., Vesseur P. C., Everts H., den Hartog L. A., Beynen A. C., 2001. Individually measured feed intake characteristics and growth performance of group-housed weaning pigs: effects of sex, initial body weight, and body weight distribution within groups. *J. Anim. Sci.*, 79, 301–308.
- Oostindjer M., Kemp B., van den Brand H., Bolhuis E., 2014. Facilitating 'learning from mom how to eat like a pig' to improve welfare of piglets around weaning. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 160, 19-30.
- Widowski T.M., Torrey S., Bench C.J., Gonyou H.W., 2008. Development of ingestive behaviour and the relationship to belly nosing in early-weaned piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 110, 109-127.



Effets des fractions riches en mannane sur le microbiome et l'histologie intestinale des porcs sevrés

Aoife CORRIGAN (1), Robert LEIGH (2), Brian O' NEILL (1), Fiona WALSH (2), Richard MURPHY (1)

(1) Alltech, Dunboyne, Co. Meath, Ireland

(2) Department of Biology, Maynooth University, Co. Kildare, Ireland

acorrigan@alltech.com

Effects of mannan rich fractions on the gut microbiome and histology of weaned pigs

This study investigated the effects of yeast mannan rich fraction (MRF) on piglet gut microbiome diversity and intestinal histology at weaning, providing valuable insights into its potential applications. Gestating sows and their resulting piglets were split into two cohorts receiving either a standard control diet or a standard diet with MRF (supplemented at 400 g/t in gestation and lactation and at 1 kg/t in piglet diets). Histological (ileum) and microbiome (ileum and cecum) analyses were conducted on intestinal tissues and contents collected from 14 piglets per treatment at 4 and 20 weeks of age. Microbiome analysis revealed significant differences between cohorts. Alpha diversity measures of Pieulou's J, Shannon's H and Simpson's D were significantly greater in the ileum, while Chao1 was significantly lower in the cecum at week 4 in the MRF supplemented cohort compared to the control. Beta diversity analysis indicated significant separation between cohorts at week 4 (cecum) and week 20 (ileum). At weeks 4 and 20, ileal villus height (VH) was significantly greater in the MRF compared to the control group. Crypt depth (CD) was not influenced at either week. Ileal VH:CD ratio and villus surface area was significantly greater at week 20 in the MRF cohort compared to the control. The observed modulation of the gut microbiome and beneficial differences in intestinal histology in the MRF-supplemented group suggests a potential role for MRF in promoting gut health in weaning piglets. These results provide valuable insights for optimising nutrition and management strategies during this critical period of piglet development.

INTRODUCTION

Le microbiome et l'histologie intestinale sont des déterminants essentiels de la santé gastro-intestinale et du bien-être général des porcs sevrés. Pendant le sevrage, les porcelets sont sujets aux infections entériques caractérisées par une dysbiose et une diarrhée post-sevrage. L'utilisation de facteurs de croissance antibiotiques (AGP) et d'oxyde de zinc à des doses pharmacologiques pour améliorer les performances et contrôler la diarrhée post-sevrage a longtemps été courante dans la production porcine. Depuis 2006, la législation européenne interdit l'utilisation des facteurs de croissance antibiotiques (AGP) dans la production animale et depuis 2022, l'utilisation de l'oxyde de zinc (> 150 mg/kg de zinc dans les aliments pour animaux) n'est plus autorisée. Par conséquent, il est important de développer des solutions nutritionnelles pour faciliter la transition du sevrage et améliorer la croissance des porcelets sevrés avec un faible apport en zinc tout en assurant le développement durable de l'industrie porcine (Canibe *et al.*, 2022). De nouvelles recherches suggèrent que les compléments alimentaires peuvent moduler la diversité du microbiome et l'histologie intestinale. Cette étude visait à étudier les effets des fractions riches en mannane (MRF) sur la diversité du microbiome intestinal et l'histologie intestinale des porcelets autour du sevrage. Les MRF sont des prébiotiques dérivés de la paroi cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae*.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'essai a été réalisé au Royaume-Uni en vertu de la loi de 1986 sur les animaux (procédures scientifiques, ASPA). Les truies en gestation ont été divisées en deux cohortes, un groupe recevant une ration témoin standard et l'autre recevant une ration complémentée avec des MRF (Actigen® fourni par Alltech®) pendant toute la gestation et la lactation à raison de 400 g/t dans l'alimentation maternelle et de 1 kg/t dans l'alimentation des porcelets dès le sevrage. Au total, 96 porcelets (males et femelles) post-mise bas ont été divisés en deux groupes de traitement (48 par groupe) en fonction de la ration maternelle (mère : porcelet) et ont été adaptés à la portée et au sexe, ce qui a donné huit cases par traitement et six porcelets par case.

Quatorze porcelets (7 mâles et 7 femelles) sélectionnés de façon aléatoire ont été euthanasiés à la semaine 4 (sevrage) ainsi qu'à la semaine 20. Les tissus de l'iléon et du contenu intestinal de l'iléon et du caecum ont été prélevés aux semaines 4 et 20 pour l'évaluation histologique et l'analyse du microbiome.

1.2. Analyse du microbiome

L'ADN a été extrait du contenu iléal et cæcal et a été analysé par séquençage métagénomique à l'aide de la technologie Illumina. L'analyse de la diversité alpha (test U de Mann-Whitney) et bêta (PERMANOVA) a été utilisée pour rechercher les différences entre la composition du microbiote iléal et cæcal à la suite d'une complémentation alimentaire ($P < 0,005$).

1.3. Evaluation morphologique

Les tissus iléaux colorés à l'hématoxyline et à l'éosine ont été utilisés pour l'examen histologique des deux groupes de 14 porcelets euthanasiés. Quinze villosités bien caractérisées et orientées et les cryptes correspondantes ont été identifiées et mesurées avec une lame par échantillon. La moyenne a été utilisée pour mesurer la hauteur des villosités (VH), la profondeur de la crypte (CD), le rapport VH/CD et la surface des villosités (VSA) à l'aide du logiciel NanoZoomer Digital Pathology Image (NanoZoomer NDP®, 2018, Hamamatsu Photonics K.K). La signification statistique entre les groupes a été déterminée à l'aide du test t bilatéral de Student ($P < 0,05$).

2. RESULTATS

2.1. La diversité du microbiome était plus grande chez les porcs supplémentés en MRF

Les résultats préliminaires indiquent que la supplémentation en MRF a influencé de manière significative la composition du microbiome intestinal. L'analyse du microbiome du contenu iléal et caecal a révélé des différences significatives dans la diversité alpha et bêta entre les porcelets témoins et les porcelets supplémentés en MRF ($P < 0,005$). Les mesures de la diversité alpha de Chao 1, de la régularité J de Pielou, du H de Shannon et du D de Simpson étaient significativement plus importantes dans l'iléon chez les porcelets du groupe MRF (Figure 1 a-d) à la semaine 4, mais Chao1 était significativement plus faible dans le caecum à la semaine 4 (non présenté dans ce texte). Aucune différence significative n'a été observée à la semaine 20. L'analyse de la diversité bêta a montré une séparation significative des communautés bactériennes à la semaine 4 dans le caecum et à la semaine 20 dans l'iléon en utilisant PERMANOVA ($P < 0,005$, non présenté dans ce texte).

2.2 L'impact des MRF sur la morphologie intestinale des porcelets

La supplémentation en MRF avait un impact significatif sur certains paramètres histologiques iléaux (Tableau 1, $P < 0,05$). Dans l'iléon, à la semaine 4 et à la semaine 20, la VH était significativement plus élevée dans le groupe supplémenté en MRF par rapport au groupe témoin. La MC n'a pas été affectée à la semaine 4 ou à la semaine 20. Le rapport VH/CD de l'iléon était significativement plus élevé dans le groupe supplémenté en MRF à la semaine 20. Par rapport au groupe témoin, la VSA était significativement plus élevée à la semaine 20.

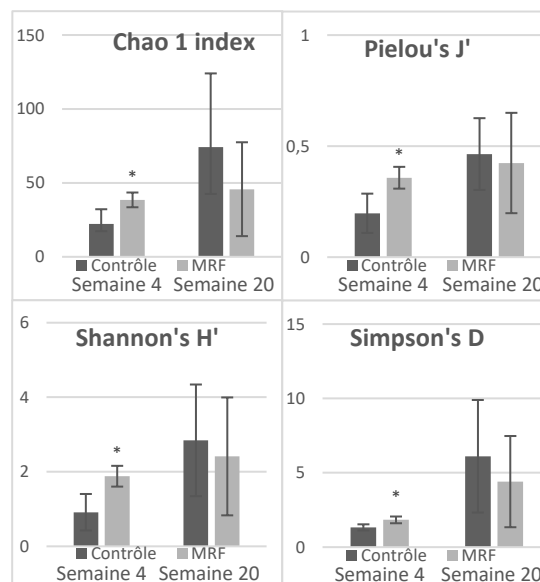


Figure 1 - Effet de la supplémentation en MRF sur la diversité alpha dans l'iléon chez les porcelets à la semaine 4 et à la semaine 20

La signification statistique (par âge) est indiquée par un * ($P \leq 0,05$), les barres d'erreur représentent \pm SD.

Tableau 1 - Effet de la supplémentation en MRF sur la morphométrie de la muqueuse intestinale de l'iléon des porcelets (n=14/stade) à l'âge de 4 et 20 semaines (moyenne \pm SEM)

| | CON | MRF |
|---|-----------------|------------------|
| Hauteur des villosités, VH (μm) | | |
| Semaine 4 | 294 \pm 18 | 389 \pm 11* |
| Semaine 20 | 314 \pm 16 | 381 \pm 3* |
| Profondeur des cryptes, CD (μm) | | |
| Semaine 4 | 130 \pm 9 | 143 \pm 7 |
| Semaine 20 | 139 \pm 5 | 117 \pm 6 |
| VH/CD | | |
| Semaine 4 | 2,47 \pm 0,11 | 3,38 \pm 0,14 |
| Semaine 20 | 2,62 \pm 0,16 | 3,77 \pm 0,14* |
| Surface des villosités, VSA (mm²) | | |
| Semaine 4 | 29 \pm 2 | 38 \pm 2 |
| Semaine 20 | 36 \pm 2 | 43 \pm 2* |

La signification statistique entre les groupes a été déterminée à l'aide du test t bilatéral de Student (* $P < 0,05$).

CONCLUSION

La modulation observée du microbiome intestinal et les différences dans l'histologie intestinale dans le groupe supplémenté en MRF suggèrent un rôle potentiel de MRF dans la promotion de la santé intestinale chez les porcelets sevrés.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Canibe N., Hojberg O., Kongsted H., Vodolazska D., Lauridsen C., Nielsen T. S., Schonert A., 2022. Review on preventive measures to reduce post-weaning diarrhea in piglets. *Animals*, 12, 2.



Effets des protéinates de zinc associés à une fraction riche en mannane, en remplacement de l'oxyde de zinc sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la santé intestinale des porcelets sevrés

Gang ZHANG (1,2), Jinbiao ZHAO (1), Gang LIN (3), Yuhan GUO (1), Defa LI (1) et Yi WU (1)

(1) State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, Chine

(2) Nutrition Laboratory of Wellhope Foods Co., Ltd., Shengyang 110164, Chine

(3) Key Laboratory of Agrifood Safety and Quality, Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agricultural Products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, Chine

wuyi2013@cau.edu.cn

Effects of protein-chelated zinc combined with a mannan-rich fraction to replace high-dose zinc oxide on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal health in weaned piglets

The early weaning of piglets is a key strategy for the modern pig industry. However, the digestive system of early-weaned piglets is not well developed, and weaned piglets suffering from nutritional and environmental stresses cause significant losses. To mitigate the challenges of weaning, adding zinc oxide (ZnO) to the diet of weaned piglets has become standard. However, excessive output of zinc from pig faeces to the water and soil produces toxicity to crops and threatens animal and human health. A mannan-rich fraction (MRF), derived from *Saccharomyces cerevisiae*, can improve gut health and the immune system. In addition, protein-chelated zinc (Zn-Pro) has stable chemical properties, a higher absorption rate and biological potency, and thus may be a suitable alternative to ZnO. Therefore, we hypothesised that combining Zn-Pro with MRF is a suitable alternative to high-dose ZnO to relieve weaning stress. This study showed that the combination of Zn-Pro and MRF reduced the diarrhea rate to 5.02% vs 12.07% in the control group ($P < 0,05$), which might be related to the improved intestinal morphology. In addition, the combined addition of MRF and Zn-Pro may provide benefit to growth performance (+47 g average daily gain vs control group; $P < 0,05$) and nutrient digestibility of weaned pigs. The fecal zinc excretion was lower with the combined addition of MRF and Zn-Pro ($P < 0,05$), which might decelerate the environmental pollution associated with swine farm. These results suggested that the combination of MRF and Zn-Pro may be an alternative to 1600 mg Zn/ kg ZnO.

INTRODUCTION

L'oxyde de zinc (ZnO) a longtemps été utilisé afin d'atténuer les effets négatifs du sevrage, améliorer les performances et la santé intestinale des porcelets. L'Union Européenne a néanmoins interdit le ZnO en juin 2022 et il est donc important de développer des solutions alternatives au ZnO. L'amélioration des performances de croissance, la réduction de l'occurrence des diarrhées et la diminution des excréctions de zinc sont les principaux indicateurs pour évaluer les alternatives à l'oxyde de zinc à fortes doses chez le porcelet sevré. Semblable à l'effet du ZnO à forte dose, la fraction de levure riche en mannane (MRF) peut améliorer la santé intestinale et le système immunitaire des porcelets (Fouhse, 2019).

Comparé au ZnO, le protéinate de zinc (Zn-Pro) a des propriétés chimiques stables et un taux d'absorption plus élevé (Oh, 2021) lui permettant de constituer une alternative intéressante au ZnO.

Par conséquent, nous avons mené cette étude afin d'évaluer les effets de l'association de Zn-Pro et de MRF en tant qu'alternative au ZnO sur les performances de croissance, le score de diarrhée, la digestibilité des nutriments et la morphologie intestinale des porcelets sevrés.

1. MATERIEL ET METHODES

Un total de 168 porcelets sevrés à 21 jours [Duroc × (Landrace × Yorkshire)] a été utilisé pour cet essai de 4 semaines. Le poids moyen des porcelets âgés de 28 jours au premier jour de l'essai (J0) était de $7,70 \pm 0,75$ kg. A J0, les porcelets ont été répartis aléatoirement en 4 groupes comprenant chacun 7 cases de 6 porcelets et ont reçu chacun un traitement alimentaire différent :

- (1) CON : Aliment contrôle,
- (2) ZnO : CON + 1600 mg Zn/kg sous forme de ZnO (dosage maximum autorisé en Chine),
- (3) Zn-Pro : CON + 60 mg Zn/kg sous forme de Zn-Pro,
- (4) MRP : CON + 800 mg MRF/kg + 60 mg Zn/kg sous forme de Zn-Pro.

La consommation d'aliment de chaque case et le poids individuel de chaque porcelet ont été mesurés à J1, J14 et J28 de l'étude afin de mesurer le gain moyen quotidien (GMQ).

La consistance des fèces a été évaluée visuellement tous les jours à 9h et 16h et la sévérité des diarrhées a été déterminée par un système de score allant de 1 (fèces solide et ferme) à 5 (fèces liquide et muqueux) (Zhang, 2021).

Des échantillons représentatifs d'aliment ont été collectés à J0 et des échantillons fécaux de 300 g par case ont été prélevés entre J25 et J27 pour calculer la digestibilité apparente des nutriments (DA) selon l'équation suivante : $DA = 1 - (Nf \times Crd) / (Nd \times Crf) \times 100$ avec Nf = Concentration des nutriments dans les fèces (g/kg), Crd = Concentration de chrome dans la ration (g/kg), Nd = Concentration de nutriments dans la ration (g/kg), Crf = Concentration de chrome dans les fèces (g/kg) ainsi que la concentration en zinc (Zn) dans les fèces.

A J14 et J28 de l'expérience, un porcelet de poids moyen de chaque case a été sélectionné pour analyse de sang et des sérums. Ces mêmes porcelets ont été euthanasiés à J28 avec prélèvement du tractus gastro-intestinal afin d'évaluer les paramètres de santé intestinale : ratio crypte-villosité dans le jéjunum et l'iléon, concentration d'acide gras volatils (AGV) dans le digesta intestinal, communauté microbienne dans le digesta du colon.

La normalité des données a été vérifiée à l'aide de la procédure UNIVARIATE de SAS 9.4 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, Etats-Unis). L'analyse de la variance a été faite selon le modèle GLM. Les valeurs moyennes de groupes expérimentaux ont été calculées avec la méthode LSMEANS de comparaisons multiples, qui ont été réalisées selon la procédure Student-Newman-Keuls. Les valeurs sont présentées sous forme de moyennes des moindres carrés avec erreur type de la moyenne. Les probabilités de $P < 0,05$ ont été déclarées significatives tandis que les probabilités $0,05 \leq P < 0,10$ ont été considérées comme des tendances. La case est l'unité expérimentale pour les performances de croissance, l'incidence des diarrhées et la digestibilité des nutriments. Pour tous les autres indicateurs, l'unité expérimentale est l'individu.

2. RESULTATS

2.1. Performances de croissance et incidence de diarrhées

Le GMQ moyen des porcelets du groupe MRP était plus élevé ($P < 0,05$) que le groupe contrôle et le groupe Zn-Pro (Figure 1). L'incidence de diarrhée du groupe CON était plus élevée ($P < 0,05$) que celle des groupes ZnO, Zn-Pro et MRP tout au long de l'essai (Figure 1).

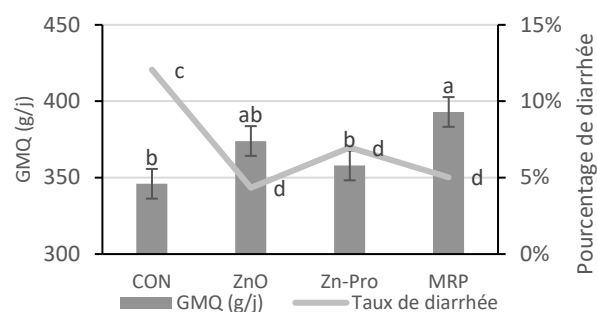


Figure 1 – Effet des différents traitements sur le GMQ et l'incidence de diarrhée

Les lettres a, b, ab indiquent une différence significative ($P < 0,05$) entre les traitements sur le GMQ et les lettres c et d indiquent une différence significative ($P < 0,05$) entre les traitements sur le pourcentage de diarrhée.

2.2. Concentration fécale de Zn et digestibilité des nutriments

La digestibilité apparente de matière sèche (MS ; 83,1 %), de matière organique (MO ; 85,5 %) et de protéines brutes (PB ; 76,9 %) du groupe MRP était plus élevée ($P < 0,05$) que celle du groupe CON (respectivement MS : 81,2 %, MO : 83,5 % et PB : 73,8 %). La concentration de Zn dans les fèces était plus faible ($P < 0,05$) dans les groupes Zn-Pro (0,81 g/kg MS) et MRP (0,69 g/kg MS) que dans le groupe ZnO (12,51 g/kg MS).

2.3. La morphologie intestinale

La hauteur des villosités de l'iléon dans le groupe MRP avait tendance à être supérieure à celle du groupe CON (255 vs 220 μm ; $P = 0,09$) ce qui indique que l'association de Zn-Pro et de MRF peut avoir un effet bénéfique sur la morphologie intestinale.

3. DISCUSSION

La combinaison de Zn-Pro et de MRF a significativement amélioré la hauteur des villosités ainsi que la digestibilité de MS, MO et PB par rapport au ZnO. Le rôle du Zn-Pro sur la prolifération des cellules épithéliales et la synthèse de protéines (Castillo, 2008) associé aux effets bénéfiques des MRF sur la régulation du microbiote et la réduction de la charge pathogène (Fouhse, 2019) ont pu permettre l'amélioration de la morphologie intestinale et ainsi la digestibilité des nutriments.

CONCLUSION

En conclusion, la combinaison de MRF et de Zn-Pro a agi comme une alternative appropriée au ZnO pour soutenir de manière bénéfique les performances de croissance et la santé intestinale des porcelets sevrés, ainsi que pour contribuer à réduire le taux de diarrhée et la pollution environnementale due à l'excrétion fécale de zinc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Oh, H.J., Park, Y.J., Cho, J.H., Song, M.H., Gu, B.H., Yun, W., Lee, J.H., An, J.S., Kim, Y.J., Lee, J.S., *et al.* 2021. Changes in diarrhea score, nutrient digestibility, zinc utilization, intestinal immune profiles, and fecal microbiome in weaned piglets by different forms of zinc. *Animals* 11, no. 5: 1356.
- G. Zhang, J.B. Zhao, W.X. Dong, X.M. Song, G. Lin, D.F. Li, S. Zhang, 2021. Yeast-derived mannan-rich fraction as an alternative for zinc oxide to alleviate diarrhea incidence and improve growth performance in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, Volume 281, 115111.
- Castillo, M., Martín-Orúe, S.M., Taylor-Pickard, J.A., Pérez, J.F., Gasa, J. 2008. Use of mannan-oligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs: Effects on microbiota and gut function. *J. Anim. Sci.*, 86, 94–101.
- Fouhse, J.M., Dawson, K., Graugnard, D., Dyck, M., Willing, B.P. 2019. Dietary supplementation of weaned piglets with a yeast-derived mannan-rich fraction modulates cecal microbial profiles, jejunal morphology and gene expression. *Animal*, 13, 1591–1598.



Un sel de sodium butyrate produit par fermentation et encapsulé améliore la performance des porcelets en période post-sevrage

Aude SIMONGIOVANNI (1), Tristan CHALVON-DEMERSAY (1), William LAMBERT (1), Jeroen DEGROOTE (2), Chengcheng LI (2), Maryam MAJDEDDIN (2), Joris MICHIELS (2)

(1) METEX ANIMAL NUTRITION, 32 rue Guersant, 75017 Paris, France

(2) GHENT UNIVERSITY, Campus Coupure, building F, 1st floor, Coupure Links 653, B-9000 Gent, Belgique

aude.simonqiovanni@metex-noovistaqo.com

An encapsulated sodium butyrate derived from fermentation improves the performance of post-weaning piglets

The objective of this study was to evaluate benefits of supplementation with an encapsulated butyrate sodium salt (ButNac) derived from fermentation, on the growth performances of post-weaning piglets. In two trials, TopigsNorsvin70 × Piétrain piglets, aged and weaned at 26-28 days of age, were allocated to two dietary treatments: a control feed or the control feed supplemented with 2 kg/t of ButNac for 35 days. In trial 1, the piglets were divided into 20 pens, and the pen was considered the experimental unit. In trial 2, the animals were divided into 6 pens, each equipped with an electronic feeding station and a scale so that each piglet was monitored individually; the piglet was considered the experimental unit. In trial 1, ButNac supplementation was associated with beneficial effects from the first 14 days of the trial. Specifically, ButNac supplementation improved growth (+13.3%, $P = 0.041$), feed efficiency (-6.0%, $P = 0.028$) and final weight (+4.3%, $P = 0.041$) of the piglets. In both trials, over the entire period, ButNac supplementation was associated with a trend towards improved growth (trial 1: +9.1%, $P = 0.050$; trial 2: +9.5%, $P = 0.055$), feed intake (trial 1: +6.8%, $P = 0.067$; trial 2: +7.8%, $P = 0.070$) and final weight (trial 1: +6.0%, $P = 0.050$; trial 2: +6.0%, $P = 0.055$). However, the feed conversion ratio was not impacted. These two trials confirm the effectiveness of a ButNac derived from fermentation to improve the performance of piglets during the post-weaning period.

INTRODUCTION

Le sevrage est une étape stressante de la vie du porcelet, qui peut impacter négativement sa santé intestinale (Pluske *et al.*, 1997). Jusqu'à récemment, ces problèmes étaient gérés principalement par le recours aux antibiotiques et à l'oxyde de zinc à des doses pharmacologiques. En 2022, de nouvelles réglementations européennes ayant durci les conditions d'utilisation de ces molécules (More, 2020), des stratégies nutritionnelles pour limiter les altérations négatives de la santé intestinale survenant au sevrage ont été proposées. Le butyrate de sodium a reçu une attention accrue en raison de ses effets bénéfiques sur l'intestin : substrat énergétique préférentiel des colonocytes *via* la β -oxydation, le butyrate favorise leur prolifération et leur différenciation (Liu *et al.*, 2018). Une méta-analyse, basée sur 9 études publiées, a confirmé l'efficacité de la supplémentation en butyrate de sodium pour améliorer les performances des porcelets pendant la phase de post-sevrage (PS) (Arnalot *et al.*, 2023). La plupart des butyrates de sodium disponibles actuellement sur le marché sont produits par voie pétrochimique. L'objectif de nos deux essais était de tester le premier butyrate de sodium issu d'une production par fermentation, et encapsulé dans une matrice de matière grasse (ButNac), chez le porcelet pendant la phase de PS.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux, logement et traitements

Dans deux essais, des porcelets TopigsNorsvin70 × Piétrain (120 dans l'essai 1 et 60 dans l'essai 2) sevrés entre 26 et 28 jours d'âge ont été alloués à deux traitements alimentaires selon leur poids vif et leur sexe, de telle sorte que le poids moyen dans chaque case était similaire et que chaque case contenait un nombre égal de mâles et de femelles. Les deux traitements alimentaires étaient les suivants : un traitement témoin et un traitement où l'aliment témoin était supplémenté avec 2 kg/t de ButNac (b-noov®, Metex Animal Nutrition). Dans l'essai 1, les animaux ont été répartis dans 20 cases de 6 porcs. Dans l'essai 2, ils ont été répartis dans 6 cases de 10 porcs. Dans l'essai 2, chaque case était équipée d'une station d'alimentation électronique et d'une balance pour le suivi individuel de chaque porcelet.

A partir du sevrage (j0), les animaux ont reçu un aliment 1^{er} âge pendant 14 jours (protéine brute à 17,3 %, lysine digestible à 1,16 % et énergie nette à 10,5 MJ/kg) puis un aliment 2^{ème} âge pendant 21 jours (protéine brute à 17,2 %, lysine digestible à 1,10 % et énergie nette à 10,3 MJ/kg).

1.2. Mesures

Dans les deux essais, les porcelets ont été pesés individuellement à J0, J13 et J35. Pour les périodes J0-13 et J0-35, le gain moyen quotidien (GMQ), la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) ont été calculés, par case pour l'essai 1 et par individu pour l'essai 2. Les selles ont été contrôlées chaque jour durant la phase 1^{er} âge et codées sur une échelle de 1 à 3 (1 : selles normales ; 2 : selles molles à surveiller ; 3 : selles aqueuses – diarrhée). En cas de score 3, le nombre de porcelets présentant les fesses mouillées a été rapporté au nombre jours-animaux, permettant d'exprimer la prévalence de diarrhée (%).

1.3. Analyses statistiques

L'unité expérimentale était la case dans l'essai 1 et le porcelet dans l'essai 2. Les analyses statistiques ont été réalisées avec la procédure GLM de SAS 8.3 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). Dans l'essai 1, les données ont été analysées avec un modèle mixte comprenant l'effet fixe du traitement et l'effet aléatoire du bloc (fonction du poids initial). Dans l'essai 2, les données ont été analysées avec un modèle mixte comprenant les effets fixes du traitement et du sexe, l'effet aléatoire du traitement dans la case et le poids initial en co-variable.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans les deux essais, un épisode de diarrhées a eu lieu durant la 1^{ère} semaine après le sevrage. Les courbes de prévalence de diarrhée démontrent une prévalence plus faible durant cet épisode, pour les porcelets ayant reçu le ButNac (Figure 1).

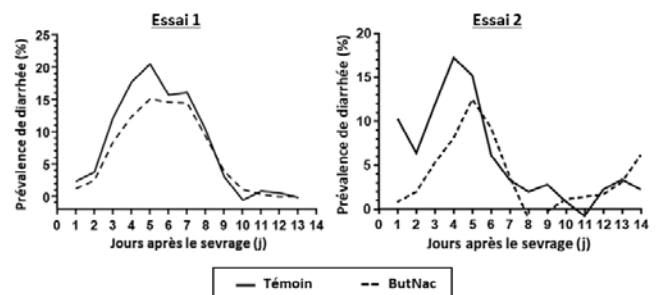


Figure 1 – Effet du butyrate de sodium encapsulé (ButNac) sur la prévalence de diarrhée de porcelets en phase post-sevrage

Concernant les performances durant la phase complète de PS, la supplémentation en ButNac a été associée à une tendance à une amélioration de la CMJ, du GMQ et du poids final, sans effet sur l'IC, et ce, dans les deux essais (Tableau 1). Dans l'essai 1, la supplémentation en ButNac a amélioré le GMQ (+13,3 %, $P = 0,041$), l'IC (-6,0 %, $P = 0,028$) et le poids final (+4,3 %, $P = 0,041$), dès les 14 premiers jours après le sevrage (Tableau 1).

Tableau 1 – Effet du butyrate de sodium encapsulé (ButNac) sur les performances de porcelets en phase de post-sevrage (J0-J35)

| | Essai 1 | | | | Essai 2 | | | |
|-----------------------------|---------|--------|------------------|-----------------------|---------|--------|-------|----------|
| | Témoin | ButNac | ETR ¹ | Valeur P ² | Témoin | ButNac | ETR | Valeur P |
| Poids vif, kg | | | | | | | | |
| J0 (sevrage) | 7,99 | 7,99 | - | - | 7,74 | 7,77 | - | - |
| J13 | 11,4 | 11,7 | 0,10 | 0,041 | 11,1 | 11,3 | 0,13 | 0,960 |
| J35 | 22,5 | 23,5 | 0,29 | 0,050 | 19,8 | 21,1 | 0,33 | 0,055 |
| CMJ³, g/j | | | | | | | | |
| J0-13 | 329 | 335 | 7,3 | 0,414 | 264 | 270 | 9,3 | 0,593 |
| J0-35 | 565 | 592 | 8,8 | 0,067 | 513 | 558 | 12,6 | 0,070 |
| GMQ⁴, g/j | | | | | | | | |
| J0-13 | 262 | 288 | 7,8 | 0,041 | 240 | 256 | 9,0 | 0,960 |
| J0-35 | 416 | 443 | 8,3 | 0,050 | 368 | 405 | 9,5 | 0,055 |
| IC⁵ | | | | | | | | |
| J0-13 | 1,26 | 1,19 | 0,016 | 0,028 | 1,11 | 1,07 | 0,015 | 0,274 |
| J0-35 | 1,40 | 1,39 | 0,009 | 0,271 | 1,41 | 1,37 | 0,016 | 0,290 |

¹ETR = écart-type résiduel ; ²les différences ont été considérées comme significatives lorsque $P < 0,05$ et comme une tendance à la signification lorsque $P < 0,1$;

³CMJ = consommation moyenne journalière ; ⁴GMQ = gain moyen quotidien ; ⁵IC = indice de consommation.

En ligne avec la méta-analyse d'Arnalot *et al.* (2023), dans l'essai 1, l'impact du butyrate était significatif dès les 14 premiers jours de PS. Sur la période complète de PS, l'effet du ButNac s'explique principalement par une augmentation de la CMJ qui pourrait être liée à une meilleure palatabilité et odeur de l'aliment. En effet, le butyrate étant l'un des acides gras volatiles les plus abondants dans le lait de la truie, la supplémentation dans l'aliment pourrait rappeler aux porcelets l'odeur du lait (Janssens et Nollet, 2002).

CONCLUSION

Avec respectivement +1,0 et +1,3 kg de poids vif en fin de période de PS, ces deux essais confirment l'efficacité du premier butyrate de sodium produit par fermentation et encapsulé pour améliorer la performance des porcelets en période de PS.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnalot L., Lambert W., Chalvon-Demersay T., 2023. Méta-analyse de l'effet du butyrate de sodium sur la performance et la morphologie intestinale des porcelets en période post-sevrage. Journées Rech. Porcine, 55, 209-210.
- Janssens G., Nollet L., 2002. Sodium butyrate in animal nutrition. Simpósio sobre ingredientes na alimentação animal, 2, 239-250.
- Liu H., Wang J., He T., Becker S., Zhang G., Li D., Ma X., 2018. Butyrate: A double-edged sword for health? Adv. Nutr., 9, 21-29.
- More, S.J., 2020. European perspectives on efforts to reduce antimicrobial usage in food animal production. Ir. Vet. J., 73, 2.
- Pluske J.R., Hampson D.J., Williams I.H., 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. Livest. Prod. Sci., 51, 215-236.



Effet d'une source de ZnO protégée par du magnésium sur les performances et le fonctionnement intestinal des porcelets sevrés

Zoé GARLATTI (1), Maryam MAJDEDDIN (2), Margaux TANSU (1), Jeroen DEGROOTE (2), Thomas VAN DE PUTTE (2), Chengcheng LI (2), Yuhuang HOU (2), Herinda PERTIWI (2), Joris MICHIELS (2)

(1) TIMAB Magnesium, 57 Bd Jules Verger, 35800 Dinard, France

(2) Ghent University, Department of Animal Sciences and Aquatic Ecology, Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgique

zoe.garlatti@roullier.com

Effects of a Mg-protected ZnO source on performance and gut function of weaned piglets

Zn is an essential trace mineral for pigs, and since the ban on the use of pharmacological ZnO for weaners, interest has increased in novel sources of Zn that may have properties superior to those of conventional ZnO or ZnSO₄ used for nutritional purposes. A novel ZnO source, based on a synergy between Mg and Zn, was supplemented at 120 mg Zn per kg to a pre-starter (d0-14 post-weaning) and starter diet (d14-42), and compared to ZnSO₄ at a similar supplementary level of Zn (control). Treatments were replicated in 10 pens, each with 6 piglets weaned at 26-28 days of age. On d14, one piglet from each pen was sampled to assess physiological endpoints. The novel ZnO source had no effect on diarrhoea incidence or performance during the pre-starter period, but it resulted in a lower feed-to-gain ratio than that of the control (1.38 vs. 1.43, respectively; $P < 0.05$) without any effect on growth performance during the starter period. For the total period, the feed-to-gain ratio was again lower (1.35 vs. 1.39, respectively; -2.9 %; $P < 0.05$). The number of Lactobacilli (+0.6 log₁₀ CFU/g) tended to be higher in contents of the distal small intestine when feeding the novel ZnO source ($P=0.076$), whereas pH and other bacterial groups did not differ in other segments of the foregut. Interestingly, the activity of alkaline phosphatase, a Zn- and Mg-dependent enzyme, in the distal small intestine was significantly higher in the experimental group than in the control group (1.87 vs. 1.18 U/g, respectively; $P < 0.05$), which may play a protective role and attenuate inflammation in the gut. In conclusion, feeding the novel ZnO source supported performance of weaned piglets during the starter period, which may be mediated by its effect on intestinal alkaline phosphatase activity.

INTRODUCTION

Le zinc (Zn) est un oligo-élément essentiel jouant un rôle important dans plusieurs processus biologiques chez le porc (Bonaventura *et al*, 2015). Depuis l'interdiction des doses pharmacologiques de ZnO pour les porcelets (European Medicines Agency, 2017), l'intérêt s'est développé pour de nouvelles sources de Zn qui pourraient présenter une biodisponibilité supérieure au ZnO ou au ZnSO₄, sources couramment utilisées à des fins nutritionnelles (Schlegel, 2010).

L'objectif de cette étude était de comparer une source innovante de ZnO protégé par du magnésium à une source inorganique de Zn (ZnSO₄) chez les porcelets en phase de post-sevrage.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux et régimes expérimentaux

L'étude a été menée sur 120 porcelets (Topigs x Piétrain), répartis dans 20 cases avec un même ratio mâles et femelles. L'essai a débuté au sevrage des porcelets, à l'âge de 26 à 28 jours, avec un poids corporel moyen de 7,18 kg, et s'est poursuivi jusqu'à la fin de la période post-sevrage. Les animaux ont reçu une alimentation 1^{er} âge (jour 0-14 post-sevrage, EN, 10,5 MJ/kg, SIDLys, 1,16 %) et une alimentation 2^{ème} âge (jour 14-42, EN, 10,3 MJ/kg, SIDLys, 1,10 %) granulées à base de céréales, de tourteau de soja et de matières premières riches en protéines de haute qualité. Les régimes alimentaires contenaient environ 30 mg/kg de Zn endogène avant d'être complétés par soit 120 mg de Zn/kg de ZnSO₄ (CON), soit 120 mg de Zn/kg de ZnO protégé par du magnésium (CM, CapMag Zn, Timab Magnésium) pour obtenir deux traitements avec environ 150 mg de Zn/kg d'aliment (vérification par dosage ICP-OES).

1.2. Mesures

Les poids individuels des porcelets ont été enregistrés le premier jour de l'essai et aux jours 14, 28 et 42 (fin de la période post-sevrage) afin de calculer le gain moyen quotidien (GMQ). La consommation d'aliment, a été enregistrée tout au long de cette période.

Au 14^{ème} jour de l'essai, un porcelet de chaque case, sélectionné en fonction du poids médian et a été sacrifié. La muqueuse intestinale et le contenu digestif (estomac, intestin grêle proximal et distal, caecum, côlon) de ces porcelets ont été analysés pour le pH, les populations de cellules immunitaires, l'activité de la phosphatase alcaline intestinale, et diverses populations bactériennes (mesure quantitative).

Des échantillons de fèces ont également été prélevés pour mesure de la matière sèche, du Zn et du P excrétés, et la digestibilité apparente a été évaluée en utilisant un marqueur indigestible (Diamol, 1%) dans l'aliment.

1.3. Analyses statistiques

Pour toutes les analyses, la case a été considérée comme l'unité expérimentale. Les moyennes ont été comparées à l'aide du test de Tukey. Les différences ont été considérées comme significatives au seuil de $P < 0,05$, et les tendances au seuil de $P < 0,1$.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Concernant les performances de croissance, le traitement CM a permis une diminution significative de l'indice de consommation (IC) de 3,5% par rapport au groupe CON (1,38 contre 1,43, $P < 0,05$) sur la période de 2^{ème} âge. Sur la période globale de post-sevrage, l'indice de consommation a été réduit de 2,9 % ($P < 0,05$) dans le lot CM par rapport au groupe CON (1,35 contre 1,39).

Sur l'ensemble de la période de post-sevrage, la consommation d'aliment et le poids n'ont pas été affectés de manière significative. La mortalité était de 1,67% pour chacun des traitements. Aucune donnée n'a été exclue pour l'ensemble des paramètres.

Une tendance a été observée sur le développement des populations de *Lactobacillus* dans la partie distale de l'intestin grêle, qui a été favorisé de + 0,6 log₁₀ CFU/g dans le traitement CM par rapport au CON ($P = 0,076$). L'activité de la phosphatase alcaline intestinale (PAI) a été quantifiée dans la muqueuse de l'intestin grêle distal (Figure 1). Une activité significativement plus élevée de cette enzyme a été observée ($P < 0,05$) dans le groupe CM (1,87 U/g) par rapport au groupe CON (1,18 U/g).

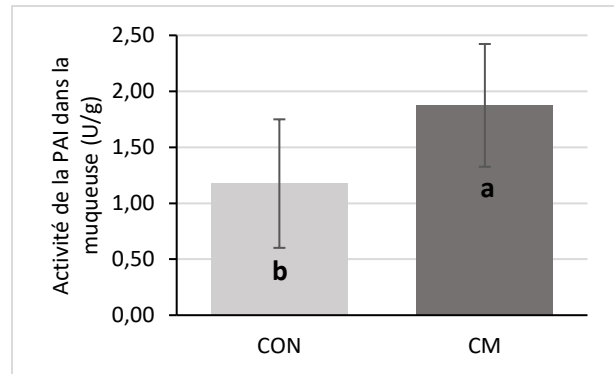


Figure 1 - Activité de la PAI dans la muqueuse intestinale (en U/g de muqueuse).

Des lettres différentes indiquent une différence significative ($P < 0,05$)

La digestibilité apparente de la matière sèche et du P était significativement plus élevée pour le CM que pour le CON ($P < 0,05$) (Figure 2). Il y avait une tendance à l'amélioration de la digestibilité apparente du Zn pour le CM par rapport au CON (25,9 % contre 17,3 %, $P=0,078$).

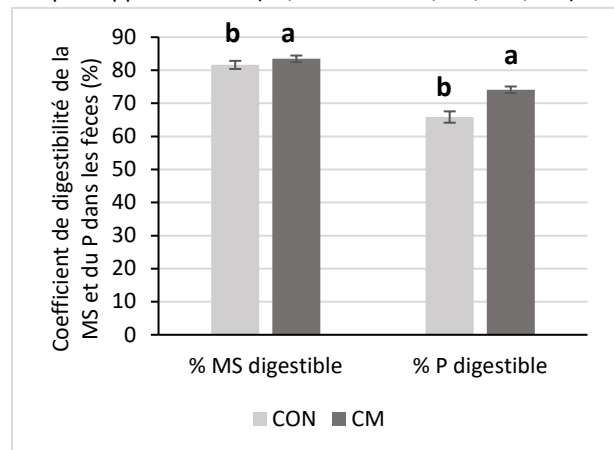


Figure 2 – Coefficient de digestibilité de la MS et du P dans les fèces (%).

Des lettres différentes indiquent une différence significative ($P < 0,05$).

CONCLUSION

En conclusion, la source de ZnO protégé par du magnésium a significativement amélioré l'efficacité alimentaire sur l'ensemble de la période post-sevrage par rapport au ZnSO₄. Cette amélioration des performances peut être, en partie, attribuée, à l'effet du ZnO protégé par du magnésium sur l'activité de la phosphatase alcaline intestinale et sur une meilleure valorisation des nutriments par les porcelets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bonaventura P., Benedetti G., Albarède F., Miossec P., 2015. Zinc and its role in immunity and inflammation. *Autoimmunity Reviews*, 14, 277-285.
- European Medicines Agency, 2017. Questions and answers on veterinary medicinal products containing zinc oxide to be administered orally to food-producing species. Londres, Royaume-Uni, 2 p.
- Schlegel P., 2010. Facteurs de variation de la biodisponibilité du zinc, ajouté sous forme organique ou inorganique, chez deux espèces monogastriques en croissance (poulet et porcelet). AgroparisTech, UMR Physiologie de la Nutrition et de l'Alimentation, Paris, France. 177 p.



Impact de deux sources de zinc sur les performances et la santé de porcelets légers ou normaux

Clara NEGRINI (1), Diana LUISE (1), Federico CORREA (1), Sara VIRDIS (1), Alessandra MONTEIRO (2), Paolo BOSI (1), Paolo TREVISI (1)

(1) Université de Bologne, DISTAL, 40127 Bologne, Italie

(2) Animine, 10 rue Léon Rey Grange, 74960 Annecy

clara.negrini2@unibo.it

Effects of two sources of zinc on growth performance and gut health of piglets with a low or normal birth weight

The aim of this study was to evaluate effects of two sources of Zn on performance and gut health in weaned piglets of low (LBW) and normal (NBW) birth body weight (BBW). At weaning (25 d of age, d0), 64 piglets were divided into 4 groups (8 replicates of 2 piglets/group): 1) LBW piglets fed 120 ppm of Zn from ZnSO₄, 2) NBW piglets fed 120 ppm of Zn from ZnSO₄, 3) LBW piglets fed 120 ppm of Zn from a potentiated Zn source HZ, and 4) NBW piglets fed 120 ppm of Zn from a potentiated Zn source HZ. On d9 and d21, one piglet/replicate was slaughtered, and colon content was collected for microbiota analysis, and pH of the jejunum, caecum and colon were measured. Piglets from the NBW group had consistently higher BW throughout the study ($P < 0.01$). The HZ treatment tended to improve the average daily gain from d0-d9 ($P = 0.07$) and d9-d14 ($P = 0.08$), and significantly influenced the gain-to-feed ratio (G:F) ($P < 0.05$) from d0-d9. The pH of the jejunum at day 21 in piglets fed ZnO was lower than that in piglets fed ZnSO₄ ($P = 0.02$). For Beta diversity, the Adonis test revealed that the BBW category tended to influence the microbial structure on d9 ($R^2 = 0.04$, $P = 0.07$) and significantly influenced the bacterial structure ($R^2 = 0.05$, $P = 0.03$) on d21. In conclusion, BBW is a good predictor for the weaning BW, and the two pig categories differ in their susceptibility to weaning stress. These results confirm how the use of HZ Zn significantly improved piglet efficiency in addition to their BBW category by sustaining gut fermentation.

INTRODUCTION

De plus en plus d'éleveurs se tournent vers des truies dites hyperprolifériques. Leurs portées, très hétérogènes, comportent des petits porcelets, avec une mortalité élevée (Quiniou *et al.*, 2002). Ces animaux légers présentent une altération de leurs défenses immunitaires, de l'absorption des nutriments et de la réponse au stress (Villagómez-Estrada *et al.*, 2022).

Le zinc (Zn) est un oligo-élément essentiel réputé pour ses effets positifs sur la santé des porcelets (Hu *et al.*, 2013). Il pourrait donc soutenir la croissance des porcelets légers. L'objectif de notre étude était de tester deux sources de Zn sur des porcelets avec différents poids de naissance.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

Les 64 porcelets de l'étude étaient issus de 13 truies multipares (2^e à 5^e portée). Les porcelets de chaque portée ont été pesés à la naissance et classés dans deux catégories : légers (PL) si leur poids était inférieur à 1 kg, normaux (PN) s'il était supérieur. Les poids relevés à cette période étaient en moyenne de $0,92 \pm 0,09$ kg pour les 32 PL et de $1,37 \pm 0,09$ kg pour les 32 PN. Ils n'ont pas reçu d'aliment solide jusqu'au sevrage, à 25 jours. Intra catégorie de poids, les porcelets ont été choisis de façon aléatoire.

Les porcelets ont été à nouveau pesés au sevrage, au début de l'essai. Les PL pesaient alors en moyenne $6,28 \pm 0,75$ kg et les PN $7,78 \pm 0,77$ kg. Les porcelets ont été répartis dans 32 cases en fonction de leur catégorie (PN ou PL), de leur portée et de leur poids au sevrage.

1.2. Aliments expérimentaux

Les aliments étaient composés d'orge, de tourteau de soja, de flocons de céréales (maïs et orge), de blé tendre et de maïs, et présentaient les valeurs nutritionnelles suivantes : 19% de protéines (PB), 3,74% de matières grasses (MG) et 1,35% de lysine totale. Ils étaient supplémentés avec 120 ppm Zn, apportés par un sulfate de Zn (ZnSO₄) ou par une source de Zn potentialisé (ZnO HiZox[®], HZ), avec 16 cases de 2 porcelets pour chaque source.

1.3. Mesures

Les poids ont été mesurés au sevrage (J0), et à J9, à J14 et J21 post sevrage. Les performances (vitesse de croissance, indice de conversion alimentaire) ont été calculées sur chaque période. Le score fécal a été évalué chaque jour sur l'ensemble des porcelets, avec une échelle de 1 (excréments durs) à 5 (excréments liquides). Les porcelets avec un score supérieur à 3 étaient considérés diarrhéiques. Le nombre de porcelets présentant de la diarrhée était comptabilisé et exprimé en pourcentage pour chaque période.

Dans chaque case, un porcelet a été abattu à J9 et le deuxième à J21. Le contenu du côlon a été collecté pour l'analyse du microbiote et l'évaluation des acides gras à chaîne courte (SCFA, *short chain fatty acids*), et le pH du jejunum, du caecum et du côlon a été mesuré. L'analyse des SCFA dans le caecum (acétate, propionate ; iso-butyrate ; butyrate ; valérate, isovalérate) a été réalisée par HPLC (IKA[®]-Werke GmbH & Co. KG, Staufen, Germany). Pour l'analyse du microbiote, l'extraction de l'ADN

bactérien du contenu du côlon a été réalisée à l'aide du kit FastDNA SPIN Kit for Soil (MP Biomedicals, Santa Ana, Californie, États-Unis) via RNA 16s, en suivant les instructions du fabricant.

1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel de statistiques R v3.6, avec les packages "car", "lm4" et "lsmeans". Un modèle linéaire mixte a été adopté, avec la source de Zn, la catégorie de poids et leur interaction comme facteurs fixes, et la portée comme un facteur aléatoire. Pour le pourcentage de porcelets diarrhéiques, le modèle était ajusté avec une loi de Poisson.

L'unité expérimentale était la case pour les performances de croissance avant J9, et le porcelet pour les performances après J9, ainsi que pour les autres mesures. Les différences étaient considérées significatives avec $P < 0,05$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les PN étaient significativement ($P < 0,01$) plus lourds que les PL pendant toute la durée de l'essai, avec une différence de 15% à 21 jours : 13,4 kg vs 11,4 kg. L'apport de HZ tendait à augmenter le gain de poids sur la période J0-9 et J9-14 ($P < 0,10$) et améliorait significativement l'indice de conversion alimentaire sur toutes les périodes évaluées ($P < 0,05$; Negrini *et al.*, 2023).

Le pH du jéjunum à j21 chez les porcelets ayant reçu HZ était inférieur à celui des porcelets nourris avec du ZnSO₄ (7,31 vs 7,58 ; $P = 0,02$). Dans le contenu du caecum (6,87 vs 6,91) et du colon (6,61 vs 6,78), le pH était numériquement inférieur pour le groupe HZ par rapport au groupe ZnSO₄ ($P = 0,10$). Une réduction du pH dans le contenu intestinal peut être associée à une augmentation de la production de SCFA. Dans une étude avec des dosages pharmacologiques de ZnO, Michiels *et al.* (2013) ont observé une réduction du pH du contenu du caecum,

qui a été associée à une concentration plus élevée en acétate. En accord avec ces résultats, malgré qu'aucun effet sur l'acétate n'ait pas été observé, le groupe HZ a montré une concentration d'isovalérate plus élevée et le lactate plus faible à celui des porcs nourris avec du ZnSO₄ (Tableau 1), que qui peut justifier le pH moins élevé dans ce groupe. Pour la catégorie de poids, malgré les concentrations les plus faibles en SCFA pour le groupe PN par rapport au PL ($P < 0,05$), le pH intestinal n'a pas été affecté par la catégorie de poids.

Pour la diversité bêta, la catégorie de poids avait tendance à affecter la diversité à j9 ($R^2 = 0,04$, $P = 0,07$) et l'affectait de manière significative à j21 ($R^2 = 0,05$, $P = 0,03$). En effet, la relation entre le microbiome intestinal et le poids corporel des porcelets a déjà été identifiée par certaines études (Luise *et al.*, 2021), suggérant que l'interaction entre la diversité bactérienne et l'hôte peut être affecté par le développement physiologique des porcelets quit, à son tour peut affecter son développement ultérieur. Bien que des études antérieures aient montré une meilleure modulation du microbiote lorsque HZ était utilisé comme alternative au ZnO standard (Vahjen *et al.*, 2016), nos résultats ne montrent pas d'effet du régime alimentaire sur ce paramètre.

CONCLUSION

Les résultats rapportés confirment l'impact à long terme du poids à la naissance sur la maturité physiologique des porcelets à travers son influence sur le poids au sevrage, impactant ainsi les performances et le microbiote intestinal. De plus, l'inclusion de 120 ppm d'HZ au lieu de la même dose de ZnSO₄ chez les porcs sevrés pourrait être considérée comme intéressante dans les stratégies visant à remplacer l'utilisation de niveaux pharmacologique de ZnO, avec un effet général sur l'efficacité alimentaire des porcs pendant la période de sevrage.

Tableau 1 - Effet de l'administration de zinc sur les SCFA et le lactate dans le contenu du côlon des porcelets en post-sevrage.

| mg/g | Régime | | SEM | P-value | Catégorie de poids | | SEM | P-value |
|----------------|-------------------|------|------|---------|--------------------|------|------|---------|
| | ZnSO ₄ | HZ | | | PL | PN | | |
| Jour 9 | | | | | | | | |
| Lactate | 0,47 | 0,84 | 0,34 | 0,450 | 0,38 | 0,93 | 0,34 | 0,250 |
| Acétate | 8,11 | 6,88 | 0,94 | 0,340 | 8,94 | 6,05 | 0,94 | 0,030 |
| Butyrate | 7,58 | 6,92 | 1,06 | 0,630 | 7,09 | 7,42 | 1,06 | 0,810 |
| Valérate | 2,10 | 2,15 | 0,08 | 0,600 | 2,21 | 2,04 | 0,08 | 0,090 |
| Jour 21 | | | | | | | | |
| Lactate | 1,17 | 0,52 | 0,47 | 0,040 | 1,13 | 0,56 | 0,48 | 0,060 |
| Acétate | 6,31 | 7,73 | 1,22 | 0,600 | 8,09 | 5,95 | 1,25 | 0,030 |
| Butyrate | 8,22 | 6,28 | 1,88 | 0,410 | 10,19 | 4,32 | 1,93 | 0,020 |
| Valérate | 2,00 | 2,00 | 0,04 | 0,060 | 2,07 | 1,93 | 0,04 | 0,001 |

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hu C.H., Xiao K., Song J., Luan Z.S., 2013. Effects of ZnO supported on zeolite on growth performance, intestinal microflora and permeability, and cytokines expression of weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 181, 65–71.
- Luise D., Scieillour M.L., Buchet A., Resmond R., Clement C., Rossignol M.-N., Jardet D., Zemb O., Bello C., Merlot E., 2021. The fecal microbiota of piglets during weaning transition and its association with piglet growth across various farm environments. *PLOS ONE*, 16, e0250655.
- Michiels J., Vos M.D., Missotten J., Ovyn A., Smet S.D., Ginneken C.V., 2013. Maturation of digestive function is retarded and plasma antioxidant capacity lowered in fully weaned low birth weight piglets. *Brit. J. Nutr.*, 109, 65–75.
- Negrini C., Luise D., Correa F., Amatucci L., Viridis, S., Roméo A., Monteiro A., Bosi P., Trevisi P., 2023. Impact de deux sources de zinc sur les performances et la santé de porcelets légers ou normaux. *Journées Recherche Porcine*, 55, 195-196.
- Quiniou N., Dagorn J., Gaudré D., 2002. Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livest. Prod. Sci.*, 78 (1), 63-70.
- Vahjen W., Romeo A., Zentek J., 2016. Impact of zinc oxide on the immediate postweaning colonization of enterobacteria in pigs. *J. Anim. Sci.*, 94:359–363.
- Villagómez-Estrada S., Pérez J.F., Melo-Durán D., Gonzalez-Solà F., D'Angelo M., Pérez-Cano F.J., Solà-Oriol D., 2022. Body weight of newborn and suckling piglets affects their intestinal gene expression, *J. Anim. Sci.*, 100 (6), 1-8.



Effet après sevrage d'une supplémentation en terres rares ou en oxyde de zinc dans un aliment porcelet 1^{er} âge

Jordi LENSINK (1), Iris VAN DEN BELT (1), Ashley SIJMONSBERGEN (1), Clément MOIRE (2), Ard VAN ENCKEVORT (1)

(1) Denkavit Nederland BV, Tolnegeweg 65, 3781 PV Voorthuizen, Pays-Bas

(2) Denkavit France SARL, ZI de Méron, 49260 Montreuil-Bellay, France

j.lensink@denkavit.nl

Effects after weaning of supplementation of rare earth minerals compared to zinc oxide in a piglet weaner diet

The prohibition of adding pharmaceutical zinc oxide (ZnO) to piglet feed in the European Union (EU) decreases zinc excretion to the environment but increases the risk of post-weaning diarrhoea. A new EU-authorized additive for weaned piglets called lanthanide citrate (LC) could help reduce this risk. To assess the additive's potential, a trial was conducted at the Denkavit Innovation Centre in which 420 piglets (weight 8.9 ± 1.56 kg) weaned at 27 days of age were divided among three treatments. The weaning diets fed until day 14 after weaning were A) a negative control (NC), B) NC + ZnO and C) NC + LC. Along with measuring performances until day 36 after weaning, concentrations of *Lactobacilli* in the faeces were measured on day 10 after weaning by qPCR. There was a significant effect on growth in the second week after weaning ($P < 0.001$) but only a trend for an effect on feed intake ($P = 0.065$), resulting in a significant effect on FCR ($P < 0.001$). Groups A and C had equivalent performances (growth: 395.3 and 417.2 g/d, respectively; FCR: 1.19 and 1.14, respectively), both of which were significantly better than those of group B (growth: 330.7 g/d, FCR: 1.33). In addition, groups A and C had significantly ($P < 0.001$) higher *Lactobacilli* concentrations (11.9 and 11.8 copies/g, respectively) than group B (11.1 copies/g) did. For faecal consistency, group A experienced more pens with loose/thin faeces than groups B and C did. Consequently, feeding a weaner diet with LC yielded better performance and safety after weaning than those of the two other groups and seems a promising alternative to ZnO.

INTRODUCTION

Afin de réduire les cas de diarrhée du porcelet en post-sevrage, l'oxyde de zinc à dose élevée (ZnO) a été longtemps utilisé à la dose de 2500 ppm de zinc. Cependant, l'Agence Européenne des Médicaments a conclu le 16 mars 2017 que la balance bénéfices-risques du ZnO était négative, est que l'intérêt présenté dans la diminution des diarrhées ne compensait pas les risques environnementaux. Une multitude d'alternatives ont ensuite été développées. L'une de ces alternatives est le Citrate de Lanthanide (CL). Il fait partie des terres rares, un groupe d'éléments naturellement présents dans tous les sols à des concentrations basses. Il est un cofacteur des alcool déshydrogénases, enzymes des bactéries consommatrices de méthane et méthanol (European Commission, 2020 ; Jahn *et al.*, 2018). Du fait de la stimulation de ces bactéries et l'inhibition de pathogènes, la santé intestinale des porcelets peut être améliorée (Wakabayashi *et al.*, 2016). En parallèle d'un effet sur la réduction des diarrhées, il a également été observé une amélioration des digestibilités et des performances zootechniques (Cai *et al.*, 2017 ; Xiong *et al.*, 2019). Ces études ayant été réalisées majoritairement hors-Europe, il s'avérerait important de réévaluer les effets du CL dans le contexte européen.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Schéma expérimental

Cet essai a été réalisé au Centre de Recherche et d'Innovation Denkavit (Voorthuizen-Pays-Bas). Dans cet essai, 420 porcelets

Topigs TN70 x DanBred Duroc ont été sevrés à 27 jours d'âge ($8,9 \pm 1,56$ kg). Les porcelets ont ensuite été répartis aléatoirement en trois groupes en post-sevrage (Tableau 1). Autant les mâles que les femelles ont été incorporés sans distinction dans cet essai et répartis équitablement entre les groupes. Les aliments 1^{er} âge expérimentaux ont été distribués pendant 14 jours après sevrage puis le même aliment 2^{ème} âge a été distribué dans les trois groupes jusqu'à 36 jours après sevrage.

Tableau 1: Composition des aliments comme analysés

| | Groupe A TN | Groupe B TN + ZnO | Groupe C TN + CL |
|-------------------|----------------|----------------------|---------------------|
| ZnO, ppm | - | 2500 | - |
| CL, ppm | - | - | 250 |
| Protéine brute, % | 18,3 | 18,1 | 18,1 |
| Matière grasse, % | 4,2 | 4,3 | 4,1 |
| Lysine, % | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| Energie, kcal/kg | 2410 | 2403 | 2409 |

TN = Témoin Négatif, ZnO = Oxyde de Zinc, CL = Citrate de Lanthanide

1.2. Mesures et analyses statistiques

Les poids des porcelets et les consommations d'aliment ont été enregistrés aux jours 8, 15 et 36 après sevrage. Des échantillons de fèces ont été collectés par case au jour 10 pour analyse de *Lactobacillus* par qPCR. La couleur et la consistance fécale ont été évaluées par case sur une échelle en quatre points aux jours 5, 8, 12 et 15 après sevrage. L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R (version 4.1.2). L'unité statistique était la case avec 6 porcelets par case et 23 cases par traitement.

Le modèle suivant a été utilisé pour analyse (ANCOVA) :

$$y = \mu + \text{Trt}_i + \text{BWO}_j + \text{Trt}_i \times \text{BWO}_{ij}$$

avec y comme variable de réponse, μ la moyenne, Trt_i les effet fixes des traitements, BWO_j l'effet du poids de départ en covariable et $\text{Trt}_i \times \text{BWO}_{ij}$ leur interaction. Les différences entre traitements ont été validées par un test DSH de Tukey. Les paramètres qualitatifs de couleur et consistance fécales ont été analysé par procédure GLM dans R (famille = binomial). Une P-value entre 0,05 et 0,1 a été considérée comme une tendance et une P-value en dessous de 0,05 comme une différence significative.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Début post-sevrage 0-15 jours

Les poids de sevrage des porcelets étaient en moyenne de 8,9, 8,8 et 9,0 kg respectivement pour les groupes A, B et C (figure 1). Au jour 15, soit à la fin de la distribution des différents aliments 1er âge, les poids différaient significativement ($P < 0,001$) en faveur des groupes A et C par rapport au groupe B. Considérant que la consommation d'aliment ne différait pas entre les groupes ($P > 0,065$), un effet significatif sur l'Indice de Consommation a pu être observé sur cette période (1,16^a vs 1,26^b vs 1,11^a respectivement ; $P < 0,001$).

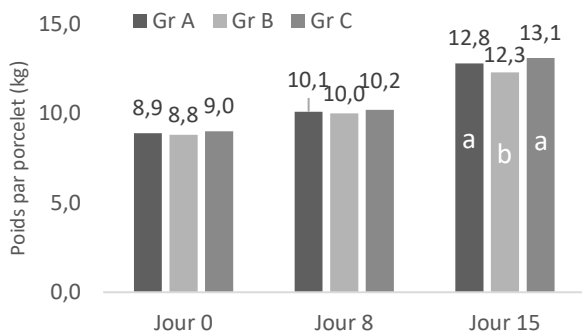


Figure 1 – Poids moyen des porcelets aux jours 0, 8 et 15 après sevrage suivant le groupe¹ de traitement

¹ Des lettres différentes indiquent une différence significative

La concentration en *Lactobacillus* était significativement plus élevée pour les groupes A et C que le groupe B (11,9^a vs 11,1^b vs 11,8^a copies/g ; $P < 0,001$). Le nombre de cas présentant des fèces molles – molles/liquides dans le groupe B était significativement plus faible que dans le groupe A aux jours 5 ($P = 0,048$) et 8 après sevrage ($P = 0,081$), et ne différait pas significativement du groupe C (Figure 2). D'autre part, une tendance a pu être mise en évidence sur la couleur des fèces avec moins de cas présentant des fèces gris/gris-claires dans le groupe C par rapport au groupe A ($P = 0,064$).

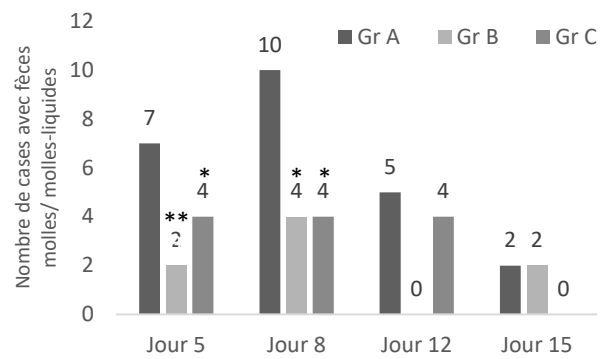


Figure 2 – Nombre de cas présentant des fèces molles/molle-liquides aux jours 5, 8, 12 et 15 après sevrage suivant le groupe¹ de traitement

¹ Des astérisques indiquent une différence significative^{**} ou une tendance^{*}

2.2. Fin post-sevrage 16-36 jours

Aucune différence significative sur les poids finaux n'a pu être mis en évidence entre les trois groupes (27,3 kg vs. 26,8 kg et 27,3 kg respectivement pour les groupes A, B et C ; $P = 0,187$). Un phénomène de compensation pour le groupe B s'est traduit par une meilleure croissance bien que non-significative ($P = 0,849$). Combiné à une absence de différence significative sur la consommation d'aliment, une différence légère mais significative a été observée sur l'indice de consommation pour le groupe B par rapport aux groupes A et C (1,33 vs 1,29 vs 1,35 pour les groupes A, B et C respectivement, $P = 0,003$).

CONCLUSION

De manière générale, assez peu d'occurrence de diarrhées en post-sevrage sont relevées dans cet élevage. Les effets observés dans cet essai sont ainsi représentatifs d'élevages présentant de bonnes conditions sanitaires. CL stimule le développement de bactéries bénéfiques tout en inhibant le développement des pathogènes (Xiong *et al.*, 2019), tandis que ZnO peut être considéré comme un inhibiteur bactérien général. La concentration en *Lactobacillus* n'a pas été diminuée par la supplémentation en CL par rapport au TN dans cet essai, contrairement à la supplémentation en ZnO. Ceci pourrait expliquer que les performances globales ont été meilleures dans les groupes TN et CL par rapport au groupe ZnO. D'autre part, la sécurité digestive, illustrée par les scores fécaux, a été améliorée avec une supplémentation tant en ZnO qu'en CL. En d'autres termes, en l'absence de ZnO il apparaît bénéfique de supplémenter l'aliment de post-sevrage avec CL afin d'améliorer les scores fécaux, la supplémentation en CL permettant également une optimisation des performances. Le citrate de lanthanide peut ainsi apparaître en alternative prometteuse au ZnO à des doses pharmaceutiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cai L., Nyachoti C.M., Kim I.H., 2018. Impact of rare earth element-enriched yeast on growth performance, nutrients digestibility, blood profile, and fecal microflora in finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 98, 347-353.
- European Commission, 2020. Concerning the authorization of a preparation of lanthanide citrate as a feed additive for weaned piglets.
- Jahn B., Pol A., Lumpe H., Barends T.R.M., Diel A., Hogendoorn C., Op den Camp H.J.M., Daumann L.J., 2018. Similar but not the same: first kinetic and structural analyses of a methanol dehydrogenase containing a Europium ion in the active site. *ChemBioChem*, 19(11), 1147-1153.
- Lumpe H., Pol A., Op den Camp H.J.M., Daumann L.J., 2018. Impact of the lanthanide contraction on the activity of a lanthanide-dependent methanol dehydrogenase – a kinetic and DFT study. *Dalton Transactions*, 47(31), 10463-10472.
- Wakabayashi T., Ymamoto A., Kazaana A., Y. Nakano, Nojiri Y. and Kashiwazaki M., 2016. Antibacterial, antifungal and nematicidal activities of rare earth ions. *Biol. Tr. El. Res*, 174, 464-470.
- Xiong Y., Pang J., Lv L., Wu Y., Li N., Huang S., Feng Z., Ren Y., Wang J., 2019. Effects of maternal supplementation with rare earth elements during late gestation and lactation on performances, health, and fecal microbiota of the sows and their offspring. *Animals*, 9(10), 738.



Effet d'une stratégie nutritionnelle alternative à l'utilisation d'oxyde de zinc à dose pharmacologique sur les performances et la santé du porcelet sevré

Arnaud SAMSON (1), Fabien GUILLARD (2), Emmanuel JANVIER (2)

(1) ADM, Rue de l'Église, 02402 Château-Thierry Cedex, France

(2) ADM, Route de Talhouët, 56250 Saint-Nolff, France

Emmanuel.Janvier@adm.com

Effects of a nutritional strategy on growth performance and health in weaned piglets compared to the use of zinc oxide at pharmacological level

Zinc oxide (ZnO) used at a pharmacological dose is recognized for its ability to improve the growth performance and health in weaned piglets. Nevertheless, as it is now prohibited in the European Union, alternative solutions must be found to help farmers sustain their technical and economic performance. A total of 216 piglets weaned at 21 days (d21) and fed *ad libitum* were allocated into three experimental groups. The experimental treatment, applied over the entire post-weaning period (d21-d69), consisted in a common nutritional diet supplemented with one of the three nutritional solutions: 150 ppm of zinc (Zn) as ZnO (NC) vs. 2500 ppm of Zn as ZnO from d21 to d35 and then 150 ppm of Zn as ZnO (ZnO) vs. 150 ppm of Zn plus a blend of active compounds (organic acids and plant bioactives; Alternative). From d21 to d69, the NC piglets grew significantly slower (-32 g/d on average, $P = 0.02$) and were thus significantly lighter on d69 (-1.6 kg, $P = 0.01$) than those in the other two groups. Growth performance of the ZnO and Alternative groups did not differ significantly. Feed efficiency and piglet mortality for the entire post-weaning period were not influenced by the dietary treatment ($P > 0.05$). Liquid faeces were observed more frequently in the NC group than in the ZnO group, with the Alternative group being intermediate. Thus, using a blend of active compounds can help maintain the growth performance in weaned piglets when pharmacological ZnO is removed, while decreasing the occurrence of digestive disorders.

INTRODUCTION

Les désordres digestifs sont fréquents chez le porcelet autour du sevrage et des stratégies nutritionnelles peuvent être proposées pour réduire leur fréquence et sévérité. L'oxyde de zinc (ZnO) a donc longtemps été utilisé à dose pharmacologique pour contrôler les problèmes digestifs chez les porcelets sevrés. Néanmoins, le recours à cette stratégie est interdit dans l'Union Européenne depuis Juin 2022 et des solutions alternatives doivent donc être proposées. Parmi les ingrédients d'intérêt, les extraits de plantes (Liu *et al.*, 2013) ou encore les acides organiques (Ferronato et Prandini, 2020) ont déjà démontré leur efficacité dans la prévention de la diarrhée, infectieuse ou non, chez le porcelet sevré. Afin d'offrir une alternative efficace, il paraît intéressant de réfléchir à la formulation d'une solution intégrant plusieurs ingrédients ayant des modes d'action complémentaires voire synergiques (Bonetti *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude était donc d'évaluer l'effet d'une stratégie nutritionnelle basée sur une utilisation conjointe d'oxyde de zinc (ZnO) à dose nutritionnelle et d'un mélange de principes actifs sur les performances et la santé du porcelet sevré en comparaison avec l'oxyde de zinc utilisé à dose pharmacologique.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et logement

L'essai s'est déroulé au Talhouët Research Center d'ADM (Saint-Nolff, Morbihan). Au total, 216 porcelets d'environ $5,9 \pm 1,0$ kg ont été mis en lots à 21 jours d'âge (j21) sur la base de leur poids vif (PV), de leur portée d'origine et de leur sexe afin de constituer 12 blocs de trois cases mixtes. Pour chaque case, les six porcelets disposaient d'une surface de 3,1 m², d'un nourrisseur et d'un abreuvoir.

1.2. Schéma expérimental et alimentation

Au total, trois groupes expérimentaux ont été comparés sur la globalité de la période de post-sevrage (j21-j69). Le traitement expérimental consistait en une base alimentaire commune supplémentée avec une des trois solutions nutritionnelles : i) Témoin, 150 ppm de zinc (Zn) sous forme de ZnO de j21 à j69 ; ii) ZnO, 2500 ppm de Zn sous forme de ZnO de j21 à j35 puis 150 ppm de Zn sous forme de ZnO ; iii) Alternative, 150 ppm de Zn sous forme de ZnO de j21 à j69 auxquels un mélange d'actifs était ajouté (acides organiques, en particulier des acides gras à chaînes courtes et moyennes, libres et estérifiés et des bioactifs végétaux, les principaux correspondant à de l'oléorésine de capsicum, de l'eugénol et propyl-propane-thiosulfinate). La base alimentaire commune à l'ensemble des animaux

s'appuyait sur une stratégie biphasée avec un premier aliment distribué les deux premières semaines (10,4 MJ/kg d'énergie nette et 20,0% de protéine brute) puis un second offert jusqu'à la fin de la période expérimentale (9,7 MJ/kg d'énergie nette et 18,1% de protéine brute). Les animaux étaient alimentés *ad libitum* sur l'intégralité de la période expérimentale.

1.3. Mesures, calculs et analyses statistiques

Les porcelets ont été pesés individuellement à 21, 35 et 69 jours d'âge. Les consommations d'aliments par case ont été calculées par mesure des quantités distribuées et refusées lors de chaque pesée des porcelets. Ces données de poids individuel et de consommation collective ont permis de calculer à l'échelle de la case le poids vif moyen des porcelets, le gain moyen quotidien (GMQ), la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) pour les différentes périodes. Pour les cases concernées par de la mortalité, l'animal était pesé le jour de sa mort tout comme l'aliment refusé afin d'intégrer l'évolution de l'effectif par case dans le calcul de la CMJ. Des notations de la consistance des déjections (score fécal ; 0 : absence, 1 : moulu, 2 : bouse, 3 : liquide) ont été réalisées de façon journalière sur l'intégralité de la période j21-j42 à l'échelle de la case.

Pour l'ensemble des paramètres considérés dans cette étude, l'unité expérimentale retenue était la case. Les données de performances ont été analysées selon un dispositif complet randomisé (modèle linéaire ; logiciel R, v4.0.3). Le modèle incluait l'effet fixe du traitement alimentaire, le poids moyen de la case à j21 comme covariable et l'interaction. Lorsque l'effet du régime était significatif ($P < 0,05$), les moyennes ont été comparées deux à deux grâce au test de Tukey.

L'effet du traitement sur la fréquence de notes de fèces liquides a été étudié grâce à un test de χ^2 .

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Seuls deux porcelets sont morts dans le groupe Alternative au cours de la période expérimentale. Aucun autre événement sanitaire imposant un traitement médicamenteux n'a été observé pendant la période expérimentale. Sur la globalité de la période de post-sevrage (j21-j69), la supplémentation en ZnO augmentait significativement la prise alimentaire des porcelets comparativement aux animaux du groupe Témoin (+53 g/j, $P = 0,01$). La vitesse de croissance des porcelets du groupe Témoin, quant à elle, était inférieure à celle enregistrée en moyenne pour les animaux des deux autres groupes (-32 g/j en moyenne, $P = 0,02$). Aucune différence de croissance n'était observée entre les animaux ayant reçu le ZnO à dose pharmacologique et ceux ayant reçu la solution nutritionnelle alternative (Tableau 1). Les porcelets ayant reçu l'aliment Témoin étaient plus légers à 69 j comparativement aux autres animaux (respectivement 29,2 vs. 30,8 kg, $P = 0,01$). L'indice de consommation ne différait pas significativement entre les trois groupes expérimentaux ($P > 0,10$). Les scores fécaux indiquaient que sur les périodes j21-j35 et j35-j42, la fréquence de fèces liquides variait significativement d'un groupe à l'autre. Par exemple, 18,1 % des notes attribuées pendant les deux premières semaines correspondaient à des fèces liquides pour le groupe Témoin alors qu'aucune note liquide n'était relevée pour le groupe ZnO ($P = 0,04$). La fréquence de la note liquide enregistrée pour le groupe Alternative était intermédiaire avec 8,3% de notes liquides. La même hiérarchie était observée sur la période j35-j42.

Tableau 1 – Effet de la supplémentation sur les performances des porcelets et le score fécal

| Groupe expérimental | Témoin | ZnO | Alternative | Statistiques ¹ | |
|--|--------|--------|-------------|---------------------------|----------|
| | | | | ETR | P |
| Nombre de cases | 12 | 12 | 12 | | |
| Performances entre j21 et j69 | | | | | |
| Poids vif à 21j, kg | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 0,2 | ns |
| Poids vif à 69j, kg | 29,2 b | 30,9 a | 30,6 a | 1,4 | 0,01 |
| Vitesse de croissance, g/j | 476 b | 511 a | 505 a | 29 | 0,02 |
| Consommation, g/j | 651 b | 704 a | 688 ab | 43 | 0,01 |
| Indice de consommation, g/g | 1,37 | 1,38 | 1,36 | 0,04 | ns |
| Score fécal | | | | | |
| Notes de fèces liquides j21-j35, % des notes | 18,1 | 0,0 | 8,3 | - | 0,04 |
| Notes de fèces liquides j35-j42, % des notes | 28,3 | 3,3 | 13,3 | - | < 0,0001 |

¹ETR : Écart type résiduel ; P correspond à la probabilité de l'effet de la supplémentation ; ns = non significatif (P -value > 0,10).

CONCLUSION

Conformément aux données de la littérature, nos résultats confirment l'efficacité du ZnO à dose pharmacologique dans la prévention des troubles intestinaux, associée à une

amélioration des performances de croissance. Cette étude a aussi confirmé que l'utilisation d'une combinaison d'actifs complémentaires pouvait permettre de maintenir les performances de croissance des porcelets sevrés dans le cadre d'un retrait de ZnO à dose pharmacologique tout en limitant l'apparition de problèmes digestifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bonetti A., Tugnoli B., Piva A., Grilli E., 2021. Towards zero zinc oxide: feeding strategies to manage post-weaning diarrhea in piglets. *Animal*, 11(3), 642.
- Ferronato G., Prandini A., 2020. Dietary supplementation of inorganic, organic, and fatty acids in pig: A review. *Animals* 10:1–27.
- Liu Y., Song M., Che T.M., Almeida J.A.S., Lee J.J., Bravo D., Maddox C.W., Pettigrew J.E., 2013. Dietary plant extracts alleviate diarrhea and alter immune responses of weaned pigs experimentally infected with a pathogenic *Escherichia coli*. *J. Anim. Sci.*, 91, 5294-5306.



Une association à surveiller : étude de l'interaction entre Isoflavones et Zéaralénone chez le porcelet

Barbara NOVAK (1), Dino GRGIC (2,3), Elisabeth VARGA (2), Doris MARKO (2), Laure ROUXEL (4), Barbara DOUPOVEC (1), Dian SCHATZMAYR (1)

(1) dsm-firmenich, Animal Nutrition and Health R&D Center, Tulln, Autriche

(2) Department of Food Chemistry and Toxicology, Faculty of Chemistry, University of Vienna, Autriche

(3) Doctoral School in Chemistry, University of Vienna, Autriche

(4) dsm-firmenich, ANH Nutritional Products, France

laure.rouxel@dsm.com

The troubling tandem: investigating the interaction of isoflavones and zearalenone on weaning piglets

Isoflavones (ISF) such as daidzein (DAI) and genistein (GEN) as well as their glycosides occur frequently in feed samples, mainly due to the increasing addition of soy. Due to the structural similarity of ISF with 17 β -estradiol, their influence on endocrine activity in humans and animals is discussed and depends on the dose and exposure. Furthermore, ISF co-occur commonly with the *Fusarium* mycotoxin zearalenone (ZEN), which is known to interfere with both oestrogen receptors (ER α and ER β) and thus have negative effects on the reproductive system. In this study, we investigated effects of an ISF-rich diet alone (targeted 20 mg/kg DAI and GEN plus 200 mg/kg glycosides), a ZEN-diet (targeted 0.9 mg/kg) and a combined diet (ISF+ZEN) on clinical effects in 40 female weaning piglets fed for 15 days. We also included one group receiving a specific ZEN-degrading enzyme (ENZ, 40 U/kg) to the ISF+ZEN group to assess whether the negative effects of ZEN were counteracted. As a control, a special feed mixture without soy was used. Dietary ZEN led to a significant increase in vulva area ($P = 0.0167$) and uterus weight ($P = 0.0051$) compared to those of the control diet. Also, the combination of ISF+ZEN significantly increased the vulva area ($P = 0.0101$) but resulted in an even higher uterus weight than ZEN alone ($P = 0.0004$). ISF alone had no effect on the parameters measured. When ENZ was added to the ISF+ZEN diet, no more clinical effects were observed. The investigation of synergistic effects of both compound groups on the reproductive system of animals, as well as the exploration of counterstrategies, holds significant interest due to the frequent co-occurrence in animal feed.

INTRODUCTION

Les isoflavones (ISF) sont des métabolites secondaires de plantes, caractérisées par une similarité structurelle et fonctionnelle avec l'hormone œstrogène 17 β -estradiol (Grgic *et al.*, 2021), d'où leur classification en phytoœstrogènes. On les trouve en fortes concentrations dans le soja et le trèfle rouge, deux plantes couramment utilisées comme compléments alimentaires. Les principales isoflavones sont la daïdzéine (DAI), la génistéine (GEN) et leurs glycosides, la daïdzine et la génistine. En outre, des mycotoxines à activité œstrogénique bien décrite, telle que la zéaralénone (ZEN), sont retrouvées avec les ISF en alimentation animale (Grgic *et al.*, 2021).

Cette étude a pour objectif l'évaluation des effets endocriniens des ISF sur les paramètres cliniques de porcelets femelles, ainsi que leurs effets combinés possibles avec la ZEN. En parallèle, l'intérêt d'une enzyme recombinante purifiée capable de dégrader la ZEN en un métabolite non toxique et non œstrogène (ENZ) (Fruhauf *et al.*, 2019) a été mesuré.

Cet essai a été approuvé par l'autorité autrichienne d'éthique sous le numéro d'autorisation LF1-TVG-57/032-2022.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Quarante porcelets femelles de génotype autrichien Ö-HYB-F1 [(Landrace x Large White) x Pietrain] (Age moyen \pm écart-type : 27,55 \pm 0,88 jours) ont été répartis en cinq groupes : Témoin, ZEN, ISF, ISF + ZEN et ISF + ZEN + ENZ (ZENzyme[®], zéaralénone hydrolase recombinante purifiée, 40 U/kg) (Tableau 1 : détail des concentrations en ISF et ZEN, mesurées par LC-MS/MS).

Après cinq jours d'acclimatation, les animaux ont été nourris avec leur régime respectif pendant 15 jours. Les aliments ne contenaient pas de soja, remplacé par des protéines de pomme de terre, de la levure et de la poudre d'œuf comme sources de protéines. La longueur et la largeur de la vulve ont été mesurées à J8 et J15. A la fin de l'étude, les animaux ont été euthanasiés et l'utérus a été pesé.

1.2. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel GraphPad Prism (version 9.1.0, Boston, Massachusetts USA). Toutes les données étant normalement distribuées (test de Shapiro-Wilk, $P > 0,05$), une ANOVA à un facteur (test de comparaisons multiples de Dunnett) a été réalisée (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$).

Tableau 1 - Concentrations dans les aliments

| Groupe | ZEN (mg/kg) | DAI (mg/kg) | GEN (mg/kg) | Daidzine (mg/kg) | Génistéine (mg/kg) |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|------------------|--------------------|
| Témoin | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| ZEN | 1,013 ± 88 | < LQ | < LQ | < LQ | < LQ |
| ISF | < LQ | 25,0 ± 3 | 19,4 ± 2 | 126,6 ± 3 | 151,1 ± 10 |
| ISF + ZEN | 0,740 ± 68 | 25,6 ± 2 | 18,7 ± 4 | 125,2 ± 6 | 155,2 ± 7 |
| ISF + ZEN + ENZ | 0,643 ± 18 | 23,6 ± 2 | 12,3 ± 1 | 123,8 ± 9 | 159,4 ± 13 |

< LQ = inférieur aux limites de quantification. ZEN = zéaralénone, DAI = daidzéine, GEN = génistéine, Moyenne et écart-type, n = 3

2. RESULTATS & DISCUSSION

A J8 et J15, les largeurs et longueurs des vulves ont été mesurées. A J8, aucune différence significative n'est constatée. A J15, la surface de la vulve est significativement augmentée dans les groupes ZEN et ISF + ZEN ($P = 0,0167$ et $P = 0,0101$, respectivement) (Figure 1). Une réduction numérique de la surface de la vulve est observée dans le groupe ISF + ZEN + ENZ par rapport aux groupes ZEN et ISF + ZEN.

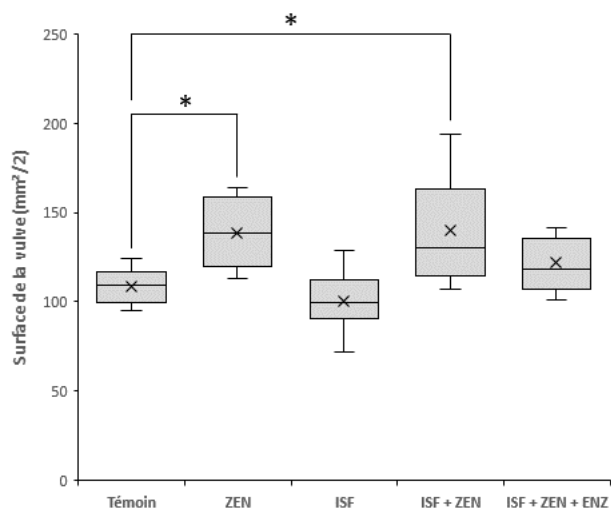


Figure 1 – Incidence des régimes respectifs sur la surface de la vulve ($\text{mm}^2/2$) en comparaison avec le Témoin à J15 (* $P < 0,05$)

Après euthanasie à J15, l'utérus a été retiré, pesé et son poids a été rapporté au poids corporel (PC) de chaque animal (Figure 2). La différence de poids de l'utérus entre le groupe Témoin et le groupe ISF + ZEN est plus significative ($P = 0,0004$) qu'entre le groupe Témoin et le groupe ZEN ($P = 0,0051$). Le régime ISF n'a induit aucun changement au cours de cet essai. En ajoutant ENZ au régime ISF + ZEN, aucun effet clinique n'a plus été constaté. On peut en conclure que l'enzyme a dégradé la mycotoxine ZEN et ainsi contrecarré ses effets négatifs.

Les impacts distincts de ZEN, ISF et ISF + ZEN pourraient être dus

aux différentes affinités de ZEN et ISF pour les récepteurs d'œstrogènes ER α et ER β , comme l'a mis en évidence une publication récente de Grgic *et al.* (2022).

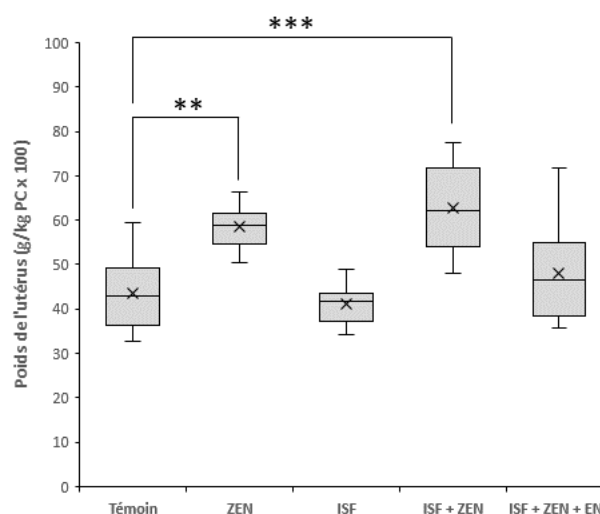


Figure 2 – Incidence des régimes respectifs sur le poids de l'utérus ($\text{g/kg PC} \times 100$) en comparaison avec le Témoin à J15 (** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$)

CONCLUSION

La co-occurrence de fortes concentrations d'ISF et de concentrations marquées de ZEN peut être retrouvée dans les échantillons d'aliments pour animaux. Il est donc pertinent d'étudier leurs effets combinés possibles.

La ZEN, à concentration élevée, a eu un effet significatif sur l'élargissement de la vulve et l'augmentation du poids de l'utérus. Les ISF seules n'ont pas eu d'effet. Des travaux complémentaires en cours doivent permettre de mieux appréhender les impacts sur les animaux de ZEN et ISF en co-contamination. Ceux-ci pourraient dépendre fortement de la dose d'ISF, de la durée d'exposition et de l'espèce (Grgic *et al.*, 2021). Dans notre étude, l'enzyme ENZ a pu contrecarrer tous les symptômes cliniques négatifs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fruhauf S., Novak B., Nagl V., Hackl M., Hartinger D., Rainer V., Labudova S., Adam G., Aleschko M., Moll W., Thamhesl M., Grenier B., 2019. Biotransformation of the mycotoxin ZENralenone to its metabolites hydrolyzed ZENralenone (HZEN) & decarboxylated hydrolyzed ZENralenone (DHZEN) diminishes its estrogenicity in vitro and in vivo. *Toxins*, 11, 481.
- Grgic D., Varga E., Novak B., Müller A., Marko D., 2021. Isoflavones in animals: Metabolism, effects in livestock & occurrence in feed. *Toxins*, 13, 836.
- Grgic D., Betschler A., Frühholz R., Novak B., Varga E., Marko D., 2022. Estrogenic in vitro evaluation of ZENralenone & its phase I and II metabolites in combination with isoflavones. *Archiv. of Toxicol.*, 96, 3385–3402.



Une source de vitamine D à base de plantes améliore la performance des porcelets recevant un aliment de démarrage faible en calcium

Luca MARCHETTI (1), Kathrin BÜHLER (2), Riccardo LOSA (2), Katia PEDROSA (2), Raffaella REBUCCI (1), Caterina PIANTONI (1), Elena RUGGERI (1), Valentino BONTEMPO (1)

(1) Université de Milan, Département de Médecine Vétérinaire et des Sciences Animales, Lodi, Italie

(2) Herbonis Animal Health GmbH, Rheinstrasse 30, 4302 Augst, Suisse

k.buehler@herbonis.com

Avec la collaboration de Valentin Bertholomey, feed-consult (analyse statistique)

A herbal vitamin D source improves the performance of piglets fed low-calcium starter diets

Weaning is a stressful period for piglets that can negatively affect their performance. Plants contain a variety of secondary metabolites that act as antioxidants or anti-inflammatory agents that can support piglets after weaning. In a trial with 192 crossbred Topigs weaned at 27 days of age, effects of *Solanum glaucophyllum* (SG) alone or in combination with a mixture of essential oils (EO) on the performance of weaning pigs fed calcium (Ca)-reduced diets was tested. The piglets were kept in 48 pens and fed one of four diets for 35 days, with a prestarter diet from d0-14 and a starter diet from d14-35: control (PC), a standard diet; negative control (NC), diet with reduced Ca and phosphorus; NC supplemented with SG (SG) and NC supplemented with SG and EO (SG+). Individual and pen body weight were measured on d0, d14, and d35, and pen feed intake was measured on d14 and d35. Body weight and daily weight gain did not differ among the treatments. In the prestarter period, SG had the lowest FCR (1.539 ± 0.127 ; $p < 0.05$). In the starter period, the FCR of NC (1.455 ± 0.144) was significantly ($p < 0.05$) higher than that of SG+ (1.297 ± 0.195), while the FCR of the two other diets was intermediate. The results indicate a better feed use in diets with lower dietary Ca. Adding SG alone had a strong effect on post-weaning performance, while combining SG and EO showed minor synergies. Additional analysis to better understand the underlying mechanisms is currently underway.

INTRODUCTION

Pour aider les porcelets à mieux supporter le stress du sevrage, diverses mesures nutritionnelles sont appliquées. Celles-ci comprennent une réduction du calcium (Ca) afin de diminuer le pouvoir tampon des régimes alimentaires. D'autre part, le stress provoque une inflammation qui affecte la santé intestinale. Par conséquent, différents ingrédients anti-inflammatoires tels que les huiles essentielles (HE) sont utilisés dans les régimes de sevrage. Le Ca est important pour le métabolisme osseux et une réduction du Ca alimentaire peut augmenter le risque de problèmes osseux pendant la phase d'engraissement. Le $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, la forme active de la vitamine D, joue un rôle clé dans le métabolisme du Ca. De plus, il a été démontré que le $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ a des effets immunomodulateurs et anti-inflammatoires (Álvarez-Delgado *et al.*, 2023). Par conséquent, le but de cette étude était de tester si 1) l'inclusion de *Solanum glaucophyllum*, une source naturelle de $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ -glycosides (G- $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$), pouvait maintenir la santé des os et l'intégrité intestinale des porcelets sevrés nourris avec un régime réduit en Ca et 2) si la combinaison de G- $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ avec un mélange d'HE présente un avantage supplémentaire pour la santé intestinale. Dans ce résumé, seules les données de performances sont présentées.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux et traitements

Au total, 192 porcelets Topigs croisés de la même ferme (93 ♀, 99 ♂) séparés en deux bandes successives ont été répartis au hasard en fonction de leur poids corporel au sevrage (27 j) à l'un des quatre traitements suivants : **TP**, témoin positif avec une teneur standard en Ca ; **TN**, témoin négatif avec une teneur réduite en Ca ; **SG**, régime TN additionné de $1,0 \mu\text{g}/\text{kg}$ de G- $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$; et **SG+**, régime SG additionné de $120 \text{mg}/\text{kg}$ d'un mélange d'HE. Il y avait 6 répétitions d'enclos de 4 porcelets par traitement et par groupe. Au 14^{ème} jour, un porcelet par enclos a été sacrifié pour prendre des échantillons intestinal (données non présentées).

1.2. Aliment et mesures

Les porcelets ont été nourris avec un régime de 1^{er} âge jusqu'à 14 jours après le sevrage et un régime 2^{ème} âge jusqu'à l'âge de 62 jours (35 jours après le sevrage). Le régime de base était constitué de céréales-orge-blé extrudé-lactosérum-soja et était conforme aux recommandations alimentaires à l'exception du Ca dans le régime TN (Tableau 1). Tous les régimes contenaient

de la vitamine D, de la phytase, des probiotiques et des acides organiques. Les traitements SG ont été complétés avec 100 mg/kg de Panbonis® (Herbonis Animal Health GmbH, Suisse), fournissant 1 µg de G-1,25(OH)₂D₃ par kg d'aliment. Le traitement SG+ a en outre été complété par 120 mg/kg d'un mélange expérimental (composition encore confidentielle pour l'instant) de différentes HE. Le poids corporel individuel et celui de l'enclos ont été mesurés à 0, 14 et 35 jours de l'expérience. La consommation alimentaire par enclos a été mesurée à 14 et 35 jours.

Tableau 1 - Teneurs calculées en éléments nutritifs des régimes de base (% , sauf indication contraire)

| | 1 ^{er} âge | 2 ^{ème} âge |
|------------------------------|---------------------|----------------------|
| Énergie nette, MJ/kg | 10,4 | 10,2 |
| Protéine brute | 17,0 | 16,8 |
| Lysine digestible | 1,26 | 1,22 |
| Calcium (TP/TN) | 0,60/0,45 | 0,75/0,55 |
| Phosphore disponible (TP/TN) | 0,48/0,34 | 0,59/0,40 |
| Vitamine D, IU/kg | 2000 | |
| Phytase, OTU/kg | 705 | |

1.3. Analyses statistiques

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écart type. L'ANOVA two-way sur TRAITEMENT et STADE a été utilisée pour toutes les analyses statistiques non cumulatives (mesurées par stade). Les variables cumulatives (calculées pour la période totale) ont été calculer avec une ANOVA one-

way sur TRAITEMENT pour la fin de l'essai (R, 4.1.3). Pour l'analyse croisée des enclos, GROUPE et ENCLOS ont été inclus dans le modèle. Pour l'analyse individuelle, les ID PORCELET imbriqués dans ENCLOS et GROUPE ont été inclus. Le niveau des différences significatives a été fixé à $P \leq 0,05$. En cas de signification un test de Tukey a été réalisé pour différencier les traitements.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La teneur en Ca de l'aliment était proche des valeurs calculées (1^{er} âge : 0,67/0,48 % ; 2^{ème} âge : 0,82/0,56 %). La santé globale des porcelets était bonne. Trois porcelets sont morts (2x SG, 1x SG+) d'une infection à *Streptococcus suis*. Il n'y avait aucun effet du traitement sur le poids corporel intermédiaire ou final ($P = 0,912$), ni sur la prise de poids quotidienne ($P = 0,176$). La consommation alimentaire quotidienne cumulée par enclos ne différait pas significativement entre les traitements ($P = 0,077$), tout comme la consommation alimentaire quotidienne par période ($P = 0,228$). Un effet du traitement et une interaction traitement x stade ($P \leq 0,001$) sur l'IC ont été observés. En 1^{er} âge, le témoin SG a montré un IC significativement meilleur que les autres témoins. Dans le 2^{ème} âge, TN était significativement plus élevé que SG+ avec les traitements TP et SG intermédiaires (Tableau 2). L'homogénéité (CV) des porcelets à la fin de l'essai était de 18,1 %, 15,9 %, 14,2 % et 13,3 % pour les témoins TP, TN, SG et SG+, respectivement.

Tableau 2 - Données de performances des traitements expérimentaux¹

| | TP | TN | SG | SG+ | P-value ² |
|---|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| Poids vif individuel, kg | | | | | |
| Au sevrage (27 j) | 6,79 ± 0,77 | 6,79 ± 0,85 | 6,79 ± 0,81 | 6,79 ± 0,97 | 0,912 ³ |
| A la fin du 1 ^{er} âge (41 j) | 9,63 ± 1,41 | 9,81 ± 1,47 | 9,80 ± 1,11 | 9,71 ± 1,41 | |
| A la fin de l'essai (62 j) | 20,02 ± 3,31 | 21,21 ± 2,67 | 21,04 ± 2,99 | 20,35 ± 2,70 | |
| GMQ individuel, g/j/porcelet | | | | | |
| 1 ^{er} âge | 203 ± 79 | 220 ± 67 | 220 ± 74 | 209 ± 74 | 0,176 ³ |
| 2 ^{ème} âge | 483 ± 121 | 536 ± 84 | 535 ± 95 | 494 ± 71 | |
| Global | 371 ± 94 | 413 ± 66 | 406 ± 84 | 382 ± 63 | 0,091 |
| Consommation de l'enclos, kg/j⁴ | | | | | |
| 1 ^{er} âge, 4 porcelets/enclos | 1,52 ± 0,18 | 1,54 ± 0,24 | 1,40 ± 0,30 | 1,48 ± 0,06 | 0,228 ³ |
| 2 ^{ème} âge, 3 porcelets/enclos | 2,05 ± 0,39 | 2,25 ± 0,26 | 2,13 ± 0,46 | 1,99 ± 0,35 | |
| Global | 1,85 ± 0,25 | 1,95 ± 0,21 | 1,65 ± 0,52 | 1,79 ± 0,26 | 0,077 |
| Indice de consommation | | | | | |
| 1 ^{er} âge | 1,802 ± 0,112 ^b | 1,770 ± 0,161 ^b | 1,539 ± 0,127 ^a | 1,788 ± 0,165 ^b | 0,001 ³ |
| 2 ^{ème} âge | 1,451 ± 0,132 ^{ab} | 1,455 ± 0,144 ^b | 1,395 ± 0,111 ^{ab} | 1,297 ± 0,195 ^a | Stade (S) : < 0,001 T x S : < 0,001 |

¹TP : Témoin positif avec des niveaux commerciaux de Ca, TN : témoin négatif avec Ca réduit, SG : TN + 1,0 µg G-1,25(OH)₂D, SG+ : SG + 150 g/t de mélange d'huiles essentielles, La consommation alimentaire et le GMQ ont été calculés en fonction de l'enclos. ² Valeur P du traitement (T), sauf indication contraire. ³Le modèle statistique incluait les deux âges, donc une seule valeur P. ⁴Un porcelet par enclos a été sacrifié à 14 jours, a, b : différentes lettres dans l'indice de consommation indiquent des différences significatives entre les traitements à travers les stades (valeur $P \leq 0,05$)

CONCLUSION

La réduction de 25 % du Ca alimentaire n'a pas affectée les performances des porcelets dans cet essai. Même si la santé globale des porcelets était bonne, les taux de croissance étaient inférieurs aux prévisions pour des raisons inconnues. Il n'y a eu

aucun effet sur les performances de croissance mais l'IC a été amélioré pour le traitement SG dans le 1^{er} âge et pour le traitement SG+ dans le 2^{ème} âge, ce qui indique une meilleure utilisation des aliments. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre le mode d'action et les résultats observés.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Álvarez-Delgado C., Ruedas-Torres I., Sánchez-Carvajal J.M., Priego-Capote F., Castillo-Peinado L., Galán-Relaño Á., Moreno P.J., Díaz-Bueno E., Lozano-Buenestado B., Rodríguez-Gómez I.M., Carrasco L., Pallarés F.J., Gómez-Laguna J., 2023, Impact of supplementation with dihydroxylated vitamin D3 on performance parameters and gut health in weaned Iberian piglets under indoor/outdoor conditions. *Porc. Health Manag.*, 9, 15.



Effet d'une alimentation basse en calcium avec ajout de phytase microbienne, chez le porcelet en post-sevrage

Marllon J.K. DE OLIVEIRA (1,2) et Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (2)*

(1) UNESP, Department of Animal Science, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brazil

(2) Université Laval, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Département des Sciences Animales, 2425 rue de l'Agriculture, Québec, G1V 0A6, Canada

* marie-pierre.letourneau@fsaa.ulaval.ca

Effect of low calcium diet supplemented with microbial phytase in post-weaning piglets.

An experiment was conducted to evaluate impacts of reducing dietary calcium (Ca) immediately after weaning; compared to the NRC (2012) recommendations, in combination with phytase supplementation. The treatments were: 1) low Ca (LowCa; Phase 1 (d0-9), 2 (d10-16) and 3 (d17-35), 0.51-0.60-0.65 % Ca and 0.48-0.43-0.38 % ileal standardised digestible P (STTD P), 2), LowCa+PhytM; Phases 1, 2 and 3, 0.51-0.60-0.65 % Ca and 0.48-0.43-0.38% STTD P with 750 FTU phytase, and 3) NormalCa+PhytM; Phases 1, 2 and 3, 0.85-0.80-0.70 % Ca and 0.48-0.43-0.38 % STTD P with 750 FTU phytase. Piglets (n = 120) were allocated to 6 pens of 5 piglets per treatment (by initial body weight; 6.12 ± 0.028 kg). On d0, 15 and 36, dual X-ray (DXA) bone densitometry was used to measure body fat, lean and mineral content (BMC) compositions using 8 piglets per treatment. At the end of phase 1 (d9) a blood sample was collected. Data were analysed using the SAS MIXED procedure with Tukey's test to compare means. No differences were observed in growth performance or DXA measurements during the first phase. On d9, LowCa piglets showed signs of hypocalcaemia with reduced plasma Ca ($P = 0.03$), increased plasma P ($P = 0.02$) and a lower Ca:P ratio in plasma ($P = 0.04$). From d9-15, piglets that had received LowCa+PhytM showed higher average daily gain (ADG; $P = 0.002$). On d15, the body composition evaluated by DXA showed no difference among dietary treatments. During phase 3, final body weight and average daily feed intake were not modified by dietary treatments, while ADG and feed efficiency were higher in LowCa than in NormalCa+PhytM, and LowCa+PhytM was intermediate. Body composition on d35 showed no difference among treatments. The LowCa strategy implemented resulted in better growth performance, with no impact on bone mineralization.

INTRODUCTION

Les jeunes porcelets ont un intestin immature qui ne fournit pas une acidité gastrique adéquate pour digérer les nutriments et inhiber la croissance des bactéries dans l'intestin (Wang *et al.*, 2023). Par leur pouvoir tampon, les aliments ont la capacité intrinsèque de modifier l'acidité gastrique. C'est le cas du carbonate de calcium (Ca) qui est l'ingrédient ayant la plus grande capacité de se lier aux acides dans les aliments des porcs (Lawlor, 2005), et pour cette raison son incorporation devrait être limitée pendant une courte période, selon certains auteurs (Huting *et al.*, 2021). L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact de du retrait du carbonate de Ca dans le premier aliment suivant le sevrage sur les performances, la minéralisation osseuse et le statut phosphocalcique des porcelets.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Expérimentation animale

Cent-vingt porcelets (Duroc x (Large White x Landrace)) sevrés à 21 jours avec un poids moyen de $6,12 \pm 0,028$ kg ont reçu un des trois traitements alimentaires en 3 phases d'alimentation (0-9, 10-16 et 17-35 jours) où les apports de Ca variaient : 1) BasCa (Ca : 0,51, 0,60, 0,65%), 2) BasCa+PhytM, (Ca : 0,51, 0,60, 0,65%, Phytase, 750 FTU/kg), 3) NCa+PhytM, (Ca : 0,85, 0,80,

0,70% ; Phytase, 750 FTU/kg). L'apport de phosphore (P) digestible était de 0,48, 0,43, 0,38%. Dans la première phase, les aliments BasCa et les BasCa+PhytM ne contenait pas de carbonate de calcium.

L'ingestion totale d'aliment a été mesurée par phase et le poids des animaux a été mesuré au début et à la fin de chaque phase. Des échantillons de sang ont été prélevés sur 24 porcelets par traitements à la fin de la première phase (J 9) et des radiographies par ostéodensitométries à double rayons X (DXA, Hologic Discovery W) ont été réalisées sur ces mêmes porcelets aux jours 0, 15 et 35 pour mesurer la composition corporelle en protéines, lipides, et contenu et densité minérale de l'os. Les données ont été analysées par la procédure MIXED de SAS avec le test de Tukey pour comparer les traitements.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les performances de croissance n'ont pas été modifiées par les traitements alimentaires durant la première phase (Tableau 1). Le Ca plasmatique était plus élevé ($P = 0,03$) dans le lot NCa+PhytM que dans le lot BasCa et l'inverse était observé pour le P plasmatique ($P = 0,02$), conduisant à un ratio plus faible entre ces deux minéraux ($P = 0,006$) dans le lot BasCa. Ceci est signe d'une hypocalcémie dans le lot BasCa, compensée par la parathormone (Suttele, 2010). Dans la seconde phase, le poids final et le gain moyen quotidien (GMQ) étaient supérieurs pour

le lot BasCa+PhytM (respectivement, $P = 0,002$ et $P < 0,001$). Ceci malgré une matrice phytase utilisée, i.e. l'aliment avec phytase était en théorie iso Ca total et P digestible avec l'aliment BasCa. Il semble donc y avoir eu un effet supplémentaire de la phytase non lié à Ca et P. Les compositions corporelles au jour 15 étaient quant à elles similaires entre les

traitements. A l'issue de la phase 3, le GMQ ($P = 0,06$) et l'efficacité alimentaire ($P = 0,04$) étaient plus élevés dans le lot BasCa comparativement à NCa+PhytM. Pour cette raison, le dépôt protéique était plus élevé ($P = 0,03$), alors que le contenu minéral osseux n'était pas modifié.

Tableau 1 – Effet des traitements alimentaires sur les performances de croissance et les teneurs plasmatiques de calcium et phosphore des porcelets .

| Paramètres | Traitements | | | ETR | P-value |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-----------|--------|---------|
| | BasCa | BasCa+PhytM | NCa+PhytM | | |
| Phase 1 (J 0-9) | | | | | |
| Poids vif initial, kg | 6,,20 | 6,,01 | 6,,24 | 0,,601 | 0,,234 |
| Poids vif final, kg | 7,38 | 7,46 | 7,36 | 0,071 | 0,597 |
| Gain moyen quotidien, g/j | 0,135 | 0,144 | 0,134 | 0,008 | 0,621 |
| Plasma Ca, mg/L | 8,29 b | 8,53 ab | 8,71 a | 0,121 | 0,029 |
| Plasma P, mg/L | 7,03 a | 6,15 b | 6,79 ab | 0,197 | 0,016 |
| Plasma Ca : P | 1,18 b | 1,39 a | 1,30 ab | 0,039 | 0,006 |
| Phase 2 (J 10-16) | | | | | |
| Poids vif final, kg | 10,74 b | 11,51 a | 11,10 ab | 0,158 | 0,002 |
| Gain moyen quotidien, g/j | 0,480 b | 0,579 a | 0,522 b | 0,017 | <0,001 |
| Phase 3 (J 17-35) | | | | | |
| Poids vif final, kg | 24,54 | 24,71 | 23,97 | 0,411 | 0,271 |
| Gain moyen quotidien, g/j | 0,725 | 0,691 | 0,676 | 0,016 | 0,056 |
| Consommation Moyenne journalière, g/j | 1,132 | 1,119 | 1,153 | 0,018 | 0,358 |
| Efficacité alimentaire | 0,641 a | 0,638 ab | 0,601 b | 0,012 | 0,044 |

¹ ETR écart type résiduel ; des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence significative ($P < 0,05$).

Tableau 2 – Effet des traitements alimentaires sur la composition corporelle mesurée par ostéodensitométrie.

| Paramètres | Traitements | | | ETR | P-value |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-----------|--------|---------|
| | BasCa | BasCa+PhytM | NCa+PhytM | | |
| Jour 15 | | | | | |
| Poids vif, kg | 10,5 | 10,9 | 10,5 | 0,0440 | 0,410 |
| Protéine corporelle, g | 1937 | 1996 | 1905 | 45,3 | 0,374 |
| Contenu minéral osseux, g | 155 | 156 | 160 | 4,89 | 0,747 |
| Jour 35 | | | | | |
| Poids vif, kg | 25,9 | 25,7 | 24,4 | 0,0428 | 0,053 |
| Protéine corporelle, g | 4748 | 4703 | 4479 | 84,9 | 0,083 |
| Contenu minéral osseux, g | 355 | 355 | 339 | 8,40 | 0,316 |
| Dépôt protéique, g/j | 134 a | 129 ab | 123 b | 2,76 | 0,030 |
| Dépôt de contenu minéral osseux, g/j | 9,60 | 9,50 | 8,50 | 0,398 | 0,095 |

¹ ETR écart type résiduel ; des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence significative ($P < 0,05$).

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que la baisse de l'apport de Ca sous forme de carbonate de Ca n'a pas affecté la

minéralisation osseuse, mais s'est accompagnée d'une amélioration de la vitesse de croissance et de l'efficacité alimentaire des porcelets. Les mécanismes sous-jacents à cette amélioration des performances restent à préciser.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Huting A.M.S., Middelkoop A., Guan X., Molist F., 2021. Using Nutritional Strategies to Shape the Gastro-Intestinal Tracts of Suckling and Weaned Piglets, *Animals*, 11, 402
- Lawlor P.G., Lynch B., Caffrey P.J., O'Reilly J.J., O'Connell M.K., 2005. Measurements of the acid-binding capacity of ingredients used in pig diets. *Ir. Vet. J.*, 58, 447-452
- Suttle N.F., 2010. Mineral nutrition of livestock. 4th ed. Oxon, UK, CABI Publishing.
- Wang L.F., Bergstrom J.R., Hahn J.D., Young M.G., Zijlstra R.T., 2023. Acid-binding capacity of feed in swine nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 295,115519

Effet du butyrate de calcium, des tanins, et de leur combinaison sur les performances zootechniques, la barrière intestinale et le microbiote des porcelets sevrés

Charline RICHARD-DAZEUR (1), Pauline M. ANTON (1), Nelly BADALATO (2), Marine DE KONINCK (3),

Marie Hélène DEGRAVE (4), Nicolas BARBEZIER (1), Joris MICHIELS (5)

(1) Transformations et Agroressources, ULR 7519, UniLaSalle – Université d'Artois, Beauvais, France

(2) GenoScreen, 1 rue du Pr Calmette, 59000 Lille, France

(3) Sanluc International nv, Langerbruggekaai 1, 9000 Gent, Belgique

(4) Algofit, 17 chemin du Christ, 59910 Bondues, France

(5) Ghent University, Department of Animal Sciences and Aquatic Ecology, Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgique

pauline.m-anton@unilasalle.fr

Effect of calcium butyrate, tannins and their combination on the zootechnical performances, intestinal barrier and microbiota of weaned piglets

Butyrate is a source of energy for colonic epithelia, anti-inflammatory and able to reinforce the intestinal defence barrier by producing mucins and hosting antimicrobial peptides, whereas tannins can exert antioxidant properties. However, their combination has rarely been studied. A total of 216 weaning piglets (28 days old) were fed four diets for 35 days (nine pens with six piglets/diet) following a 2 x 2 factorial design. The two main factors were coated calcium butyrate (But) supplementation (0.15 % in diet) and tannins (Tan) (0.15 %). Pigs were fed a pre-starter diet (net energy (NE): 10.5 MJ/kg, DLys: 1.16 %) until day 14, followed by a starter diet (10.3 MJ NE/kg, DLys: 1.12 %). On day 13-14, two piglets from each pen were sampled for gut function and microbiome. From days 8 to 20, an episode of F4/F18+ *E. coli* infection occurred that caused severe diarrhoea; antibiotics were used, but mortality increased. While the percentage of piglets treated with antibiotics was 40.7 % for the control, it was reduced to 16 % for But, 27.8 % for Tan and 29.6 % when combined ($P < 0.05$). Interestingly, no mortality occurred for But, versus 14.8 % for the control, 5.6 % for Tan and 7.4 % when combined ($P < 0.05$). The main factors had no significant effect on performance criteria. However, their interaction had a significant effect, suggesting superior performance when feeding But alone (e.g., body weight on d35 of 19.9 kg versus the control of 17.9 kg, $P < 0.05$), while tannins, whether with (19.1 kg) or without (19.5 kg) But, did not. Faecal microbiota increased and diversified over time but was not influenced by treatment. In conclusion, But supported weaned piglets upon a health challenge and improved post-weaning performance, but the addition of tannins did not enhance these effects.

INTRODUCTION

Le sevrage en élevage porcin est une période critique pour les porcelets car pratiqué précocement chez des animaux dont l'homéostasie intestinale n'est pas totalement établie. Ainsi, cela peut engendrer des baisses de performances zootechniques et des atteintes durables de la santé chez ces animaux si leur prise alimentaire n'est pas parfaitement maîtrisée. Parmi les alternatives aux antibiotiques, le butyrate de calcium, connu pour ses bénéfices au niveau intestinal, est une source d'énergie pour les cellules intestinales, favorise la croissance de certains microorganismes et le contrôle de pathogènes (*E.coli*, *C.perfringens*...) (Abd El-Wahab *et al.*, 2019). Le butyrate soutient la production de peptides antimicrobiens et la sécrétion de mucines, contribuant à la limitation de la réponse inflammatoire. Les tanins de châtaigniers sont également utilisés pour contribuer à renforcer la réponse antioxydante des animaux (Marín *et al.*, 2015). Ces ingrédients n'ont jamais été employés ensemble. Aussi, notre hypothèse

était que leur combinaison serait autant voire plus efficace que leur utilisation séparée.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Procédure expérimentale

Des porcelets de 28 jours (J0), sevrés le jour même, ont été répartis en quatre groupes (neuf cases de six/traitement) en suivant un plan factoriel 2x2 : le groupe But a reçu du butyrate de calcium enrobé (0,15 %), le groupe Tan des tanins de châtaignier (0,15 %), le groupe B+T une combinaison des deux et le groupe TEM a servi de témoin sans But ni Tan incorporé dans l'aliment. Les porcelets ont reçu un aliment 1^{er} âge (10,5 MJ d'énergie nette (EN)/kg, 1,16 % de lysine digestible (DLys)) pendant 14 jours, suivi d'un aliment 2^{ème} âge jusqu'à J35 (10,3 MJ EN/kg, 1,12 % DLys). A J14, deux animaux par case ont été mis à mort et des échantillons biologiques ont été prélevés en vue d'études ultérieures.

1.2. Performances zootechniques

Les animaux ont été suivis quotidiennement. Ils ont été pesés individuellement à J0, J5, J10, J14, et J35. Pour les périodes J0/J5, J5/J10, J10/J14, J14/J35 et J0/J35, la croissance (gain moyen quotidien, GMQ), la consommation moyenne journalière d'aliment (CMJ) et d'eau (CMJ_{H2O}), l'indice de consommation (aliment consommé/gain de poids), et le taux de dilution (CMJ_{H2O}/CMJ) ont été déterminés. La CMJ à J2 a été mesurée pour s'assurer d'une ingestion correcte après le sevrage.

1.3. Santé digestive des animaux

La consistance des fèces a été estimée avec un score allant de 1 (normal) à 3 (diarrhéique) entre J0 et J14. Le pourcentage d'animaux diarrhéiques a été déterminé pour chaque groupe de traitement. Quand cela était nécessaire, les animaux ont été traités avec des antibiotiques et leur utilisation a été surveillée attentivement (exprimée en % de l'effectif du groupe). Le taux de mortalité a également été calculé, et exprimé en pourcentage des effectifs initiaux.

1.4. Effet sur la barrière intestinale et le microbiote

Les échantillons de fèces ont été collectés à J0, J14 et J35 sur tous les animaux présents. Une analyse métagénomique du profil du microbiote fécal a alors été réalisée. Brièvement, après extraction des ADN, une analyse ciblée des régions V3-V4 de l'ADNr a été initiée avec l'aide du Metabiote®. Le séquençage a ensuite été fait avec l'aide de la plateforme MiSeq d'Illumina avant d'entreprendre des analyses bio-informatiques (pipeline Metabiote® QIIME2). En parallèle, des échantillons d'iléon et de côlon ont été utilisés pour réaliser l'amplification de gènes codant pour les voies de signalisation de la réponse inflammatoire, la sécrétion de mucines, les marqueurs locaux de l'inflammation et les protéines des jonctions serrées.

1.5. Analyse statistique

Les données ont été exprimées en moyenne \pm ETR. La distribution normale des variables a été vérifiée par un test de Mann Whitney ; l'homogénéité des variables par le test de Levene (paramètres zootechniques). Après une analyse de variance à deux facteurs a été réalisée pour les paramètres zootechniques. Les différences entre les moyennes des différents traitements ont été évaluées par le test de Tukey (paramètres physiologiques). Une valeur de $P < 0.05$ a été considérée comme significative.

2. RESULTATS

2.1. Performances zootechniques

Sur toute la durée de l'essai, nous n'avons pas observé de modification significative de la consommation d'aliments des animaux quel que soit le régime. Le poids final des porcelets a été amélioré par la supplémentation en But La croissance était bien meilleure chez les groupes recevant un aliment contenant But ou Tan et sans amélioration avec T+B (Tableau 1).

2.2. Santé digestive des animaux

Le groupe But n'a reçu que très peu de traitements antibiotiques, et aucune mortalité n'a été observée. La prise de poids avait tendance à être meilleure, et le taux de diarrhées, même si non significatif, était le plus faible. L'ingestion des deux combinés (But + Tan) n'a pas amélioré la santé globale des animaux.

Tableau 1 – Effets¹ du régime sur les performances zootechniques et la santé digestive des animaux sur 35 jours

| Paramètre | TEM | But | Tan | B+T | ESM | P (B+T) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------|-------------|
| CMJ, g/j | 423 | 488 | 465 | 461 | 22 | 0,1 |
| GMQ, g/j | 310 ^b | 367 ^a | 355 ^a | 345 ^{ab} | 16 | 0,05 |
| 1/IC, g/g | 0,58 ^c | 0,68 ^a | 0,65 ^{ab} | 0,62 ^{ab} | 0,03 | 0,02 |
| CMJ _{H2O} , l/j | 3,6 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 0,4 | 0,45 |
| CMJ _{H2O} /CMJ, ml/g | 8,7 | 7,2 | 6,6 | 7,7 | 0,8 | 0,18 |
| Diarrhées, % | 10,7 | 7,5 | 10,6 | 11,3 | 2 | 0,38 |
| Poids final, kg | 17,9 ^b | 19,9 ^a | 19,5 ^{ab} | 19,1 ^{ab} | 0,5 | 0,04 |

¹Pour une ligne donnée, les lettres différentes indiquent des différences significatives dans les interactions avec $P < 0,05$. ND = non déterminé.

2.3. Effet sur la barrière intestinale et le microbiote

Nous n'avons observé aucune modification significative de l'expression des gènes codant pour les protéines des jonctions serrées (occludine, ZO1 ...), les TLR 4 ou 5, ni pour les médiateurs de la réponse inflammatoire pour les groupes supplémentés par rapport au groupe TEM et ce que ce soit au niveau iléal ou colique. Pour ce qui concerne le profil du microbiote, nous avons pu observer une diminution des Escherichia/shigella avec toutes les supplémentations étudiées mais sans différence significative entre les groupes (données non présentées).

CONCLUSION

L'utilisation de butyrate de calcium enrobé est d'un réel intérêt pour améliorer la santé globale des porcelets au cours du sevrage. Dans le contexte de cet essai, l'intérêt des tanins a été plus limité et l'association des deux ingrédients n'a pas permis d'améliorer les performances zootechniques ni l'état sanitaire global des animaux par rapport à l'utilisation du butyrate de calcium seul.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abd El-Wahab A., Mahmoud R.E., Ahmed M.F.E., Salama M.F., 2019. Effect of dietary supplementation of calcium butyrate on growth performance, carcass traits, intestinal health and pro-inflammatory cytokines in Japanese quails. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl), 103(6), 1768-1775.
- Marín L., Miguélez E.M., Villar C.J., Lombó F., 2015. Bioavailability of dietary polyphenols and gut microbiota metabolism: antimicrobial properties. BioMed. Res. Int., 2015, 905215.



Mise en évidence de la qualité des tanins de châtaignier pour améliorer les performances en élevage porcin

Charline RICHARD-DAZEUR (1), Philippe JACOLOT (1), Marine DE KONINCK (3), Marie Hélène DEGRAVE (4), Nelly BADALATO (2), Joris MICHIELS (5), Nicolas BARBEZIER (1), Céline NIQUET-LÉRIDON (1), Pauline M. ANTON (1)

(1) Transformations et Agroressources, ULR 7519, UniLaSalle – Université d'Artois, Beauvais, France

(2) GenoScreen, 1 rue du Pr Calmette, 59000 Lille, France

(3) Sanluc International nv, Langerbruggekaai 1, 9000 Gent, Belgique

(4) Algofit, 17 chemin du Christ, 59910 Bondues, France

(5) Ghent University, Department of Animal Sciences and Aquatic Ecology, Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgique

pauline.m-anton@unilasalle.fr

Highlighting of the quality of chestnut tannins to improve piglet performances

Chestnut tannins are rich in hydrolysable polyphenols. In piglets, the use of phenolic compounds is known to reduce weaning stress. Their antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial properties are known to improve piglet intestinal health, but these results seem to depend on the quality of the tannins used. In this study, we thus compared three chestnut tannins (A, B and C) of different geographical origins for several criteria: content of three major hydrolysable polyphenols (gallic acid, ellagic acid, and vesicalagin), antioxidant capacity, content of total reduced sugars and of monosaccharides. Tannin B was significantly ($P < 0.05$) richer in ellagic acid (9.9 mg/g) and gallic acid (36.2 mg/g) than Tannin A. Tannin C had less gallic acid (28.9 mg/g) but significantly ($P < 0.05$) more vesicalagin (61.9 mg/g) than Tannin B. The antioxidant capacity of Tannin B was significantly ($P < 0.01$) higher than that of Tannin A. Tannin B had a higher content of reducing sugars in glucose equivalents (215.7 mg/g) than Tannin A (151.6 mg/g) and Tannin C (159.3 mg/g). These tannins were composed mainly of xylose and glucose, and their content was higher than that of Tannin A. The contents of hydrolysable polyphenols and sugars depended greatly on the origin (e.g., geographical area, climate) and process used to extract tannins (e.g. temperature). Due to such differences, this point could influence the effectiveness of these natural extracts when added to pig feed and could explain the variability in effectiveness of tannins on the digestive health of weaning piglets described in the literature.

INTRODUCTION

Les tanins sont des extraits naturels considérés comme des alternatives fiables aux antibiotiques en élevage porcin. Les tanins de châtaignier sont de plus en plus utilisés car ils ont des propriétés anti-oxydantes et anti-microbiennes (Peña-Rodriguez *et al.*, 2015). Ces extraits produits par l'exploitation des bois de châtaignier sont naturellement riches en composés phénoliques hydrolysables et, en particulier, en gallotanins (dont l'acide gallique) et en ellagitanins (avec principalement l'acide ellagique et la vescalagine). Les sources d'approvisionnement en tanins de châtaignier étant nombreuses et les performances en élevage variables, nous avons décidé de comparer les teneurs en composés phénoliques de trois échantillons de tanins issus de trois zones géographiques européennes différentes afin de voir si ce paramètre pouvait influencer cette teneur puisque nous n'avons trouvé aucune donnée de la littérature en ce sens.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Réactifs

Les réactifs utilisés dans ce travail ont été obtenus auprès de Sigma-Aldrich (St Quentin Fallavier – France). Les trois échantillons de tanins de châtaignier ont été acquis auprès de trois fournisseurs européens différents. Les échantillons ont été stockés dans le noir à température ambiante avant les dosages.

1.2. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été mesurée à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu après quelques adaptations (Singleton *et al.*, 1965). Brièvement, après extraction des polyphénols à l'aide d'une solution méthanol : eau, les échantillons ont été mis en présence du réactif de Folin-Ciocalteu. Après incubation, l'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie (750 nm). La teneur en polyphénols totaux a été exprimée en mg d'équivalent acide gallique/g de tanin.

Nous avons également mesuré les concentrations en trois polyphénols hydrolysables majeurs : acide gallique, acide ellagique et vescalagine après solubilisation des échantillons dans une solution aqueuse par HPLC-UV. Après filtration, les extraits sont injectés (25 µL) dans le système HPLC U3000 (ThermoFisher, Courtaboeuf, France) équipé d'une pré-colonne et colonne C18 Luna (250 x 4,6 mm, 5 µm ; Phenomenex, Le Pecq, France) thermostatée à 40°C. Les éluants sont l'acide formique 0,05% (v/v) dans l'eau (A) et l'acétonitrile (B). Les deux phases mobiles sont éluées à un débit de 0,7 mL/min selon ce gradient : de 0 à 5 min 0 % B, de 5 à 25 min 5 % B, de 25 à 40 min 30 % B. La vescalagine, l'acide ellagique et l'acide gallique sont, respectivement, détectés et quantifiés à 234 nm, 250 nm et 280 nm (leur maximum d'absorption) à l'aide de molécules standards commerciales.

1.3. Pouvoir antioxydant

Le pouvoir antioxydant des tanins a été estimé par une méthode utilisant le 2,2-Diphényl-1-Picrylhydrazyle (DPPH). Brièvement, les échantillons ont été mis en suspension dans l'eau avant de les centrifuger puis d'exposer les surnageants au DPPH. L'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie (512 nm) (ThermoFisher, Courtaboeuf, France). Les résultats sont exprimés en IC50 (concentration pour laquelle une perte de 50% de l'activité du radical DPPH° est observée). Plus l'IC50 est faible, plus l'activité anti-oxydante sera élevée.

1.4. Sucre totaux réducteurs

Les échantillons de tanins ont été dilués dans de l'eau distillée avant d'être soumis à une agitation. Un ajout de phénol 5% et d'H₂SO₄ concentré (97%) a été réalisé sur les surnageants. Après réaction de 30 minutes, les densités optiques (DO) ont été mesurées par spectrophotométrie (480 nm) (ThermoFisher, Courtaboeuf, France). Les mêmes extraits de tanins ont également été dilués dans une solution de méthanol puis filtrés et analysés par HPLC-DEDL (ThermoFisher, Courtaboeuf, France).

1.5. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées en triplicat (n = 3). Les données ont été exprimées en moyenne ± écart type à l'aide de Microsoft Excel (Office 2013). Les données ont été analysées à l'aide d'un test non paramétrique de Kruskal-Wallis suivi d'un post-test de Dunn lorsque les différences étaient significatives. Une valeur de $P < 0,05$ a été considérée comme significative.

2. RESULTATS

2.1. Teneur en polyphénols totaux et hydrolysables

La teneur en polyphénols totaux varie de façon non significative entre les différentes sources de tanins. La teneur la plus faible a été obtenue pour le tanin B (Tableau 1). En outre, grâce à une approche par HPLC-UV, nous avons pu établir qu'il existait de fortes différences dans la composition en polyphénols hydrolysables entre les différents tanins.

Le Tanin B était le plus riche en acide gallique et en acide ellagique (Tableau 1) mais contenait le moins de vescalagine. Le Tanin A était le moins riche en acides gallique et ellagique tandis que le tanin C avait la teneur la plus élevée en vescalagine (Tableau 1).

2.2. Pouvoir anti-oxydant

Des différences des pouvoirs antioxydants des différents tanins étaient plus ténues. Cependant, le tanin A, avec l'IC50 la plus basse, s'est révélé avoir le meilleur pouvoir antioxydant (Tableau 1).

2.3. Sucres totaux réducteurs et monosaccharides

La mesure de la teneur en sucres totaux réducteurs était indispensable pour nous assurer de limiter, autant que faire ce peu le risque de réaction de Maillard dans les ingrédients au cours du processus de préparation de l'aliment. Le tanin B était le plus riche en sucres totaux (Tableau 1). Ceci était notamment dû à une plus forte teneur (non présentée) en xylose et glucose de ce tanin. Les tanins A et C contenaient des quantités équivalentes de sucres totaux, 25% plus faibles que le tanin B (Tableau 1). Cependant, la teneur en xylose du tanin A était plus élevée que celle du tanin C (données non présentées).

Tableau 1 – Caractérisation (moyenne ± écart-type) de tanins de châtaignier issus de trois zones géographiques différentes¹

| | Tan A | Tan B | Tan C |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Polyphénols totaux, mg équiv. A.gall./g MS | 524 ± 8 | 496 ± 16 | 523 ± 11 |
| Pouvoir antioxydant, IC50 | 11,8 ± 0,1 _b | 13,4 ± 0,4 _a | 12,2 ± 0,1 _{ab} |
| Sucres totaux réducteurs, mg équiv. Glc/g MS | 152 ± 8 | 216 ± 0,1 | 159 ± 12 |
| Acide gallique, mg/g MS | 19,3 ± 0,4 _b | 36,2 ± 0,9 _a | 28,9 ± 0,5 _{ab} |
| Acide ellagique, mg/g MS | 3,8 ± 0,3 _{ab} | 9,9 ± 0,8 _a | 4,7 ± 0,3 _b |
| Vescalagine, mg/g MS | 25,4 ± 0,4 _{ab} | 9,3 ± 0,4 _b | 61,9 ± 0,4 _a |

¹Pour une ligne donnée, les lettres différentes indiquent des différences significatives au seuil de 5%. MS : matière sèche, équiv. A.gall. : équivalent acide gallique, équiv. Glc : équivalent glucose.

CONCLUSION

Les objectifs de ce travail étaient de déterminer des différences éventuelles entre des tanins de châtaignier de différentes origines et de déterminer celui qui serait le plus intéressant à valoriser dans l'alimentation des porcelets.

Les tanins A et C avaient des compositions globalement similaires sauf en polyphénols hydrolysables. Le tanin C possédait des teneurs en polyphénols meilleures. C'est pour cela qu'il est un bon candidat pour tester ses effets santé chez le porcelet en post-sevrage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Peña-Rodríguez C., Martucci J.F., Neira L.M., Arbelaz A., Eceiza A., Ruseckaite R.A., 2015. Functional properties and *in vitro* antioxidant and antibacterial effectiveness of pigskin gelatin films incorporated with hydrolysable chestnut tannin. Food Sci. Technol. Int., 21, 221-231.
- Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic., 16, 144-158.



Effet d'une combinaison brevetée de plantes sur la sensibilité intestinale et les performances zootechniques du porcelet sevré

Alice MONJOUSTE (1), Pauline POURTAU-TILLY (2), Emmanuel JANVIER (2), Arnaud SAMSON (1)

(1) ADM, rue de l'Eglise, 02402 Château-Thierry Cedex, France

(2) ADM, Route de Talhouët, 56250 Saint-Nolff, France

alice.monjouste@adm.com

Effect of a patented combination of plants on the intestinal sensitivity and zootechnical performances of weaned piglets

The aim of this trial was to evaluate effects of aerial parts of *Macleaya cordata* combined with the bark of *Magnolia officinalis* in a patented combination of plants (PCP) containing active compounds involved in modulating inflammatory and immune responses. In total, 144 piglets weaned at 21 days of age were allocated to two experimental groups. Piglets were housed in 24 mixed pens of six individuals each under standard rearing conditions from day 21-43 and fed *ad libitum*. Piglets in the Control group were fed a conventional diet, while those in the PCP group received the same diet but supplemented with 200 g/T of PCP. Faeces were scored daily using a grading scale based on their appearance (score: 1-4). The prevalence of watery faeces (score 4) was significantly reduced in the PCP group during the first week post weaning (8.3 % vs. 20.0 %, $P < 0.05$). During the second week post weaning, no score of 4 was observed but the prevalence of liquid faeces (score 3) tended to be reduced in the PCP group (40.0 % vs. 56.7 %, $P = 0.06$). The number of piglets treated with antibiotics for *E. coli* diarrhoea (serotype O 138/K 81) was significantly lower in the PCP group (2.8 % vs. 12.5 %, $P < 0.05$). Growth performance did not differ significantly, regardless of the period considered ($P > 0.10$). For example, the average daily gain observed from day 21 to 43 was 221 g/d in the Control group and 238 g/d in the PCP group ($P > 0.10$). This trial suggests that PCP significantly reduced piglet sensitivity to intestinal disorders during the sensitive post-weaning period, when diarrhoea episodes are observed.

INTRODUCTION

Le sevrage est une période critique de l'élevage porcin pendant laquelle le porcelet est exposé à de nombreux facteurs de stress : affectif, psychologique, environnemental, nutritionnel. Cette transition est sujette à des changements physiologiques ayant une incidence sur la santé et les performances des porcelets. Les désordres intestinaux sont d'ailleurs fréquemment observés autour du sevrage.

Dans un contexte promouvant la réduction des antibiotiques, l'utilisation de plantes est une alternative pertinente pour prévenir les troubles intestinaux du porcelet sevré. En effet, les plantes contiennent de nombreux composés actifs tels que les phénols, flavonoïdes, tanins, saponines et alcaloïdes. Des études ont démontré que les alcaloïdes considérés dans notre étude avaient un effet protecteur sur la muqueuse intestinale (Yang *et al.*, 2008 ; Fan *et al.*, 2023), ce notamment dans un contexte diarrhéique (Xia *et al.*, 2013).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et dispositif expérimental

L'essai s'est déroulé au Talhouët Research Center d'ADM (Saint-Nolff, 56). Au total, 144 porcelets d'environ $6,1 \pm 0,8$ kg à 21 jours d'âge en moyenne ont été répartis en deux groupes

expérimentaux : groupe TEMOIN, et groupe CBP recevant la combinaison brevetée de plantes. Les animaux ont été vaccinés contre la colibacillose causée par *Escherichia coli* K88 à 22 jours d'âge via l'eau de boisson (Coliprotect, Elanco). Les porcelets étaient logés dans 24 cases mixtes de six individus chacune en conditions d'élevage standard de 21 à 43 jours d'âge. Ainsi, 12 blocs de deux cases ont été constitués sur la base du poids vif et du sexe-ratio. Les porcelets étaient répartis dans trois salles et nourris *ad-libitum*.

Les consommations d'aliments étaient enregistrées chaque semaine par case. Les porcs ont été pesés individuellement à 21 et 43 jours d'âge. La moyenne des poids par case pour chaque pesée était ensuite calculée. Ces données de poids et de consommation ont permis de calculer la consommation moyenne journalière (CMJ), le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) pour la période de premier âge (j21-j43). De plus, l'aspect des fèces a été noté quotidiennement dans chaque case d'après une grille basée sur leur aspect (notes allant de 1 à 4 ; 4 correspondant à la note la plus dégradée).

1.2. Alimentation

Les animaux du groupe TEMOIN ont reçu un aliment conventionnel (base blé-orge-soja) avec une teneur de 10,5 MJ/kg d'énergie nette ; 17,8 % de matières azotées totales et 1,10 % de lysine digestible standardisée.

Les animaux du groupe CBP ont reçu le même régime de base auquel étaient ajoutés 200 g/T d'une combinaison brevetée de plantes (CBP) comportant des alcaloïdes et des néo-lignans : sanguinarine, honokiol, magnoliol issus des parties aériennes de *Macleaya cordata* et d'écorces de *Magnolia officinalis* (Powerjet®, ADM).

1.3. Traitement statistique

Au total, un bloc expérimental a été exclu de l'analyse statistique pour cause de faibles performances de croissance. Ce bloc était constitué des porcelets les plus légers lors de la mise en lot. Pour chaque paramètre mesuré, l'unité expérimentale était la case. Les données de performance ont été analysées statistiquement sur le logiciel R Studio (v1.4.1103), via une ANOVA. Le modèle statistique incluait les effets fixes du régime alimentaire, de la salle, du poids au sevrage et de leurs interactions. L'effet du traitement sur les événements sanitaires et la fréquence des notes de fèces dégradées a été approché *via* un test de χ^2 .

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Durant la première semaine, la fréquence de fèces aqueuses (note 4) était significativement réduite chez les porcelets du groupe CBP comparé au groupe TEMOIN (8,3 vs. 20,0 % ; $P < 0,05$; Figure 1). Au cours de la deuxième semaine, aucune note 4 n'a été observée. La note la plus dégradée était donc la note 3 correspondant à des fèces liquides, qui tendait à être moins présente dans le groupe CBP comparé au groupe TEMOIN (40,0 vs. 56,7 % ; $P = 0,06$; Figure 1). La moindre expression de troubles intestinaux du groupe CBP s'est notamment illustrée via un nombre inférieur de porcelets traités par antibiothérapie. En effet, durant la période expérimentale, les animaux ont connu un passage de colibacilliose O 138/K 81 engendrant de fortes diarrhées, qui ont nécessité le recours aux antibiotiques. Le nombre de porcelets traités par antibiotiques était significativement plus faible dans le groupe CBP que dans le groupe TEMOIN (2,8 % vs. 12,5 %, $P < 0,05$).

Sur la période de premier âge (de 21 à 43 jours d'âge), la moyenne des GMQ des porcelets recevant la CBP était

de 238 g/j, comparativement aux porcelets du groupe TEMOIN dont le GMQ était de 221 g/j ($P > 0,10$; Tableau 1).

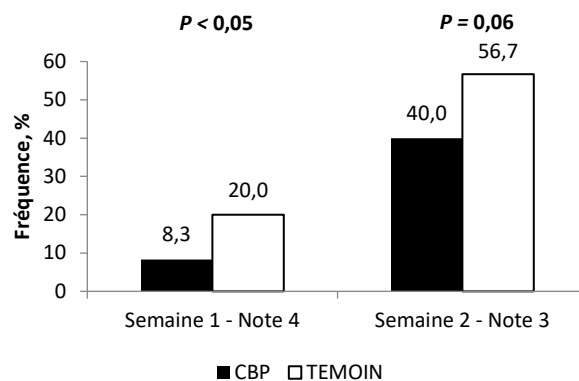


Figure 1 – Prévalence des fèces aqueuses (note 4) et liquides (note 3) sur les 2 premières semaines expérimentales

Aucun effet statistique n'a été observé sur le poids des animaux, ni sur l'IC (Tableau 1). Ce dernier était de 1,27 chez les porcelets du groupe CBP contre 1,31 pour le groupe TEMOIN ($P > 0,10$). Malgré la moindre sensibilité des porcelets aux troubles intestinaux, ces effets n'ont pas eu de répercussion significative sur les performances des porcelets supplémentés en CBP. Néanmoins, de précédentes études ont montré un meilleur GMQ des porcelets de 21 à 42 jours d'âge lorsque ceux-ci étaient supplémentés avec une combinaison brevetée issue des mêmes plantes que celles testées dans le présent essai (Gloux *et al.*, 2015).

CONCLUSION

Cet essai suggère que dans un contexte où des troubles digestifs sont observés, la CBP a réduit significativement la sensibilité des porcelets aux désordres intestinaux en période du post-sevrage. De plus, la fréquence des traitements antibiotiques était inférieure dans le groupe de porcelets supplémentés en CBP en comparaison avec le groupe TEMOIN, apportant logiquement un bénéfice économique à la CBP.

Tableau 1 – Effet de la CBP sur les performances de croissance obtenues en premier âge post-sevrage (21 j – 43 j)

| | TEMOIN | CBP | ETR ¹ | Effet du régime ¹ |
|--|--------|------|------------------|------------------------------|
| Poids vif à 21 j, kg | 6,1 | 6,1 | 0,87 | NS |
| Poids vif à 43 j, kg | 11 | 11,4 | 0,92 | NS |
| Consommation moyenne journalière entre 21 et 43 j, g/j | 287 | 300 | 38 | NS |
| Gain moyen quotidien entre 21 et 43 j, g/j | 221 | 238 | 42 | NS |
| Indice de consommation entre 21 et 43 j, g/g | 1,31 | 1,27 | 0,09 | NS |

¹Modèle incluant les effets fixes du régime, de la salle, du poids au sevrage et leurs interactions. Seuil de significativité : $P < 0,05$. NS : non-significatif ($P > 0,10$). ETR : écart-type résiduel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Fan Q., Du E., Chen F., Tao W., Zhao N., Huang S., Guo W., Huang J., Wei J., 2023. Maternal Magnolol Supplementation during Pregnancy and Lactation Promotes Antioxidant Capacity, Improves Gut Health, and Alters Gut Microbiota and Metabolites of Weanling Piglets. *Metabolites*, 13, 797.
- Gloux A., Anton P., Marzin D., Dumont T., Benzoni G., 2015. Effet d'une combinaison d'extraits de plantes brevetée sur l'inflammation des cellules intestinales et sur les performances des porcelets au sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 38, 217-223
- Xia X, Wang H, Niu X, Wang H, Liu Z, Liu Y, Qi Z, Wang S, Liu S, Liu S., 2013. Assessment of the anti-diarrhea function of compound Chinese herbal medicine Cangpo Oral Liquid. *Afr. J. Tradit. Complement Altern. Med.*, 11, 140-147
- Yang T-C., Zhang S-W., Sun L-N., Wang H., Ren A-M., 2008. Magnolol attenuates sepsis-induced gastrointestinal dysmotility in rats by modulating inflammatory mediators. *World J. Gastroenterol.*, 14, 7353-7360.



Effets d'un ingrédient phytogénique sur les performances de reproduction des truies et les performances de croissance des porcelets avant sevrage

Álvaro ORTIZ GARCIA (1), Balachandar JAYARAMAN (2), Mathieu LEPOUDERE (3), Maria MENDOZA (4), John K. HTOO (5)

(1) Evonik Operations GmbH, Gabriel García Marquez 4, 1, 28232 Madrid, Espagne

(2) Evonik Methionine SEA Pte. Ltd., 101 Banyan Ave, 627722 Singapour, Singapour

(3) Evonik Operations GmbH, 2 rue au Duc, 35000 Rennes, France

(4) Evonik Corporation, 1701 Barrett Lakes Blvd, Kennesaw, GA 30144, États-Unis

(5) Evonik Operations GmbH, Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau-Wolfgang, Allemagne

mathieu.lepoudere@evonik.com

Effects of a phytogetic feed ingredient on the reproductive performance of sows and the growth performance of suckling piglets

A study was conducted to evaluate the effects of the dietary supplementation of a phytogetic feed ingredient during the last five days of gestation until the end of lactation (31 days in total) on the performance of sows and suckling piglets. A total of 20 sows consisting of 10 replicates per treatment were allotted to two dietary treatments: a basal diet in mash form (Control) and a control diet supplemented with a phytogetic ingredient, with a minimum of 10 % flavonoid content, at 400 g/t (Trial). Blood samples were collected from all sows on day 3 of lactation to analyse TNF- α and haptoglobin concentrations. Moreover, faecal samples were collected on day 21 of lactation to analyse faecal myeloperoxidase and calprotectin levels. Results of the trial showed that the phytogetic supplementation diet during late gestation and lactation, compared to the control diet, tended to increase the initial litter weight at farrowing (21.1 vs. 18.6 kg, $P = 0.09$), and at weaning, the difference being not significant (102.7 vs. 90.9 kg, $P = 0.12$). The trial group had a numerically (i.e. 10 %) larger final litter size at weaning than the control group did (13.9 vs. 11.9 piglets, respectively, $P = 0.27$). Sows fed the phytogetic diet showed a significant ($P < 0.05$) lower serum haptoglobin concentration in comparison with those fed the control diet (2732 vs. 2114 $\mu\text{g/ml}$, respectively), indicating reduced inflammation. In conclusion, the results demonstrated that the phytogetic ingredient supplementation reduces the haptoglobin concentration in the blood which indicates an improved systemic inflammatory status of the sows.

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Un des plus grands défis de l'industrie porcine actuelle est de maintenir des truies hautement productives en bonne santé, capables de sevrer un grand nombre de porcelets et de conserver de bonnes performances de reproduction au cours de leurs différents cycles de production (Niemi *et al.*, 2017). Cependant, les truies hyper-prolifiques sont très sensibles aux pathologies pendant la période péri parturiente, celles-ci pouvant entraîner des changements au niveau de la consommation d'aliments et de l'homéostasie endocrinienne, avec pour conséquences des effets négatifs sur les performances de reproduction et de la portée (Martineau *et al.*, 2013 ; Kaiser *et al.*, 2018ab). De plus, la mise-bas reste une période critique en production porcine, car le nombre et la qualité des porcelets sevrés sont des facteurs clés de la rentabilité des élevages. L'inflammation et le stress autour de la mise-bas doivent être maîtrisés rapidement pour assurer une bonne santé de la truie (Bjorkman *et al.*, 2022). Une réduction de l'inflammation permettrait en effet de limiter les risques d'apparition de maladies, de douleurs, de fatigue et d'anorexie, néfastes au bien-être de la truie et à sa capacité à produire du

lait pour les porcelets (Kaiser *et al.*, 2018a). Parmi les solutions permettant d'améliorer les performances et l'état de santé des truies, les additifs et ingrédients phytogéniques sont aujourd'hui couramment utilisés. Certains d'entre eux contiennent des flavonoïdes qui sont facilement absorbés par l'intestin et qui passent dans la circulation sanguine, ayant ainsi un effet anti-inflammatoire plus systémique (Windisch *et al.*, 2008).

L'étude qui suit avait pour objectifs d'évaluer l'effet de la supplémentation d'un ingrédient phytogénique dans l'aliment distribué à la fin de la gestation et pendant la lactation sur les performances de reproduction des truies et les performances de croissance des porcelets avant sevrage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et aliments

Un total de 20 truies élevées en groupe (Topigs TN-70 x DanAvl Duroc) a été réparti entre deux traitements de 10 répétitions chacun (cinq multipares et cinq cochettes). Le régime témoin était un aliment de type lactation à base d'orge, maïs et blé, et

le régime essai était identique au régime témoin mais supplémenté avec 400 g/tonne de l'ingrédient phytogénique PhytriCare® IM (Evonik). Ce dernier est composé d'un mélange de quatre extraits de plantes : raisin, romarin, houblon et thé vert, avec une teneur minimale de 10 % de flavonoïdes.

L'essai s'est déroulé pendant les 5 derniers jours de la gestation et les 26 jours de lactation, soit une durée totale de 31 jours, et a été réalisé en Hongrie dans des conditions commerciales.

1.2. Traitements, mesures et calculs

La condition corporelle des truies (grille de notation visuelle selon une échelle de 1 (maigre) à 5 (grasse)), la taille de la portée ainsi que le nombre de porcelets nés vivants et mort-nés ont été mesurés. Pour les porcelets, le poids à la naissance et au sevrage, et le gain de poids moyen quotidien calculé. En complément, des échantillons de sang ont été prélevés, sans jeûne préalable, dans la veine jugulaire de toutes les truies au jour 3 de la lactation. Des prélèvements fécaux ont été réalisés sur toutes les truies au jour 21 de la lactation. Des tests ELISA ont permis de mesurer les concentrations de quatre biomarqueurs de l'inflammation : le TNF- α et l'haptoglobine au niveau sanguin et la myéloperoxydase et la calprotectine au niveau fécal.

Les données ont été analysées par ANOVA à l'aide de la procédure Mixed de SAS (v9.4, Inst. Inc. Cary, NC) avec le traitement et la parité comme effets fixes, la truie comme unité expérimentale et un seuil de signification de 5 %.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

A l'issue de la période d'essai, le score de l'état corporel des truies n'était pas différent ($P > 0,05$) entre les deux traitements. Les truies du groupe essai tendaient à avoir une taille de portée moyenne plus élevée à la mise-bas ($P = 0,09$) mais pas au sevrage ($P = 0,27$) par rapport au groupe témoin (Figure 1). Les poids de portée moyens tendaient à être plus élevés pour le groupe essai à la naissance (21,1 vs. 18,6 kg, $P = 0,09$), mais au sevrage la différence était seulement numérique (102,7 vs. 90,9 kg, $P = 0,12$).

Concernant les biomarqueurs de l'inflammation, calprotectine, myéloperoxydase et TNF- α , les différences de concentrations entre les deux traitements n'étaient pas significatives ($P > 0,05$) (Tableau 1). A l'inverse les truies du groupe essai présentaient des concentrations d'haptoglobine sérique significativement inférieures ($P = 0,03$) en comparaison avec le témoin. L'haptoglobine sérique peut être considérée comme un

biomarqueur efficace pour contrôler l'effet d'un additif sur les performances zootechniques des porcs (Saco *et al.*, 2010). Les protéines de phase aiguë telles que l'haptoglobine sont également des indicateurs connus d'un système immunitaire inné activé et peuvent être utilisées comme indicateur de l'inflammation (Sali *et al.*, 2021). Une concentration plus faible en haptoglobine dans le groupe essai indique donc un meilleur statut inflammatoire des truies.

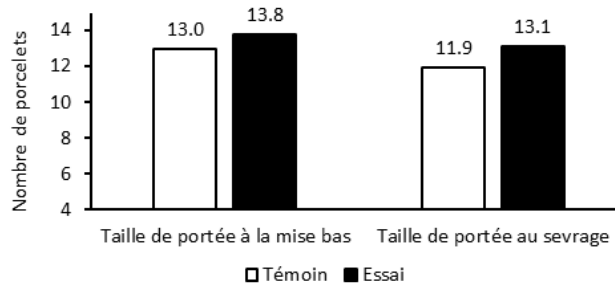


Figure 1 – Tailles moyennes des portées

Les résultats observés sur la portée pourraient s'expliquer par le mode d'action de l'ingrédient phytogénique qui consiste à atténuer la réponse inflammatoire. Le besoin en énergie nécessaire à la production de cellules immunitaires et à plusieurs changements hormonaux associés à l'inflammation serait ainsi réduit au profit de la mise-bas, avec une amélioration de l'état physiologique des truies et du nombre de porcelets nés vivants.

Tableau 1 – Concentrations des différents biomarqueurs de l'inflammation au niveau sanguin et fécal

| Paramètres | Témoin | Essai | ESM ¹ | P ² |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Calprotectine, ng/ml | 74,0 | 76,5 | 1,38 | 0,22 |
| Myéloperoxydase, ng/ml | 125 | 227 | 70,4 | 0,32 |
| Haptoglobine, μ g/ml | 2732 ^a | 2114 ^b | 185 | 0,03 |
| TNF- α , pg/ml | 60 | 52 | 24,0 | 0,81 |

¹ ESM : erreur standard de la moyenne.

² Données traitées par ANOVA avec un seuil de signification de 5 %.

CONCLUSION

La supplémentation avec un ingrédient phytogénique riche en flavonoïdes dans l'alimentation des truies en fin de gestation et pendant la lactation tend à augmenter le nombre de porcs nés vivants. Elle a également eu un effet significatif sur la concentration sérique d'haptoglobine, synonyme d'une amélioration de l'état inflammatoire systémique des truies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Björkman S., Kauffold J., Kaiser M.O., 2022. Reproductive health of the sow during puerperium. *Mol. Reprod. Dev.*, 90, 561-579.
- Kaiser M., Jacobson M., Andersen P. H., Bækbo P., Cerón J.J., Dahl J., Escibano D., Jacobsen S., 2018a. Inflammatory markers before and after farrowing in healthy sows and in sows affected with postpartum dysgalactia. *BMC Vet. Res.*, 14, 83.
- Kaiser M., Jacobson M., Andersen P. H., Bækbo P., Cerón J.J., Dahl J., Escibano D., Theil P. K., Jacobsen M., 2018b. Hormonal and metabolic indicators before and after farrowing in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *BMC Vet. Res.*, 14, 1–11.
- Martineau G. P., Le Treut Y., Guillou D., Waret-Szkuta A., 2013. Postpartum dysgalactia syndrome: A simple change in homeorhesis? *J. Swine Health Prod.*, 21, 85-93.
- Niemi J. K., Bergman P., Ovaska S., Sevón-Aimonen, M.L., Heinonen M., 2017. Modeling the costs of postpartum dysgalactia syndrome and locomotory disorders on sow productivity and replacement. *Frontiers Vet Sci.*, 4, 181.
- Saco Y., Fraile L., Giménez M., Pato R., Montoya M., Bassols A., 2010. Haptoglobin serum concentration is a suitable biomarker to assess the efficacy of a feed additive in pigs. *Animal*, 4, 1561-1567.
- Sali V., Veit C., Valros A., Junnikkala S., Heinonen M., Nordgreen J., 2021. Dynamics of salivary adenosine deaminase, haptoglobin, and cortisol in lipopolysaccharide-challenged growing pigs. *Frontiers Vet Sci.*, 8, 698628.
- Windisch W., Schedle K., Plitzner C., Kroismayr A., 2008. Use of phytogetic products as feed additives for swine and poultry. *J. Anim Sci.*, 86, (14 Suppl), E140–E148, 10.2527/jas.2007-0459.



Effets de l'incorporation de larves de *Tenebrio molitor* dans l'aliment des porcelets

Didier GAUDRÉ (1), Manon JAUBERT (2), Rémi CHAUSSE (3), Rosa CASTELLANO (4) Paul BARNERON (5)

(1) IFIP-institut du porc, La Motte au Vicomte, 35650 Le Rheu, France

(2) Ynsect, 1 rue Pierre Fontaine, Campus 3 - Bâtiment 2, 91000 Evry, France

(3) ARC Nutrition, Crenan, 27, 22800 Le Foel, France

(4) Vilofoss, Z.I. de la Gare, 22690 Pleudihen sur Rance, France

(5) MG2mix, La Basse Haye, 35220 Chateaubourg, France

didier.gaudre@ifip.asso.fr

Effects of *Tenebrio molitor* larva incorporation in the piglet diet

This trial was conducted to assess effects of feeding dried defatted mealworm meal (*Tenebrio molitor* larva) on growth performance, the blood profile and faecal dry matter content of weaning pigs. A total of 260 weaning pigs (28 days of age, mean body weight of 9.03 kg) were assigned to one of four treatments based on sex and body weight in 10 replicates, with 6-7 pigs per pen in a randomized complete block design. All pigs were given *ad libitum* access to feed and water. Two-phase feeding programs (phase 1 from day 0-14, phase 2 from day 14-42) were used. Supplementation of dried defatted mealworm meal (75 % protein, 10 % fat) was 0, 3, 6 or 9 % in the phase 1 diet and 0, 4, 8 or 12 % in the phase 2 diet at the expense of soy products. Average daily gain, average daily feed intake and blood profile did not differ significantly whatever the diet percentage of mealworm meal. During phase 2, the feed conversion ratio of the 2 diets that contained the highest percentage of mealworm meal were significantly worse than that of the control diet. The faecal dry matter content was significantly better with the highest mealworm meal compared to the control. Overall, this trial indicated that dried defatted mealworm could be used as a concentrate protein ingredient for weaning pigs up to 3-4 % without affecting the performances.

INTRODUCTION

Toutes les filières animales cherchent à diminuer l'importation de matières premières protéiques. Les farines d'insectes appartiennent à la catégorie des sources de protéines concentrées, mais leurs caractéristiques nutritionnelles sont peu documentées et les essais d'incorporation dans les aliments porcs ont fait l'objet de peu de publications. Cet essai propose donc de faire le point des possibilités d'incorporation de concentrés de protéines séchées et dégraissées issus de larves de *Tenebrio molitor* dans les aliments de post-sevrage. Cette farine d'insectes se caractérise par une teneur en protéines de 75 %, une teneur en lysine de 41 g/kg et une teneur en matières grasses de 10 % sur produit brut. Le profil en acides aminés est intéressant en thréonine, tryptophane et valine, mais déficitaire en méthionine et cystine.

1. MATERIEL ET METHODES

L'incorporation de farine d'insectes (YnMeal®) dans l'alimentation de porcelets en post-sevrage, est testée en utilisant 260 animaux sevrés à quatre semaines d'âge, et répartis entre quatre traitements. Chaque traitement est composé d'un aliment 1^{er} âge distribué pendant deux semaines après sevrage, et d'un aliment 2^{ème} âge distribué pendant les quatre semaines suivantes.

La farine d'insectes est introduite à hauteur de 0, 3, 6 et 9 % dans l'aliment de 1^{er} âge, puis de 0, 4, 8 et 12 % dans l'aliment de 2^{ème} âge, respectivement pour les traitements CONTROL, LOW, MIDDLE et HIGH. La digestibilité des acides aminés de la farine d'insectes est estimée à partir du coefficient de digestibilité iléale mesuré *in vitro* (82 %) et appliqué à tous les acides aminés. En l'absence de mesures *in vivo*, la teneur en énergie nette a été estimée à 11 MJ/kg à partir des données nutritionnelles de larves de vers de farine déshydratées (Feedtables.com). Les formules d'aliments sont iso nutritionnelles pour chaque stade de distribution. La farine d'insectes remplace progressivement le tourteau, l'huile, la graine extrudée et le concentré de protéines de soja dans le 1^{er} âge, le tourteau et l'huile de soja dans le 2^{ème} âge. Les aliments sont granulés et distribués à volonté. La mise en lots au sevrage se base sur le poids et le sexe et constitue 10 blocs complets de quatre cases au sexe ratio identique. Les performances zootechniques (vitesse de croissance, consommation d'aliment, indice de consommation) sont comparées par période. En complément, après trois semaines de post-sevrage, le taux de matière sèche des fèces (TMSF) est mesuré sur 20 porcelets par traitement, la formule et la numération sanguines sont réalisées sur 10 porcelets par traitement. La case constitue l'unité expérimentale. Pour chaque période, les performances sont comparées par analyse de variance en prenant en compte les effets du traitement et du bloc.

Les comparaisons de moyennes deux à deux sont effectuées à l'aide du test de Tukey. Les caractéristiques sanguines et le TMSF sont comparés par un test non paramétrique. Le logiciel SAS®(v9.4, SAS Inst. Inc., Cary, NC) est utilisé.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'essai se déroule dans de très bonnes conditions sanitaires. Le taux de mortalité est seulement de 1,5 % et aucun traitement thérapeutique collectif n'est appliqué. Il n'y a pas de différence significative entre traitements pour la vitesse de croissance, la consommation d'aliment et le poids des animaux quelle que soit la période considérée (Tab. 1). Un effet significatif du traitement est constaté pour l'indice de consommation en phase de 2^{ème} âge et une tendance est observée pour l'indice de consommation de post-sevrage, mais seul un écart significatif entre les traitements CONTROL d'une part, MIDDLE et HIGH, d'autre part en période de 2^{ème} âge, en défaveur de ces derniers, est constaté. Or ces écarts sont faibles et sont en accord avec l'absence de détérioration des performances zootechniques des porcelets en présence de larves de *Tenebrio molitor* dans

les publications disponibles (Jin *et al.*, 2016, Ji *et al.*, 2016).

Les caractéristiques sanguines ne présentent aucune différence significative entre traitements (données non montrées). Le TMSF du traitement CONTROL est significativement inférieur à celui du traitement HIGH (respectivement 21,9 et 24,3 %). La figure 1 montre l'absence du traitement HIGH dans les échantillons dont le TMSF est inférieur à 21,2 % (moyenne des échantillons moins un écart-type), alors qu'à l'inverse le traitement CONTROL représente 50 % des échantillons dont le TMSF est inférieur à ce seuil. Ce résultat est en accord avec Ji *et al.* (2016) qui observent une réduction des diarrhées chez des porcelets avec ce type de farine d'insectes.

CONCLUSION

Le concentré de protéines séchées et dégraissées issu de larves de *Tenebrio molitor* représente une ressource adaptée pour le porcelet. Ses caractéristiques nutritionnelles doivent cependant être précisées. Un effet favorable sur la consistance des fèces semble se dessiner également.

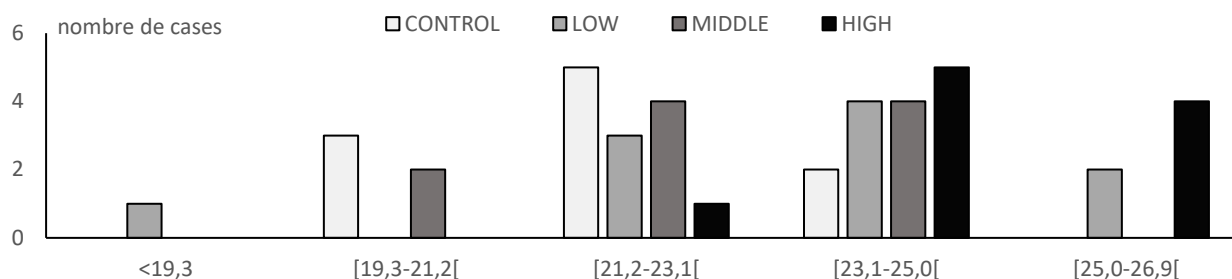
Tableau 1 – Performances zootechniques obtenues par traitement expérimental

| | CONTROL | LOW | MIDDLE | HIGH | Effets ¹ | ETR ¹ |
|---|---------|--------|--------|-------|---------------------|------------------|
| Poids initial, kg | 9,04 | 9,00 | 9,03 | 9,05 | B** | 0,04 |
| Période de 1 ^{er} âge (0-14 jours) | | | | | | |
| Poids final, kg | 11,48 | 11,62 | 11,54 | 11,64 | B** | 0,40 |
| GMQ ² , g/j | 175 | 187 | 179 | 185 | | 29 |
| CMJ ² , g/j | 272 | 266 | 264 | 267 | | 49 |
| IC ² , kg/kg | 1,55 | 1,44 | 1,49 | 1,46 | | 0,19 |
| Période de 2 ^{ème} âge (14-42 jours) | | | | | | |
| Poids final, kg | 30,28 | 30,36 | 30,55 | 30,37 | B** | 1,10 |
| GMQ ² , g/j | 671 | 672 | 679 | 669 | B** | 33 |
| CMJ ² , g/j | 1003 | 1017 | 1054 | 1041 | B** | 55 |
| IC ² , kg/kg | 1,49a | 1,51ab | 1,55b | 1,56b | T** | 0,04 |
| Période totale (0-42 jours) | | | | | | |
| GMQ ² , g/j | 506 | 509 | 512 | 508 | B** | 26 |
| CMJ ² , g/j | 759 | 760 | 790 | 783 | B** | 50 |
| IC ² , kg/kg | 1,50 | 1,50 | 1,55 | 1,54 | T ^t | 0,05 |

¹A partir de l'analyse de variance de l'effet du traitement et bloc (B); ETR = écart-type résiduel ; niveaux de signification : * : P < 0,05 ** : P < 0,01. Les données présentées correspondent aux moyennes ajustées, des lettres différentes pour un même critère indiquent que les moyennes entre traitement sont significativement différentes selon le test de Tukey au seuil de 5%.

²GMQ = gain moyen quotidien, CMJ = consommation moyenne journalière, IC = indice de consommation

Figure 1 - Répartition¹ des taux de matière sèche (%) des fèces selon le traitement



¹ Histogramme dont les intervalles sont établis à partir de multiples de l'écart-type (1,9 %) autour de la moyenne (23,1 %) des TMSF par case.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jin X. H., Heo P. S., Hong J. S., Kim N. J., Kim Y. Y., 2016. Supplementation of dried mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on growth performance, nutrient digestibility and blood profiles in weaning pigs. Asian Austral. J. Anim. 29:979-986.
- Ji Y. J., Liu H. N., Kong X. F., Blachier F., Geng M. M., Liu Y. Y., Yin Y. L., 2016. Use of insect powder as a source of dietary protein in early-weaned piglets. J. Anim. Sci. 94:111-116



Quels sont les effets d'une augmentation du ratio céréales cuites sur céréales totales sur les performances du porcelet sevré ?

Noémie LEMOINE, Antoine RAULT, David BRILLOUET, David GUILLOU

Mixscience 2,4 avenue de Kerlann 35170 Bruz

noemie.lemoine@mixscience.eu

Avec la collaboration de Sophie Cadieu et la station Euronutrition

Effects of increasing cooked to total cereal ratio on performance of weaned piglets

Because piglets have immature digestive tract at weaning, their feed are usually designed to be digested easily. Feeding cooked cereals, providing readily digestible starch, could improve piglet performance and reduce digestive troubles by decreasing the proportion of fermentable substrate entering the large intestine. The objective of this trial was to evaluate effects of increasing the cooked:total cereal ratio (C:T) on piglets performance and health. At weaning, 240 piglets were allocated to four dietary treatments in the pre-starter period (until d20 post-weaning) varying in C:T ratio (10, 20, 30 or 40 %). Then, all pigs received the same starter feed until the end of the trial. Pigs were weighed individually on d0, d7, d20 and d48 of the trial. Feed intake was assessed per pen. Faecal score was recorded daily. One third of piglets needed medicated care against diarrhea during the trial. Mortality and number of health care did not differ among dietary treatments. Faecal score did not differ among the groups either ($P_{\text{Chi}^2} > 0.05$). Average daily gain of C:T-20% piglets was higher between d0 and d7 (+32 g/day, $P=0.02$), and tended to remain higher between d0 and d20 ($P=0.08$). Consequently, body weight at end of the pre-starter phase also tended to be higher (+460 g/pig). Piglet feed intake did not differ among the groups from d0 to d20, thus feed conversion ratio tended to be lower by -0.11 units ($P=0.06$) for C:T-20% group. In conclusion, increasing C:T ratio above 20 % did not improve piglet performance.

INTRODUCTION

Au sevrage, le tractus digestif du jeune porcelet est immature (Lallès *et al.*, 2007). Les céréales sont la principale source d'amidon dans les aliments et appliquer un traitement thermique préalable augmente leur digestibilité dans l'intestin grêle (Rodrigues *et al.* 2016 ; Medel *et al.* 2004). L'apport de céréales cuites pourrait donc améliorer les performances et réduire les problèmes digestifs en diminuant la part indigestible disponible pour les bactéries du gros intestin. L'objectif de cet essai était d'évaluer les effets de l'augmentation du ratio céréales cuites/céréales totales (C/T) sur les performances et le statut sanitaire des porcelets.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et logement

L'essai s'est déroulé à la station de recherche Euronutrition (72) en 2021. Un total de 240 porcelets sevrés à 21 jours étaient répartis dans 48 cases de post-sevrage. Ils étaient issus des truies de l'élevage (Libra*, Hypor France), inséminées avec de la semence de verrats Maxter (Hypor France). Pour la mise en lots, 12 blocs de 4 cases homologues de 5 porcelets étaient constitués sur la base du poids moyen, du sexe ratio, et de

l'origine maternelle. Les quatre cases de chaque bloc étaient ensuite réparties aléatoirement dans les 4 lots. Chaque case disposait d'un nourrisseur et d'un abreuvoir. La salle était conduite en « tout plein, tout vide », avec lavage et désinfection entre chaque groupe d'animaux.

1.2. Aliments

En 1^{er} âge, les 4 aliments étaient iso-nutritionnels 17,8% protéine brute, 1,45% lysine dig et 10,9 MJ/kg d'énergie nette. Ils étaient formulés pour avoir des ratios céréales cuites sur céréales crues égaux à 10%, 20%, 30% et 40% (lots C/T10, C/T20, C/T30 et C/T40). Pour cela, le blé était substitué part un mélange d'avoine floconnée, de farine de biscuits et de blé extrudé.

L'aliment 2^{ème} âge était commun (9,7 MJ/kg d'énergie nette, 16,8 % protéine brute, 1,06 % lysine digestible). L'aliment 2^{ème} âge n'avait pas de céréales cuites dans sa composition.

1.3. Mesures et analyses

Les porcelets étaient pesés individuellement à J0, J7, J20 et J48. Les refus alimentaires ont été comptabilisés le jour des pesées par cases. Les gains moyen quotidiens (GMQ), les consommation moyennes journalières (CMJ), et l'indice de

consommation pour chaque période étaient calculés par case. L'état sanitaire et les mortalités des porcelets étaient suivis quotidiennement : 0=fèces normales, 1=fèces molles, 2=fèces liquides, 3= fèces très liquides.

Les variables zootechniques étaient analysées avec une analyse de la variance, intégrant un effet du Ratio C/T et du bloc de mise en lots. La case était l'unité statistique. Les calculs étaient réalisés à l'aide de la console R studio (R studio 2023.06.1).

Les données sanitaires étaient analysées avec un test du chi-deux d'indépendance.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 présente les résultats sanitaires en post-sevrage. Un porcelet est mort sur la période 0-20J dans le groupe C/T30 à la suite d'une forte diarrhée. Deux porcelets sont morts en sur la période 20-48J (lots C/T10 et C/T40) pour raison inconnue. Le nombre de porcelets soignés pour diarrhées aqueuses sur la période 0-20J ne dépendait pas du lot. Numériquement, sur la période 20-48J âge, le nombre de porcelets soignés pour diarrhées aqueuses était supérieur dans le lot ayant eu le l'aliment C/T40 en 1^{er} âge. Cette dégradation du sanitaire pourrait indiquer un déséquilibre des fermentations caeco-coliques, en lien avec des modifications qualitatives des nutriments ou physiques (viscosité...) dues à la cuisson.

Tableau 1 - Résultats sanitaires

| % céréales cuites / céréales totales | 10 | 20 | 30 | 40 | P Chi ² |
|---|----|----|----|----|--------------------|
| Nombre de morts en PS | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| Nombre de porcelets soignés pour diarrhée aqueuse en 1er âge | 20 | 20 | 24 | 17 | P=0,605 |
| Nombre de porcelets soignés pour diarrhée aqueuse en 2ème âge | 2 | 5 | 2 | 10 | |

Entre J0 et J7, le gain moyen quotidien (GMQ) des porcelets du lot C/T20 était plus élevé de 32 g/j par rapport aux trois autres lots (P=0,022) conférant un poids vif supérieur de 230 g en moyenne à J7. Sur la période J0-J20, le GMQ de ces animaux tendait à être supérieur de 32 g/j (P=0,083- Figure 1) conférant un poids en fin de 1^{er} âge supérieur de 461g. Sur la période J20-J48, la croissance n'était pas significativement différente entre les 4 groupes.

Entre J0 et J7, la CMJ tendait à être plus élevée dans le lot C/T20 (P=0,08) (Figure 2). La CMJ des porcelets n'était pas significativement différente entre les lots sur les autres périodes étudiées. Sur la période 0-20 jours, l'IC tendait à être plus faible de 0,11 point pour les porcelets consommant un

aliment avec un ratio C/T=20 par rapport aux autres porcelets. La baisse de consommation observée en début de 1^{er} âge au-delà de C/T20 pourrait être liée aux sécrétions de glucose et d'insuline dans le sang après le repas. En effet, appliquer un traitement thermique sur les céréales augmente la part d'amidon rapidement digestible, et en conséquence le glucose et l'insuline circulant pouvant induire une satiété limitant l'ingestion des animaux (GAO *et al* 2020 ; Menoyo *et al.* 2011). Les résultats de cette étude suggèrent donc, qu'il existe un seuil au-delà duquel les performances ne progressent plus. Toutefois, Pluske *et al.* (2007) ont rapporté que la digestion de l'amidon dépendait de la source de riz cuit chez le porcelet. Alors, il est possible que le ratio C/T optimal dépende également de la source.

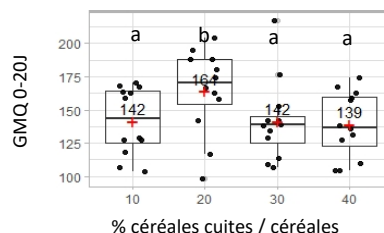


Figure 1 – GMQ 0-20 jours en fonction du ratio C/T (P=0,08)

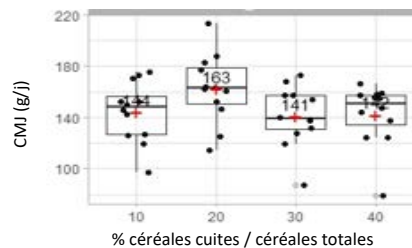


Figure 2 – CMJ 0-7 jours en fonction du ratio C/T (P=0,08)

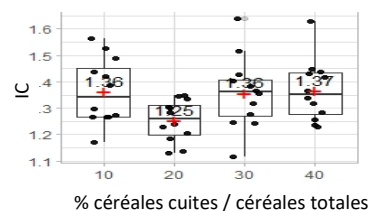


Figure 3 – IC 1^{er} âge en fonction du ratio C/T (P=0,06)

CONCLUSION

Pour conclure, une étude complémentaire serait nécessaire pour expliquer le mode d'action, incluant une courbe réponse au ratio C/T afin de déterminer l'optimum plus précisément.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lallès J.P., Bosi P., Smidt H., Stoke C., 2007, Nutritional management of gut health in pigs around weaning, Proc Nutr Soc,66, 260–268
- Medel P., Latorre M.A., de Blas C., Lázaro R., Mateos G.G., 2004, Heat processing of cereals in mash or pellet diets for young pigs, Anim. Feed Sci. Technol., 113,127–140
- Pluske J.R., Montagne L., Cavaney F.S., Mullan B.P., Pethick D.W., Hampson D.J., 2007. Feeding different types of cooked white rice to piglets after weaning influences starch digestion, digesta and fermentation characteristics and the faecal shedding of β-haemolytic Escherichiacoli. Br. J. Nutr., 97, 298-306.
- Rodrigues A., Badiola I., Francesch M., Torrallardona D., 2016, Effect of cereal extrusion on performance, nutrient digestibility, and cecal fermentation in weanling pigs, J. Anim. Sci., 94, 298–302
- Gao X., Yu B., Mao X., Huang Z., Luo Y., Zheng P., He J., Chen D. 2020, Effects of Dietary Starch Structure on Growth Performance, Serum Glucose–Insulin Response, and Intestinal Health in Weaned Piglets, Animals 10, 543
- Menoyo D, Serrano MP, Barrios V, Valencia DG, Lázaro R, Argente J, Mateos G.G., 2011, Cereal type and heat processing of the cereal affect nutrient digestibility and dynamics of serum insulin and ghrelin in weanling pigs. J. Anim. Sci., 89, 2793–2800.



Stratégies nutritionnelles pour réduire les niveaux de phosphates inorganiques, améliorer les performances et maintenir une minéralisation osseuse optimale des porcelets

Tristan BREHELIN (1), Cécile ROUGIER-BORNE (1), Xavière ROUSSEAU (2), Gustavo CORDERO (2)

(1) TECHNIA FRANCE NUTRITION, Route de St-Etienne-de-Montluc D101 - BP10, 44220 Couëron, France

(2) ABVISTA, 3 Woodstock Court, Blenheim Road, Marlborough Business Park, Marlborough, SN8 4AN, United Kingdom

tristan.brehelin@groupe-techna.com

Nutritional strategies to reduce the inorganic phosphate level while improving performance and maintaining optimal bone mineralisation

The objective of this study was to test impacts of different nutritional mechanisms (reducing calcium (Ca), superdosing phytase, using phytic phosphorus) on piglets fed without inorganic phosphate. A total of 147 piglets were divided among 5 experimental diets. Three levels of digestible P were tested by adding monocalcium phosphate (MCP) to a negative control diet (NC) without MCP, a diet with 0.3 % MCP (NC+0.3 % MCP) and a diet with 0.6 % MCP (NC+0.6 % MCP). These three diets contained 250 FTU/kg of a phytase (Quantum Blue, ABVISTA). For the other two diets, two doses were added to the NC diet: 2000 FTU/kg (NC+2000 phy) or 3000 FTU/kg (NC+3000 phy). Piglets were weighed individually at 42, 55 and 69 days of age, and feed intake per phase was recorded per pen. At the end of the experiment, 60 piglets were selected to analyse bone mineralization. The reduction of Ca in NC maintained growth performance better than NC+0.3 % and NC+0.6 % MCP but decreased the percentage of bone mineralization (30.4 % vs 34.6 %, respectively). Phytase supplementation at 2000 and 3000 FTU/kg improved feed efficiency (1.60 vs 1.50 for NC and NC + 3000 phy, respectively; $P < 0.05$) and bone mineralisation ($P < 0.05$). This experiment confirms the benefit of reducing the Ca level in piglet feed without decreasing performance and ability to overcome dependence on inorganic phosphates by optimising the use of phytase.

INTRODUCTION

Le phosphore (P) est indispensable à la croissance, au développement et au maintien de la minéralisation, mais son utilisation est au cœur d'enjeux économiques, environnementaux et de pérennité de l'approvisionnement. En porcelet, la diminution de l'apport en calcium (Ca) permet d'améliorer la libération de P et de Ca à des doses élevées de phytases « superdosing phytase » (Zhai et al., 2023). En parallèle, la déplétion-réplétion en Ca et en P pour le porc en engraissement permet d'améliorer l'efficacité d'utilisation de ces minéraux sans affecter les performances et la minéralisation osseuse (Lautrou et al., 2021). L'objectif de cette étude était de tester l'effet d'une réduction de l'apport de calcium et phosphore avec des régimes sans phosphate inorganique et l'intérêt du concept de superdosing phytase chez des porcelets pour limiter la dépendance aux phosphates inorganiques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et dispositif expérimental

L'essai a été conduit à la station expérimentale de Saint Symphorien (72, France) sur 147 porcelets Piétrain × (Large White × Landrace) de 42 à 69 jours d'âge. Les porcelets ont été répartis en cinq traitements alimentaires (six cases de cinq porcelets recevant le même régime alimentaire) en fonction de leur mère biologique et de leur poids au sevrage. Les porcelets ont été pesés individuellement à 42, 55 et 69 jours d'âge et le gain moyen

quotidien (GMQ) calculé par période. La consommation alimentaire est mesurée par case pour calculer la consommation moyenne journalière (CMJ) et l'indice de consommation (IC) par période (42-55 ; 55-69 ; 42-69 jours d'âge). A 69 jours d'âge, le métacarpe droit de 60 porcelets (12 porcelets par traitement sélectionnés selon le poids moyen de chaque case) a été prélevé pour mesure de la minéralisation osseuse.

1.2. Aliments

Le dispositif expérimental consiste en 5 régimes expérimentaux avec 3 niveaux de P digestible ajustés via l'apport de phosphate monocalcique (MCP) : un régime témoin négatif (TN) sans MCP, un régime TN + 0,3% MCP et un régime TN+0,6% MCP. Ces 3 régimes contenaient 250 FTU/kg de phytase (Quantum Blue, AB Vista). Deux autres régimes contenaient des suppléments de phytase différentes : 2000 FTU/kg (TN+2000 phy) et 3000 FTU/kg (TN+3000 phy). Les valorisations matricielles minérales du fournisseur ont été appliquées (0,116% Ca et 0,089% Pdig ; 0,264% Ca et 0,204% Pdig pour 250 et 2000 FTU/kg, respectivement). La valorisation à 2000 FTU/kg a été appliquée pour le régime à 3000 FTU/kg. Les aliments ont été formulés avec un ratio en Ca/Pdig de 2,1. Une teneur de 0,27% de phytate a été fixée permettant de libérer le niveau de P attendu. Les porcelets avaient libre accès à l'aliment et à l'eau.

1.3. Analyses statistiques

Les données par case (CMJ, IC) et individuelles (poids, GMQ) sont soumises à une analyse de variance avec le régime

expérimental en effet fixe (R, version 3.6.0). Pour les données individuelles, le poids initial est pris en compte en covariable ainsi que la mère et la case en facteur aléatoire. Les données de minéralisation osseuse sont soumises à une analyse de variance. Les comparaisons de moyennes deux à deux sont effectuées à l'aide du test de Tukey au seuil de 5%.

Tableau 1 – Composition et caractéristiques nutritionnelles des régimes expérimentaux

| Régimes | TN ² | TN+ 0,3% MCP | TN+ 0,6% MCP | TN+ 2000 phy | TN + 3000 phy |
|--------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Composition, % | | | | | |
| Blé | 42,0 | 41,5 | 41,0 | 41,5 | 41,5 |
| Orge | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 |
| Tourteau soja | 9,6 | 9,0 | 9,3 | 8,8 | 8,8 |
| Tourteau tournesol | 6,0 | 5,1 | 4,7 | 5,5 | 5,5 |
| Tourteau colza | 4,6 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 |
| Carbonate | | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| Phosphate (MCP) ³ | | 0,3 | 0,6 | | |
| Autres ¹ | 12,8 | 13,0 | 13,1 | 13,0 | 13,0 |
| Valeurs nutritionnelles | | | | | |
| EN ⁴ , MJ/Kg | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 9,7 |
| PB ⁵ , % | 17,5 | 17,4 | 17,4 | 17,4 | 17,4 |
| Lys DIG ⁶ , % | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| Calcium, % | 0,45 | 0,57 | 0,69 | 0,69 | 0,69 |
| Phosphore DIG, % | 0,21 | 0,27 | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| Phytate, % | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 | 0,27 |
| Phytase, FTU/kg | 250 | 250 | 250 | 2000 | 3000 |

¹Acides aminés, acidifiant, pré-mix, pulpe de betterave et gluten maïs. ²TN = témoin négatif, ³MCP = phosphate monocalcique, ⁴EN = énergie nette, ⁵PB = protéines brutes, ⁶Lys DIG : Lysine digestible iléale standardisée

RESULTATS

1.4. Performances zootechniques

Tableau 2 – Performances zootechniques et minéralisation osseuse

| Régimes | TN | TN+ 0,3% MCP | TN+ 0,6% MCP | TN+ 2000 phy | TN + 3000 phy | ETR ¹ | P ² |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Performances zootechniques - 42-69 jours d'âge | | | | | | | |
| Poids initial, kg | 11,3 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,5 | | |
| Poids final, kg | 28,8 | 28,7 | 29,0 | 30,1 | 30,3 | 2,4 | 0,053 |
| CMJ par case, g/j | 1035 | 1026 | 1020 | 1034 | 1046 | 64,6 | 0,071 |
| GMQ, g/j | 645 | 641 | 650 | 695 | 701 | 90,3 | 0,053 |
| IC par case | 1,60 ^a | 1,59 ^a | 1,57 ^a | 1,55 ^{ab} | 1,50 ^b | 0,14 | 0,002 |
| Minéralisation osseuse à 69 jours d'âge | | | | | | | |
| Humidité, % | 49,4 | 49,0 | 47,6 | 48,6 | 49,7 | 2,8 | 0,403 |
| Poids sec os, g | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,9 | 5,8 | 0,9 | 0,824 |
| Cendres, % | 30,4 ^b | 33,0 ^a | 34,6 ^a | 33,6 ^a | 35,2 ^a | 2,2 | <0,001 |
| Calcium, % | 11,0 ^b | 12,5 ^a | 12,6 ^a | 12,4 ^a | 13,1 ^a | 0,9 | <0,001 |
| Phosphore, % | 5,5 ^b | 6,2 ^a | 6,2 ^a | 6,2 ^a | 6,5 ^a | 0,5 | <0,001 |

¹ETR = Ecart-type résiduel, ²P² = p-value de l'analyse de variance ; un test de Tukey permet d'identifier les traitements différents. Les valeurs non indexées de la même lettre diffèrent (P < 0,05).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Zhai H-Z., Aureli R., Jenn P., Tschambser A., Gaytan-Perez I., Planchenault D., 2023. Effet des niveaux de calcium et de doses croissantes de phytase sur la digestibilité du phosphore et du calcium, les performances zootechniques et la minéralisation chez le porcelet sevré. Journ. Rech. Porcine, 55, 191-192.
- Lautrou M., Pomar C., Schimedly P., Letourneau-Montminy M.-P., 2021. Effets d'une déplétion-réplétion en phosphore et calcium sur les performances et la minéralisation osseuse des porcs en croissance. Journ. Rech. Porcine, 53, 163-168.

L'augmentation de la teneur en Pdig via l'apport de MCP n'améliore ni le poids vif (P=0,053), ni le GMQ (P=0,053), ni la CMJ (P=0,071). Le niveau bas de calcium sur le régime TN a probablement permis d'abaisser le pouvoir tampon de l'aliment et par conséquent augmenter la digestibilité globale de l'aliment. Le superdosing phytase à 2000 et 3000 FTU/kg sans phosphate monocalcique permet de maintenir les performances de croissance et la consommation en comparaison aux régimes TN, TN+0,3% MCP et TN+0,6% MCP. Le superdosing phytase à 3000 FTU/kg améliore significativement l'IC (-0,10 ; P= 0,002) comparativement au régime TN sans phosphate monocalcique.

1.5. Minéralisation osseuse

La baisse du Pdig et du Ca dans le régime TN entraîne une dégradation de la teneur en cendres osseuses, en calcium et en phosphore sans observations de problèmes d'aplombs majeurs comparé aux régimes avec phosphates inorganiques TN+0,3% et TN+0,6% MCP. Le superdosing de phytase à 2000 et 3000 FTU/kg sans MCP permet de maintenir les niveaux de cendres, calcium et de phosphore dans l'os en comparaison aux régimes NC+0,3% MCP et NC+0,6% de MCP.

CONCLUSION

Cet essai confirme l'intérêt de diminuer le niveau de calcium en porcelet afin de baisser le pouvoir tampon et d'optimiser la digestibilité du Ca et du P. L'utilisation de doses élevées de phytase est un levier pour améliorer significativement les performances de croissance et la minéralisation. Une teneur minimale en phytate de 0,27% doit être respectée pour garantir un niveau de substrat suffisant pour l'application de telles valeurs matricielles. Cet essai ouvre la possibilité de s'affranchir de la dépendance au phosphate inorganique sans dégrader les performances et la minéralisation en porcelet.



Effet d'une combinaison de phytase et d'acide formique sur les performances du porcelet et du porc en croissance et sur l'utilisation du phosphore

Pascal LETERME (1), Georg DUSEL (2), Katharina SCHUH-vonGRAEVENITZ (2), Dieter FEUERSTEIN (3), Julia TRAUTWEIN (3)

(1) BASF France S.A.S. ; 49, avenue Georges Pompidou, 92593 Levallois-Perret

(2) University of Applied Sciences Bingen; 109, Berlinstrasse, 55411 Bingen/Rhine, Allemagne

(3) BASF SE; 38, Carl-Bosch-Strasse, 67056 Ludwigshafen/Rhine, Allemagne

pascal.leterme@basf.com

Influence of a combination of phytase and formic acid on the performance of piglets and growing pigs and on phosphorus use

The effectiveness of phytase enzyme depends, among others, on the pH of the gastrointestinal content. Organic acids, such as formic acid, can help reduce the pH of the anterior digestive tract, which increases phytic-phosphorus solubility and thus the phytase efficiency. A total of 192 piglets (6.5 kg each) were used and fattened up to ± 115 kg (133 days), with weight and feed consumption per feed phase recorded. Four feed treatments based on wheat, maize, barley, rye, soya bean meal and rapeseed meal were fed ad libitum over five feeding phases. The four treatments were as follows: PC: positive control with standard nitrogen (N) and phosphorus (P) contents, NC: negative control with lower N and P contents, NC+P: NC + phytase (1000 FTU/kg), and NC+P+FA: NC + phytase + buffered formic acid (8 g/kg (piglet) / 4 g/kg (fattening pig)). P excretion was also measured. In piglets, compared to PC and NC, treatment NC+P+FA significantly increased the daily gain and feed intake and reduced the feed conversion ratio. In the fattening phase, the performance with treatment NC+P+FA was at the same level as PC without losing the advantage from the rearing phase. Treatment NC+P had a performance level similar to that of PC over the entire trial phase. Both the NC+P and NC+P+FA treatments reduced P excretion and improved P digestibility. Addition of formic acid in diets can thus help improve phytase activity and the performance of both piglets and growing pigs.

INTRODUCTION

Les phytases permettent de libérer le phosphore (P) phytique présent dans les matières premières végétales, de diminuer l'apport de P minéral dans les aliments et de réduire l'excrétion de P par les animaux dans l'environnement. Elles améliorent la digestibilité des acides aminés et d'autres éléments liés à cette molécule (Zouaoui *et al.*, 2018). Les phytases doivent travailler en condition acide : un pH trop élevé précipite l'acide phytique et empêche son hydrolyse par les enzymes. Cependant, certaines matières premières ont un pouvoir tampon et les porcelets ne sécrètent pas suffisamment d'acides dans l'estomac. L'acide formique influence le pouvoir tampon et le pH de l'aliment et réduit le pH gastrointestinal, ce qui améliore l'efficacité de la phytase (Kristoffersen *et al.*, 2021).

Un essai a été mené sur porcs, depuis le sevrage jusqu'à l'abattage, pour confirmer que l'acidification de l'aliment par un acide organique permet d'améliorer l'activité de la phytase et les performances de croissance des porcs.

1. MATERIEL ET METHODES

Au total, 192 porcelets (♀/ ♂ 1:1 – Topigs x Piétrain ; $\pm 6,5$ kg) ont été utilisés et menés à un poids de ± 115 kg en 133 jours. Les animaux étaient en logettes de 4 porcelets puis de 2 porcs en croissance, répartis selon leur poids et leur sexe. L'eau et la nourriture étaient disponibles à volonté et l'essai a été divisé en

cinq phases d'alimentation. Pour chaque phase, un aliment Contrôle négatif (Tableau 1), déficient en P disponible et en protéines était testé, avec ou sans supplémentation de phytase (BASF Natuphos E ; 1000 FTU/kg) et d'acide formique tamponné (BASF Amasil NA (8 g/kg en porcelets, 4 g/kg en croissance). Un aliment Contrôle positif, équilibré en P disponible (par l'ajout de phosphate monocalcique) et en protéines, était aussi testé. Un aliment intermédiaire (50 :50) a été confectionné entre la phase de croissance et de finition. La consommation et le poids des animaux ont été mesurés à la fin de chaque phase. L'excrétion du P a été mesurée sur 6 animaux par traitement à 12-15 kg et 65-70 kg de poids corporel, dans des cages à métabolisme.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La supplémentation de phytase et d'acide formique a amélioré la consommation et les paramètres de croissance ($P < 0,001$) par rapport au régime réduit en P disponible et en protéines (Tableau 2). L'ajout de phytase seule a aussi amélioré les performances, par rapport au Contrôle négatif. L'indice de conversion a été amélioré par la phytase chez le porcelet ($P < 0,001$) mais pas chez le porc ($P = 0,6$). L'ajout de phytase a aussi réduit l'excrétion de P. La réduction maximale de l'excrétion de P par rapport au témoin était de 62% chez le porcelet et de 38% chez le porc. L'effet de la phytase s'explique par la libération du P phytique mais aussi par une meilleure digestibilité de la protéine (Zouaoui *et al.*, 2018) qui aurait compensé la teneur

moindre en protéines des régimes. L'ajout d'acide formique a permis un gain supplémentaire et un meilleur indice de conversion chez le porcelet. Cet effet positif pourrait s'expliquer

par une meilleure palatabilité, une solubilité accrue du phytate dans l'estomac et/ou une meilleure digestion des protéines, surtout chez le porcelet (Kristoffersen et al., 2021).

Tableau 1. Composition (g/kg) et analyse des régimes (Réd. N/P: réduit protéines et phosphore)

| Type de régime Traitement | Pre-starter | | Starter | | Croissance | | Finition | |
|------------------------------|-------------|----------|-----------|----------|------------|----------|-----------|----------|
| | Contrôle+ | Réd. N/P | Contrôle+ | Réd. N/P | Contrôle+ | Réd. N/P | Contrôle+ | Réd. N/P |
| Composition | | | | | | | | |
| Blé/Maïs | 206/220 | 274/240 | 278/180 | 282/220 | 271/153 | 325/153 | 268/100 | 318/100 |
| Orge/Seigle | 100/50 | 100/50 | 150/75 | 150/75 | 150/100 | 150/100 | 200/200 | 200/200 |
| T. soja/colza | 200/30 | 120/30 | 215/50 | 175/50 | 180/100 | 130/100 | 50/150 | 0/150 |
| Lactosérum | 130 | 130 | - | - | - | - | - | - |
| Huile végétale | 30 | 20 | 19 | 16 | 20 | 18 | 12 | 10 |
| CaCO ₃ /MCP | 11/6 | 11/1 | 10/7 | 10/1 | 11/6 | 12/- | 11/1 | 11/- |
| Vit/Min, AA | 17 | 19 | 18 | 18 | 17 | 18 | 17 | 17 |
| Analyses | | | | | | | | |
| EN, MJ/kg | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,4 | 10,0 | 10,1 | 9,7 | 9,8 |
| Protéines, g/kg | 191 | 177 | 190 | 167 | 180 | 166 | 146 | 143 |
| Ca, g/kg | 7,0 | 6,0 | 7,5 | 6,0 | 7,2 | 6,5 | 6,5 | 6,0 |
| P total, g/kg | 5,4 | 4,0 | 5,1 | 3,6 | 5,5 | 4,2 | 4,5 | 4,0 |
| P disp., g/kg | 2,7 | 1,6 | 2,6 | 1,8 | 2,6 | 1,8 | 1,9 | 1,7 |

Tableau 2. Effet de l'ajout de phytase et d'acide formique aux régimes sur les paramètres de performance et d'excrétion de P chez les porcelets et les porcs à l'engrais

| Type de régime | Contrôle + | Contrôle - | Contrôle - | Contrôle - | ESM | P ¹ |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------|----------------|
| Phytase, FTU/kg | | | 1000 | 1000 | | |
| Acide formique, kg/t | | | | 8 (4) | | |
| Poids corporel, kg | | | | | | |
| Jour 42 | 24,6 ^{ab} | 23,3 ^a | 26,2 ^{bc} | 27,8 ^c | 0,406 | < 0,001 |
| Jour 133 | 117,2 ^b | 100,9 ^a | 117,0 ^b | 123,2 ^b | 1,424 | < 0,001 |
| GMQ, g/d | | | | | | |
| Jours 0 à 42 | 432 ^{ab} | 399 ^a | 468 ^{bc} | 506 ^c | 8,718 | < 0,001 |
| Jours 42 à 133 | 1021 ^b | 852 ^a | 998 ^b | 1049 ^b | 13,10 | < 0,001 |
| CMJ, kg/j/animal | | | | | | |
| Jours 0 à 42 | 0,638 ^a | 0,615 ^a | 0,663 ^{ab} | 0,717 ^b | 0,012 | 0,007 |
| Jours 42 à 133 | 2,58 ^b | 2,23 ^a | 2,48 ^{ab} | 2,79 ^b | 0,050 | 0,001 |
| IC, kg/kg | | | | | | |
| Jours 0 à 42 | 1,52 ^{bc} | 1,58 ^c | 1,44 ^{ab} | 1,43 ^a | 0,015 | < 0,001 |
| Jours 42 à 133 | 2,57 | 2,62 | 2,53 | 2,65 | 0,034 | 0,605 |
| Excrétion P², g/j | | | | | | |
| Porcelets | 1,46 ^c | 1,10 ^b | 0,58 ^a | 0,55 ^a | 0,092 | <0,001 |
| Porcs | 5,6 ^b | 5,0 ^b | 3,5 ^a | 3,6 ^a | 0,246 | < 0,001 |

¹ ANOVA de la valeur P (GLM). a, b, c, valeurs moyennes avec différents exposants dans une colonne différent significativement : a < 0,05 (post-hoc Tukey HSD) ; ² Excrétion de P total via les fèces et l'urine ; GMQ : gain quotidien moyen ; CMJ : consommation moyenne journalière ; IC : indice de conversion

CONCLUSION

L'ajout de phytase au régime a amélioré la croissance et réduit l'excrétion de P. L'effet combiné de la phytase et de l'acide

formique a augmenté la croissance des porcelets par rapport à un régime à base de phosphate (Contrôle +), expliqué par une consommation alimentaire plus élevée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kristoffersen S., Gjeften T., Svihus B., Kjos N., 2008. Effect of reduced feed pH, phytase addition and their interaction on mineral utilization in pigs. Livest. Sci., 248, 104498
- Zouaoui M., Létourneau-Montminy M.P., Guay F., 2018. Effect of phytase on amino acid digestibility in pigs: a meta-analysis. Anim. Feed Sci. Technol., 238, 18



Evaluation de l'incorporation d'une xylanase d'origine bactérienne dans des régimes blé ou orge sur les performances et le comportement alimentaire des porcelets

Maxime TRAINÉAU (1), Justine DANÉL (2), Maria VILARIÑO (1), Stéphane BENABEN (3), Emmanuel LANDEAU (3)

(1) ARVALIS, 2 Poulaine, 41100 Villerable, France

(2) ARVALIS, Rue de L'Étang, Gran Castel, 56800 Ploërmel, France

(3) JEFO Europe - 2 rue Claude Chappe, Espace Performance La Fleuriaye, 44481, Carquefou, France

m.traineau@arvalis.fr

Evaluation of the incorporation of a bacterial xylanase into wheat or barley diets on the performance and feeding behavior of piglets

The enzyme xylanase is now almost always added to commercial diets for post-weaning piglets; however, their performance may depend on the types of xylanase and cereal used. This study aimed to estimate effects of adding a bacterial xylanase on the performance and feeding behaviour of weaned piglets. Two diets, based on wheat (42 %) or barley (52 %), were formulated that had the same net energy (2260 kcal/kg) and protein (18.5 %) concentrations and were either supplemented or not with the bacterial xylanase. Individual monitoring (20 piglets per treatment) of feed intake, the number of meals per day, and the mean duration of a meal were analysed. The addition of the xylanase increased feed intake by a mean of 5.8 % (6.5 % for the barley diet and 2.5 % for the wheat diet $p=0.0001$). This increase induced a significant increase in average daily gain (ADG) and final weight (and tended to improve the feed-conversion ratio). New effects were observed on the number and duration of meals, which were modified by the type of cereal and addition of the enzyme. Addition of xylanase tended to decrease variability in feed intake among days and resulted in a more linear increase in feed consumption. In conclusion, the addition of bacterial xylanase produced expected effects on zootechnical performance and modified the feeding behaviour of piglets, as these criteria are likely related.

INTRODUCTION

L'utilisation de xylanases dans l'alimentation des porcelets est aujourd'hui très largement répandue en production porcine. Ces enzymes aident à digérer les arabinoxylanes contenus dans les matières premières et particulièrement dans les céréales à paille, permettant ainsi la libération supplémentaire des nutriments (acides aminés, minéraux...). L'entreprise JEFO commercialise depuis plusieurs années la seule xylanase bactérienne actuellement utilisée chez les monogastriques avec un effet escompté de + 50 kcal/kg d'énergie nette (EN) chez le porcelet. L'orge et le blé, céréales principales dans les aliments porcelets, contiennent des niveaux importants d'arabinoxylanes (> 5 % MS). Par ailleurs, l'orge est reconnue pour avoir des effets positifs sur la consommation et les performances de croissance des porcelets (+ 6,8 % d'amélioration de l'indice de consommation ; Trainéau *et al.*, 2022).

L'objectif de ce travail était d'évaluer si l'enzyme agit de façon différente selon la céréale majoritaire incorporée (blé ou orge), et de quantifier les répercussions sur les performances de croissance, mais aussi sur le comportement alimentaire des animaux (taille de repas, nombre et fréquence de repas, etc...).

1. MATERIEL ET METHODES

Les animaux utilisés sont des porcelets sevrés à 28 jours, mâles castrés et femelles, de type génétique Youna (1/4 chinois 1/4 Landrace 1/2 Large White) x (Piétrain x Large White). Avant

l'essai, les porcelets sont pesés individuellement et répartis dans quatre loges collectives avec un poids moyen identique (14,9 kg ; 10 mâles et 10 femelles par loge). Chaque loge est équipée de deux automates de distribution d'aliment et les animaux portent une boucle RFID unique permettant leur identification lors de chaque accès à l'auge (Trainéau *et al.*, 2022). Les animaux ont été pesés individuellement chaque semaine.

Le dispositif expérimental est constitué de quatre aliments et 20 porcelets par aliment dans un modèle à trois facteurs croisés : le facteur Céréale (Cer) majoritaire, l'ajout ou non de l'enzyme Belfeed® (Enz) et la période (P) (quatre périodes consécutives de 7 jours). Les aliments ont été formulés pour être iso énergie nette (9,46 MJ), iso protéines (18,5 %) et iso lysine digestible (1,1 %) et respectent l'équilibre des autres acides aminés essentiels. (Tableau 1). Les teneurs en arabinoxylanes sont similaires entre les régimes (6,9 %MS).

Une ANOVA en mesures répétées de type III est réalisée (XLSTAT 2021 2.2.), avec comme effets fixe la céréale, l'enzyme, comme facteur répété la période et comme facteur sujet l'individu. Les interactions multiples sont également observées, avec un test de Tukey en post-analyse.

Compte tenu de nos contraintes expérimentales (uniquement 4 loges équipées de DAC) notre design expérimental ne permet pas de différencier formellement les effets loges des effets des traitements expérimentaux. Malgré cette faiblesse dans notre dispositif expérimental, nous avons choisi de considérer le porc comme unité expérimentale.

Tableau 1 – Composition centésimale des aliments (%)

| Régime | Blé | Orge | TS | TC | TThp | Son Blé | RB | Huile | AMV |
|--------|------|------|------|-----|------|---------|-----|-------|-----|
| Blé | 42,0 | 16,0 | 12,6 | 4,9 | 5,5 | 8,0 | 7,5 | 0,5 | 3,0 |
| Orge | 11,5 | 52,0 | 17,8 | 2,0 | 3,3 | 6,7 | 3,5 | 0,4 | 2,9 |

TS, TC et TThp : Tourteaux de soja, de colza et de tournesol hipro ; RB : remoulage de blé ; AMV : minéraux, prémix, acides aminés de synthèse (méthionine, thréonine, lysine) phytase (750 FTU). La xylanase testée est ajoutée « on top ».

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 2 montre les résultats de Consommation Moyenne Journalière (CMJ), Gain Moyen Quotidien (GMQ) et l'Indice de Consommation (IC). Aucune mortalité de porcelets n'a été à déplorer sur toute la période d'essai. Par souci de place, seules les valeurs moyennes de tout l'essai sont présentées dans le tableau, mais les analyses statistiques sont détaillées pour les trois facteurs (céréale, période, enzyme) et leurs interactions. D'abord, une interaction Cer*Enz sur la CMJ semble montrer que l'ajout d'enzyme augmente la CMJ de manière plus importante pour l'aliment Orge que pour l'aliment Blé (+210 vs. +110 g/j en moyenne, respectivement). Pour les effets simples, le régime Orge (avec ou sans enzyme) permet une augmentation du GMQ, ainsi qu'une amélioration de l'IC par rapport au régime Blé. Ensuite, une interaction P*Enz sur le GMQ, plus difficile à expliquer car l'effet de l'enzyme semble varier d'une période à l'autre (effet plus important en P1 et P4 et pas d'effet en P2 et P3).

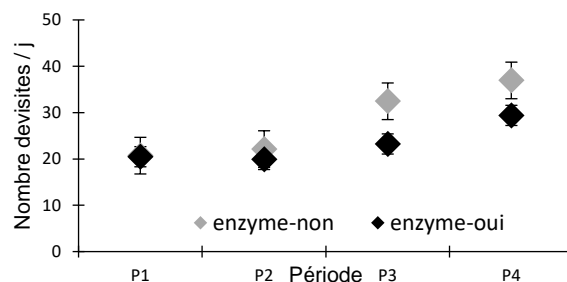
Tableau 2 – Performances moyennes (4 semaines) des porcelets et effets de la céréale (Cer), l'enzyme (Enz) et de la période (P)

| CEREALE | ENZYME | CMJ, g | GMQ, g | IC |
|---------|-----------|--------|--------|------|
| Blé | Avec | 1148 | 703 | 1,69 |
| | Sans | 1037 | 671 | 1,72 |
| Orge | Avec | 1222 | 754 | 1,65 |
| | Sans | 1014 | 736 | 1,58 |
| Effets | P | *** | *** | *** |
| | Cer | NS | *** | * |
| | Enz | *** | NS | NS |
| | P*Cer | NS | NS | NS |
| | P*Enz | NS | ** | NS |
| | Cer*Enz | * | NS | NS |
| | P*Cer*Enz | NS | NS | NS |

CMJ : conso moyenne journalière ; GMQ : gain moyen quotidien ; IC : indice de consommation ; NS : $P > 0,05$; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$

Le dispositif permet également de caractériser le comportement alimentaire individuel des porcelets par la mesure du Nombre de Visites Quotidiennes (NVQ) et du Temps Moyen d'une visite (TMV). La figure 1 montre l'évolution du nombre du NVQ au cours des 4 semaines d'essai, avec un effet différencié de l'enzyme, qui diminue le NVQ pour les deux loges

avec l'aliment « enzymé » et semble réduire les variabilités entre les individus. Cette diminution de NVQ est compensée par des TMV plus élevés (39 %) en moyenne sur tout l'essai (2,8 vs. 3,9 min/repas sans et avec enzyme).

**Figure 1** – Nombre moyen de visite alimentaires des porcs en fonction de l'âge et de l'ajout de l'enzyme

La possibilité de peser chaque la prise alimentaire de chaque visite et de calculer la consommation individuelle à différents pas de temps a permis de montrer que la CMJ n'augmente pas de façon régulière d'un jour à l'autre comme attendu, mais que des variations positives ou négatives peuvent être observées. Afin d'essayer de quantifier cette variabilité, une nouvelle variable est calculée (somme des valeurs absolues), pour chaque porcelet avec l'équation suivante : $\sum \text{abs}(\text{CMJ}_{n+1} - \text{CMJ}_n)$. Le score ainsi obtenu représente l'évolution de la consommation d'une journée à l'autre de chaque porcelet. Un score élevé révèle donc des irrégularités importantes alors qu'un score plus faible montre des animaux qui consomment l'aliment de façon plus régulière. L'analyse statistique de ce score montre une tendance ($P=0,10$) à la baisse en présence de l'enzyme, mais uniquement pour l'aliment Orge. Bien que ces résultats méritent confirmation, l'hypothèse d'un effet positif de l'enzyme sur la régularité de la consommation des aliments à base d'orge, permet d'augmenter la CMJ et donc le GMQ.

CONCLUSION

Bien que les régimes soient iso-énergie et iso-protéines, un aliment dont la base principale est l'orge améliore les performances de croissance des porcelets par rapport à un aliment base blé. Cet effet est probablement induit par la composition en bêta-glucanes, ayant un effet positif sur la santé digestive. L'ajout d'une xylanase d'origine bactérienne a également eu un effet positif et plus particulièrement sur les régimes orges. O'Connell *et al.* (2005) avaient également mis en évidence cet effet positif sur la digestibilité de la matière organique et de l'azote dans un régime orge par rapport à un régime blé. Enfin, l'ajout de l'enzyme modifie le comportement alimentaire dans le temps, peut-être par modification du microbiote avec une action prébiotique de l'enzyme et une augmentation de la sécrétion d'acétates diminuant le temps de transit (les mesures de compositions du microbiote sont en cours d'analyse). Néanmoins, l'absence de répétition statistique pour tester les effets de nos traitements expérimentaux (voir partie stat du M&M), ne nous permet pas de conclure définitivement sur les effets de la xylanase sur des régimes à base d'orge. Les résultats de cet essai demandent donc à être confirmés par des travaux complémentaires

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- O'Connell J., Sweeney T., Callan J., O'Doherty J., 2005. The effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation in pig diets on nutrient digestibility, intestinal microflora, volatile fatty acid concentration and manure ammonia emissions from finisher pigs. *Anim Sci*, 81(3), 357-364.
- Traineau M., Danel J., Vilariño M., 2022. PORC'INN : un nouveau dispositif d'expérimentation pour le suivi des performances individuelles des porcelets sevrés. *Journées Rech. Porcine*, 54, 191-192.



Impact du niveau d'apport de zinc et de cuivre sur leur digestibilité chez les porcelets sevrés, avec ou sans supplémentation en xylanase et protéase

Mohamed Ali KETATA, Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY, Frédéric GUAY

Département des sciences animales, Université Laval, Québec, G1V 0A6 Canada

Frederic.guay@fsaa.ulaval.ca

Impact of zinc and copper intake on their digestibility in weaning piglets, with or without xylanase and protease supplementation

This study aimed to evaluate effects of dietary zinc (Zn) and copper (Cu) concentrations and xylanase and protease supplementation on ileal and colonic digestibilities of Zn and Cu. In a 3 × 2 factorial experiment, 36 pigs received one of 6 diets (barley-wheat-soya bean meal) supplemented with 3 levels of Zn/Cu (125/20, 250/40 and 500/80 mg/kg, respectively) and with or without a mixture of xylanase and protease. The contents of the digestive tract were collected at the end of the ileum and colon. Zn/Cu supplementation from 125/20 to 500/80 increased total and soluble Zn ($P < 0.05$) and Cu ($P < 0.05$) contents in the ileum and colon. Zn/Cu and enzyme supplementation did not influence the percentage of soluble Zn or Cu in the ileum. However, Zn/Cu supplementation from 125/20 to 500/80 reduced the percentage of soluble Cu in the colon ($P < 0.05$) but had no effect on that of soluble Zn. Zn/Cu and enzyme supplementation did not influence ileal Zn or Cu digestibility. Colonic digestibility of Cu was reduced by enzymes, but only with the 125/20 treatment (Zn/Cu × enzyme interaction, $P < 0.05$). The 500/80 treatment had higher colonic digestibility of Zn than the 125/20 and 250/40 treatments ($P < 0.05$), while the addition of the enzyme supplement had no effect on it. Xylanase/protease supplementation influences the digestibility of Cu but not its solubility. For Zn, 500 mg/kg increased its digestibility by increasing soluble Zn in the digestive tract.

INTRODUCTION

Les besoins totaux en Zn (50 à 100 mg/kg d'aliments) et en Cu (5 à 6 mg/kg d'aliments) ont été établis pour les porcelets et les porcs en croissance (NRC, 2012). Toutefois, la supplémentation en Zn et Cu est souvent plus élevée dans les aliments (Dalto et da Silva, 2020). Des apports plus élevés seraient nécessaires afin de prendre en compte la variation des besoins et les interactions entre le Zn et Cu et les autres composants du régime (Brugger et Windisch, 2017 ; Espinosa et Stein, 2021). En effet, certaines composantes, comme les protéines et les fibres, peuvent affecter la digestibilité des micro-minéraux (Byrne et Murphy, 2022). La supplémentation en xylanase dans l'alimentation des porcs a ainsi été utilisée pour réduire les effets antinutritionnels des fibres (Petry et Patience, 2020). Le supplément de protéase est utilisé pour hydrolyser les polypeptides de haut poids moléculaire pour leur digestion ultérieure par des protéases endogènes (Glitso *et al.*, 2012). Concernant les micro-minéraux, peu d'études ont été réalisées sur l'impact des protéase/xylanase sur leur digestibilité, notamment le Zn et le Cu. L'objectif de la présente étude était d'évaluer l'effet de la concentration alimentaire en Zn et Cu sur leur digestibilité iléale et au niveau du colon dans des régimes supplémentés ou non en xylanase/protéase.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et régimes

Un régime alimentaire à base de blé, d'orge et de tourteaux de soja a été supplémenté par trois niveaux de Zn/Cu (125/20,

250/40 et 500/80 mg/kg sous forme d'oxyde de Zn et sulfate de Cu) et un mélange de deux enzymes, une protéase (Enzynat Pro 125, 2 250 U/kg, Jefe Animal Nutrition St-Hyacinthe, Qc, Canada) et une xylanase (Belfeed B1100 MP, 1 100 UI/kg, Jefe Animal Nutrition) afin d'avoir 6 régimes différents. Pour chaque traitement, du dioxyde de titane (Ti, 0,3 %) a été ajouté comme marqueur indigestible.

Trente-six porcelets sevrés ($9,6 \pm 1,32$ kg) ont été utilisés dans une expérience factorielle 3 × 2. Chaque enclos a été affecté au hasard à l'un des six régimes expérimentaux et les trois porcs par enclos nourris à volonté avec l'un des régimes pendant 7 jours. À la fin de l'essai, les porcs ont été euthanasiés par surdose de pentobarbital sodique (Vetoquinol inc. Lavaltrie, Qc, Canada) environ 2 h après le dernier repas. Les contenus de l'extrémité de l'iléon et du colon ont été collectés. Pour l'analyse de la fraction soluble, des échantillons de ces contenus ont été centrifugés (2 000 g pendant 15 min à 4°C) pour séparer la fraction liquide de la partie solide du digesta.

1.2. Analyse de laboratoire, analyses statistiques et calculs

Les contenus de l'iléon et du colon ont été lyophilisés et broyés à l'aide d'un broyeur Cyclotec TM (FOSS, Nanterre, Paris, France) jusqu'à une granulométrie inférieure à 1 mm. Ils ont été analysés pour les concentrations de Zn, Cu et de Ti à l'aide d'un spectroscope à plasma à couplage inductif (ICP) (Optima 4300, Perkin Elmer, Wellesley, Massachusetts (MA), USA).

La digestibilité apparente du colon (DAC) et la digestibilité iléale apparente (DIA) ont été calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Digestibilité apparente [\%]} = \frac{(1 - (\text{Nutriments}_{\text{digesta}} \times \text{Ti}_{\text{aliments}}) / (\text{Nutriments}_{\text{aliments}} \times \text{Ti}_{\text{digesta}})) \times 100}{}$$

L'analyse statistique a été réalisée en utilisant la procédure mixte du logiciel Minitab (version 20, State College, PA, USA). Le modèle incluait les effets fixes du supplément enzymatique et du niveau de Zn /Cu ainsi que l'interaction Enzymes × Zn/Cu. Dans cette étude, les valeurs $P \leq 0,05$ étaient considérées comme significatives et les valeurs $P < 0,10$ comme tendance.

2. RESULTATS

La supplémentation en Zn/Cu de 125/20 à 500/80 a augmenté les teneurs totales et solubles en Zn et Cu dans le digesta iléal (Tableau 1, $P < 0,05$) mais n'a pas affecté la DIA ni le % de Zn et Cu soluble. Dans le colon, la supplémentation en Zn/Cu a augmenté les teneurs totales et solubles en Cu et Zn ($P < 0,05$), a réduit le % de Cu soluble ($P < 0,05$), mais n'a eu aucun effet sur le % de Zn soluble.

Le supplément enzymatique n'a eu aucun effet sur les teneurs totales et solubles en Zn et en Cu dans l'iléon et le colon. Le supplément enzymatique a réduit la DAC de Cu, mais uniquement dans le traitement 125/20. (Interaction Zn/Cu × Enzyme, $P < 0,05$). Enfin, le traitement 500/80 avait une DAC de Zn plus élevée que les traitements 125/20 et 250/40 ($P < 0,05$).

CONCLUSION

La supplémentation croissante en Zn/Cu a augmenté les teneurs totales et solubles en Zn et Cu dans l'iléon et le colon. Pour le Zn, cette hausse a été associée avec une augmentation de la digestibilité du Zn à la fin du colon. Pour le Cu, l'effet sur la digestibilité colique serait dépendant de la présence du supplément enzymatique suggérant que les produits de dégradation des enzymes agiraient négativement sur la digestibilité du Cu lorsque l'apport alimentaire en Cu est réduit.

Tableau 1 - Effet du niveau alimentaire de zinc et de cuivre et du supplément enzymatique de xylanase/protéase sur la teneur et la digestibilité du zinc et du cuivre dans le digesta de l'iléon et du colon.

| Enzyme ¹ | Sans | | | Avec | | | ET ² | Valeur de P | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------|-------------|-------|-------|
| | Zn/Cu | 125/20 | 250/40 | 500/80 | 125/20 | 250/40 | | 500/80 | Zn/Cu | Enz |
| Iléon | | | | | | | | | | |
| Zn soluble, mg/L | 4,76 ^a | 10,29 ^b | 11,07 ^b | 2,92 ^a | 13,92 ^b | 14,75 ^b | 2,288 | 0,001 | 0,301 | 0,335 |
| Zn total, µg/g | 284 ^a | 515 ^b | 923 ^c | 260 ^a | 656 ^b | 997 ^c | 145,5 | 0,001 | 0,423 | 0,734 |
| Zn soluble ³ , % | 14,2 | 15,2 | 12,4 | 9,87 | 17,5 | 10,0 | 3,21 | 0,245 | 0,586 | 0,59 |
| Cu soluble, mg/L | 2,71 ^a | 6,54 ^a | 14,54 ^b | 3,91 ^a | 3,94 ^a | 16,02 ^b | 2,645 | 0,001 | 0,990 | 0,71 |
| Cu total, µg/g | 67,7 ^a | 120,8 ^b | 196,9 ^c | 79,2 ^a | 117,2 ^b | 209,3 ^c | 25,4 | 0,001 | 0,615 | 0,917 |
| Cu soluble ³ , % | 31,9 | 39,0 | 62,9 | 37,1 | 26,8 | 38,5 | 10,90 | 0,144 | 0,203 | 0,410 |
| Digestibilité, % | | | | | | | | | | |
| Zn | 59,2 | 54,9 | 60,8 | 57,1 | 49,0 | 55,4 | 7,30 | 0,405 | 0,264 | 0,922 |
| Cu | 43,9 | 40,2 | 49,2 | 37,8 | 29,7 | 47,9 | 9,54 | 0,158 | 0,296 | 0,916 |
| Colon | | | | | | | | | | |
| Zn soluble, mg/L | 10,23 ^a | 21,66 ^b | 39,71 ^c | 9,96 ^a | 18,96 ^b | 40,81 ^c | 4,862 | 0,001 | 0,877 | 0,921 |
| Zn total, µg/g | 484 ^a | 851 ^b | 1447 ^c | 494 ^a | 912 ^b | 1423 ^c | 62,9 | 0,001 | 0,73 | 0,783 |
| Zn soluble ³ , % | 43,7 | 49,9 | 56,1 | 39,3 | 42,1 | 57,5 | 8,46 | 0,164 | 0,613 | 0,853 |
| Cu soluble, mg/L | 0,524 ^a | 0,714 ^a | 1,025 ^b | 0,672 ^a | 0,753 ^a | 1,075 ^b | 0,164 | 0,003 | 0,334 | 0,858 |
| Cu total, µg/g | 87,8 ^a | 153 ^b | 255 ^c | 104 ^a | 154 ^b | 255 ^c | 11,7 | 0,001 | 0,125 | 0,713 |
| Cu soluble ³ , % | 13,8 ^a | 8,64 ^{ab} | 7,57 ^b | 11,6 ^a | 10,26 ^{ab} | 8,00 ^b | 1,65 | 0,007 | 0,954 | 0,399 |
| Digestibilité, % | | | | | | | | | | |
| Zn | 46,0 ^a | 46,7 ^a | 51,9 ^b | 48,8 ^a | 46,5 ^a | 51,9 ^b | 1,15 | 0,001 | 0,335 | 0,372 |
| Cu | 50,8 ^z | 48,3 ^z | 51,9 ^z | 42,3 ^y | 50,2 ^z | 49,0 ^z | 1,18 | 0,002 | 0,001 | 0,004 |

¹ Protéase fournie (Enzynat Pro 125, 2 250 U/kg, Jefe Animal Nutrition St-Hyacinthe, Qc, Canada) et xylanase (Belfeed B1100 MP, 1 100 UI/kg, Jefe Animal Nutrition) ; ² Erreur type des moyennes ; ³ % de minéraux solubles pour 100 g de digesta frais ; ^{a, b, c} Résultats du test de Tukey pour le niveau de Zn/Cu : au sein d'une même ligne, les moyennes sans exposant commun diffèrent ($P < 0,05$) ; ^{x, y, z} Résultats du test de Tukey pour le niveau de Zn/Cu × supplément enzymatique : dans une ligne, les moyennes sans exposant commun diffèrent ($P < 0,05$).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brugger D., Windisch W.M., 2017. Strategies and challenges to increase the precision in feeding zinc to monogastric livestock. *Animal Nutrition*, 3(2), 103-108.
- Byrne L., Murphy R.A., 2022. Relative bioavailability of trace minerals in production animal nutrition: A Review. *Animals*, 12, 1981.
- Dalton D.B., da Silva C.A., 2020. A survey of current levels of trace minerals and vitamins used in commercial diets by the Brazilian pork industry - A comparative study. *Transl. Anim. Sci.*, 4, txaa195.
- Espinosa C.D., Stein H.H., 2021. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *J. Anim. Sci. and Biotech.*, 12(1), 1-12.
- Glitso V., Pontopidian K., Knap K., Ward N., 2012. Development of a feed protease. *Ind. Biotechnol.*, 8, 172-5.
- NRC. 2012. National Research Council-Nutrient Requirements of Swine-National Academies Press.
- Petry A.L., Patience J.F., 2020. Xylanase supplementation in corn-based swine diets: A review with emphasis on potential mechanisms of action. *J. Anim. Sci.*, 98(11), 1-12.



Effet de la réduction des niveaux de supplémentation en cuivre et zinc des aliments sur les performances et le statut minéral des porcs à l'engraissement

Emma GOURLEZ (1,2,3), Jean-Yves DOURMAD (1), Fabrice BELINE (2), Alessandra MONTEIRO (3), Anne BOUDON (1), Agnès NARCY (4), Patrick SCHLEGEL (5), Francine DE QUELEN (1)

(1) UMR PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles

(2) UR OPAALE, INRAE, 35044 Rennes

(3) Animine, 10 rue Léon Rey Grange, 74960 Annecy

(4) INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 Nouzilly

(5) Agroscope, Groupe Recherche Porcine, Tioleyre 4, 1725 Posieux, Suisse

francine.dequelen@inrae.fr

Effects of reduced dietary copper and zinc supplementation on the growth performance and mineral status of fattening pigs

In the perspective of reducing environmental impacts, this study aimed to assess impacts of reduced dietary copper (Cu) and zinc (Zn) supplementation on the growth performance and mineral status of fattening pigs. Ninety-six pigs weaned at 21 days of age were assigned one of four dietary treatments: a diet with no Cu or Zn supplementation (WS, 5 mg Cu and 29 mg Zn per kg feed); a diet supplemented with Cu and Zn oxides at an intermediate level (O_{INT}, 7.4 mg Cu and 47.5 mg Zn per kg feed); and two diets supplemented with Cu and Zn oxides (O_{REG}) or Cu and Zn sulphates (S_{REG}) at levels reaching the maximum levels authorized in the European Union (25 mg Cu and 120 mg Zn per kg feed). The pigs were raised in individual pens until slaughter. Over the entire experimental period, growth performance was not influenced by the dietary Cu and Zn content, nor by the Cu and Zn source used for supplementation. Plasma Cu and Zn contents were not influenced by the treatments. Liver Cu content increased ($P < 0.05$) as dietary Cu content increased. Bone Cu and Zn contents and bone physical characteristics were not influenced by the dietary treatments. As expected, faecal Cu and Zn contents decreased ($P < 0.01$) as dietary Cu and Zn contents decreased. Thus, excretion of Cu and Zn in faeces could be decreased by decreasing dietary supplementation of these elements for fattening pigs, without influencing growth performance or mineral status. However, these results need to be validated on commercial farms with group housing and more diverse sanitary conditions.

INTRODUCTION

L'alimentation des porcs est classiquement supplémentée en cuivre (Cu) et en zinc (Zn) pour couvrir leurs besoins. Cependant, plus de 90 % du Cu et du Zn ingérés sont excrétés (Dourmad *et al.*, 2015). Suite à l'épandage des effluents, ces deux éléments s'accumulent dans les sols et peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement (McGrath, 1981). Différentes stratégies sont connues pour réduire l'impact environnemental en Cu et en Zn des élevages porcins, dont la réduction de leur incorporation dans les aliments pour réduire leur excrétion. Peu d'études ont été menées, en particulier sur les porcs à l'engraissement, et des recherches supplémentaires sont nécessaires. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de niveaux de supplémentation nuls ou réduits et de différentes formes d'apport de Cu et de Zn dans les aliments sur les performances de croissance, sur le statut minéral des porcs à l'engraissement et sur l'excrétion du Cu et du Zn dans les fèces.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Au total, 96 porcs de $24,3 \pm 3,3$ kg de poids vif (PV) ont reçu durant 14 semaines l'un des quatre traitements alimentaires expérimentaux suivants : NS sans supplémentation en Cu et Zn (4,8–5,1 mg Cu et 29,0–29,6 mg Zn /kg d'aliment en croissance et en finition), O_{INT} avec des niveaux intermédiaires de Cu et Zn (7,8–7,1 mg Cu et 44,2–50,2 mg Zn /kg d'aliment en croissance et en finition) supplémentés sous forme d'oxydes (Animine, France), O_{REG} et S_{REG} avec des niveaux réglementaires de Cu et Zn supplémentés sous forme d'oxydes (18,2–22,0 mg Cu et 102–105 mg Zn /kg d'aliment en croissance et en finition) ou de sulfates (18,2–22,5 mg Cu et 95,9–101 mg Zn /kg d'aliment en croissance et en finition). La transition alimentaire entre la croissance et la finition avait lieu au bout de 41 jours d'âge. Les animaux étaient élevés jusqu'à l'abattage (110 ± 9 kg PV) en cases individuelles.

1.2. Mesures et prélèvements

Les animaux étaient pesés toutes les 2 semaines et les quantités d'aliment distribuées et refusées étaient mesurées chaque semaine. Des échantillons de plasma (à la transition alimentaire et à l'abattoir), d'os (métacarpiens (Mc) III et IV des deux pieds avant, à l'abattoir), de foie (à l'abattoir) et de fèces (toutes les 3 semaines) ont été collectés. Les analyses des concentrations

en Cu et Zn de chaque matrice ont été réalisées par ICP-AES après minéralisation des échantillons. La densité (BMD) et la concentration minérale (BMC) du Mc IV des pieds gauches ont été mesurées par absorptiométrie aux rayons X (DXA).

1.3. Analyses statistiques

À l'aide du logiciel R studio (version 4.1.2), l'effet du traitement alimentaire sur les différents critères a été évalué. Le seuil de significativité des *P*-values a été de 0,05.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Effets des traitements alimentaires sur les performances de croissance

Sur l'ensemble de la période expérimentale, les performances de croissance des animaux n'ont été impactées ni par le niveau ni par la source de Cu et de Zn ajoutés dans les aliments (Tableau 1). Ces résultats sont en accord avec la bibliographie (Ding *et al.*, 2021).

2.2. Effets des traitements alimentaires sur le statut en cuivre et zinc

Le statut en Cu et Zn des animaux a été maintenu même avec des teneurs basses de Cu et Zn dans l'aliment (Tableau 1). Aucun effet significatif des traitements n'a été trouvé sur la teneur en Cu et Zn du plasma. La concentration osseuse en Zn n'a été affectée ni par le niveau de supplémentation ni par la source en Zn. Les caractéristiques physiques du Mc IV (BMC et BMD) n'ont pas été pas impactées par les traitements alimentaires. La concentration hépatique en Cu était supérieure quand les porcs étaient nourris avec O_{REG} comparé à NS, des résultats similaires ont préalablement été observés (Hernández *et al.*, 2008).

2.3. Effet des traitement alimentaires sur l'excrétion fécale

Comme attendu, les concentrations en Cu et en Zn des fèces ont diminué avec la diminution du niveau de supplémentation alimentaire en ces éléments (*P* < 0,01) (Tableau 1). Sur l'ensemble de l'expérience, la concentration des fèces pour les porcs nourris avec NS et O_{INT} a diminué de 71 et 55 % pour le Cu et de 62 et 49 % pour le Zn, respectivement, par rapport à ceux nourris avec O_{REG}. Aucune différence entre les sources alimentaires de Cu et Zn n'a été observée.

CONCLUSION

Jusqu'à présent, très peu d'études ont testé des niveaux aussi faibles de supplémentation en Cu et Zn ou le retrait total de cette supplémentation dans les régimes alimentaires des porcs à l'engraissement. L'hypothèse selon laquelle les performances des porcs et leur statut en Cu et Zn pourraient être maintenus en supplémentant à des niveaux plus faibles en Cu et Zn ou en supprimant la supplémentation, tout en réduisant les concentrations de ces éléments dans les fèces, semble confirmée par les résultats de cet essai. Néanmoins, ce type de pratique nécessite une bonne connaissance des teneurs en Cu et en Zn des matières premières composant les aliments croissance et finition. De plus, les porcs de cette étude ont été logés dans de bonnes conditions sanitaires, sans concurrence alimentaire. En pratique, un défi sanitaire peut augmenter les besoins en Cu et en Zn des porcs. Ces résultats doivent donc être validés dans des exploitations commerciales avec des animaux en groupes et présentant des contextes sanitaires différents.

Tableau 1 – Effet des apports en cuivre et zinc sur les performances et le statut en cuivre et zinc des animaux

| | NS | O _{INT} | O _{REG} | S _{REG} | Etr | <i>P</i> |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------|----------|
| Performances de croissance | | | | | | |
| Ingéré, kg / jour | 2,29 | 2,26 | 2,27 | 2,24 | 0,12 | 0,67 |
| Gain moyen quotidien, g / jour | 952 | 919 | 922 | 908 | 55 | 0,08 |
| Indice de consommation, kg / kg | 2,42 | 2,47 | 2,47 | 2,48 | 0,09 | 0,11 |
| Plasma¹ | | | | | | |
| Cu, mg/L | 1,76 | 1,84 | 1,70 | 1,80 | 0,25 | 0,462 |
| Zn, mg/L | 1,00 | 1,03 | 1,05 | 1,03 | 0,26 | 0,904 |
| Os | | | | | | |
| Cu, mg / kg MS | 0,329 | 0,322 | 0,328 | 0,307 | 0,072 | 0,651 |
| Zn, mg / kg MS | 91,2 | 92,4 | 91,6 | 94,6 | 10,8 | 0,805 |
| BMC Mc IV, g | 4,63 | 4,81 | 4,66 | 4,56 | 0,83 | 0,812 |
| BMD Mc IV, g.cm ² | 0,362 | 0,379 | 0,367 | 0,364 | 0,053 | 0,730 |
| Foie | | | | | | |
| Cu, mg / kg MS | 29,9 ^a | 32,5 ^{ab} | 40,3 ^b | 31,5 ^{ab} | 12,2 | < 0,05 |
| Zn, mg / kg MS | 189 | 208 | 210 | 202 | 41 | 0,341 |

¹Moyennes sur les deux prélèvements (à la transition alimentaire et à l'abattage), Etr = Ecart-type Résiduel, *P* = *P*-value de l'effet du régime alimentaire, BMC = Bone mineral content, BMD = Bone mineral density

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2015. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevages et Environnement, Paris, France, 26 p.
- Ding H., Zhang Q., Xu H., Yu X., Chen L., Wang Z., Feng J., 2021. Selection of copper and zinc dosages in pig diets based on the mutual benefit of animal growth and environmental protection. Ecotoxicol. Environ. Saf., 216, 9 p.
- Hernández A., Pluske J.R., D'Souza D.N., Mullan B.P., 2008. Levels of copper and zinc in diets for growing and finishing pigs can be reduced without detrimental effects on production and mineral status. Animal, 2, 1763 – 1771.
- McGrath M.C., 1981. Implications of applying copper rich pig slurry to grassland; effects on plant and soil. In: P. L'Hermite, J. Dehandtschutter (Eds), Copper in animal wastes and sewage sludge, 144 – 153. Proc. EEC Workshop, INRA Publisher, Bordeaux, France.



Stratégies d'atténuations des effets combinés du déoxynivalénol et de la zéaralénone sur des cellules intestinales porcines

Asmita THAPA (1), Blanaid WHITE (1), Dermot WALLS (1), Karina HORGAN (2)

(1) School of Chemical Sciences, Dublin City University, Dublin, Ireland

(2) Alltech Bioscience Centre, Dunboyne, Co. Meath, Ireland

khorgan@alltech.com

Mitigation strategies to combat the damaging combinatorial effects of Deoxynivalenol and Zearalenone in porcine intestinal cells

Deoxynivalenol (DON) and Zearalenone (ZEN) are common mycotoxins that frequently co-occur, and there is an urgent need to develop mycotoxin management strategies for combined mycotoxin exposures. The effects of combined mycotoxins have been shown to vary depending on the cell/animal used, the concentration of mycotoxins, the exposure time and type of damage analysed. The aim of this study was to investigate the combinatorial effects of DON and ZEN on IPEC-J2 cells and to examine the protective effects of selenium enriched yeast and combination of yeast cell wall and algae Sel-Plex and Mycosorb A+ on DON + ZEN induced toxicity. Protective effects of the feed supplements were observed when cells were exposed to 0.9 ppm DON + 0.25 ppm ZEN and 0.9 ppm DON + 25 ppm DON induced cytotoxicity. A significant reduction in cell toxicity was observed when cells were supplemented with both products, alone and in combination ($P < 0.01$). The comet and TUNEL assays measuring DNA damage and apoptosis, also demonstrated the mitigation capabilities of both products against 0.9 ppm DON + 25 ppm ZEN induced DNA damage and apoptosis, respectively. A significant reduction in DNA damage was noted when both products were supplemented to cells ($P < 0.001$). Mycotoxin induced apoptosis was also reduced in treated cells ($P < 0.001$) for selenium enriched yeast and for yeast algae product ($P < 0.01$) respectively when used on their own. Under the conditions of this study a mixture of the mycotoxins caused more cytotoxicity than the mycotoxins did individually. Treating the cells with both products reduced cellular toxicity, DNA damage and apoptosis in the cells, indicating the potential role for these products in a mitigation strategy against mycotoxin damage.

INTRODUCTION

L'épithélium intestinal peut être exposé aux mycotoxines après la consommation d'aliments contaminés car il constitue la première barrière contre les toxines présentes dans l'alimentation. L'épithélium est également important pour l'absorption des nutriments. L'ingestion de mycotoxines peut avoir de nombreux effets nocifs, dont l'altération des fonctions de barrière intestinale ainsi que de l'absorption des nutriments (Liew *et al.*, 2018).

Le déoxynivalénol (DON) et la zéaralénone (ZEN) sont des mycotoxines qui coexistent fréquemment (Streit *et al.* 2012), ce qui nécessite de développer des stratégies de gestion des expositions combinées aux mycotoxines. Il a été démontré que les effets synergiques des mycotoxines varient en fonction de la cellule ou de l'animal, de la concentration de mycotoxines, du temps d'exposition et du type de dommage analysé (Ji *et al.*, 2019). Le but de cette étude était d'étudier les effets combinés du DON et de la ZEN sur les cellules IPEC-J2 (cellules intestinales porcines épithéliales du jéjunum immortalisées) et d'examiner les effets protecteurs de Sel-Plex et Mycosorb A+ sur la toxicité induite par DON + ZEN.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Culture cellulaire

Les cellules IPEC-J2 ont été cultivées dans le milieu Eagle modifié de Dulbecco (DMEM) et le mélange de nutriments F12 de Ham (Sigma-Aldrich) complété par 10 % de sérum porcin inactivé par la chaleur (Sigma-Aldrich) et 1 % de streptomycine pénicilline (Sigma-Aldrich) à 37 °C dans une atmosphère humidifiée à 5 % de CO₂ (Culture DMEM F12).

1.2. Préparation de Sel-Plex et Mycosorb A+

Une digestion enzymatique a été effectuée sur la levure enrichie en sélénium Sel-Plex (SeY) et Mycosorb A+ (My-A+), une paroi interne de levure associée à des algues de souche *Aurantiochytrium limacinum* (obtenu auprès d'Alltech Inc., Nicholasville, KY, Etats-Unis) pour imiter la digestion gastrique. La digestion a été adaptée d'une technique *in vitro* en trois étapes de Boisen et Fernandez (1997). La concentration de sélénium du digestat Sel-Plex a été déterminée par ICP-OES (Spectroscopie d'émission de plasma à couplage inductif).

1.3. Mesure de la viabilité cellulaire

Les cellules ont étéensemencées dans une plaque noire à fond plat de 96 puits à 2 x 10⁴ cellules/ml dans la culture DMEM F12 avec 2 % de sérum porcin. Pour l'analyse impliquant SeY et / ou My-A +, les cellules ont été incubées avec la préparation de SeY

(0,4 mg/kg de Se) et du My-A+ (2 g / kg) ou les deux pendant 48 h. Les cellules ont été exposées à diverses concentrations de ZEN et DON et incubées pendant 24 ou 48 heures.

1.4. Mesure de l'apoptose avec le test TUNEL

Les cellules ont été pré-incubées avec SeY et / ou My-A+ pendant 48 heures suivies d'une incubation de 24 heures avec ZEN et DON. Les cellules ont ensuite été trypsinées, fixées avec 4 % de paraformaldéhyde dans du PBS, puis stockées dans 70 % d'éthanol à -20 °C pendant au moins 18 h. Le test TUNEL a ensuite été effectué selon les instructions du fabricant (Phoenix Flow Systems, San Diego, CA, États-Unis).

1.5. Mesure des cassures de l'ADN par l'essai COMET

Les cellules ont été pré-incubées avec les produits pendant 48 heures suivies d'une incubation de 24 heures avec ZEN et DON. Les cellules ont été associées avec de l'agarose à bas point de fusion et placées sur une lame COMET (Trevigen, Gaithersburg, États-Unis). L'essai COMET a été réalisé selon le protocole décrit par Lynch *et al.* (2018). Le pourcentage d'intensité de la queue a été noté à l'aide du logiciel Comet Score (TriTek Corp, Summerduck, VA, États-Unis). Les scores individuels pour chacune des 50 comètes ont été additionnés et une valeur moyenne pour chaque traitement a été calculée.

2. RESULTATS

2.1. SeY et My-A+ présentent des effets protecteurs contre la cytotoxicité induite par DON + ZEN

Un effet protecteur significatif contre la cytotoxicité combinée de DON + ZEN a été observé sur les cellules IPEC-J2 incubées 48 heures avant l'exposition aux mycotoxines. Cet effet a été observé dans les différentes combinaisons testées (Cellules incubées avec SeY et/ou My-A+ mis en présence de DON+ZEN). SeY et My-A+ ont tous deux présenté un niveau similaire d'atténuation contre la toxicité induite par DON + ZEN.

2.2. SeY et My-A+ présentent des effets protecteurs contre les dommages à l'ADN induits par DON + ZEN

L'effet protecteur de SeY et My-A+ contre les dommages induits par la combinaison de ZEN et de DON a été analysé. La concentration plus faible de ZEN n'a induit ni lésion de l'ADN ni apoptose, les effets protecteurs de Sel-Plex et de Mycosorb A+ ont été évalués uniquement avec la concentration plus élevée de ZEN de 25 mg/kg. La pré-incubation des cellules avec SeY et My-A+ avant l'exposition au DON + ZEN a entraîné une réduction des dommages à l'ADN (Figure 1). Cela a été mesuré par la réduction significative du pourcentage d'ADN dans la queue dans les cellules traitées avec SeY et/ou My-A+.

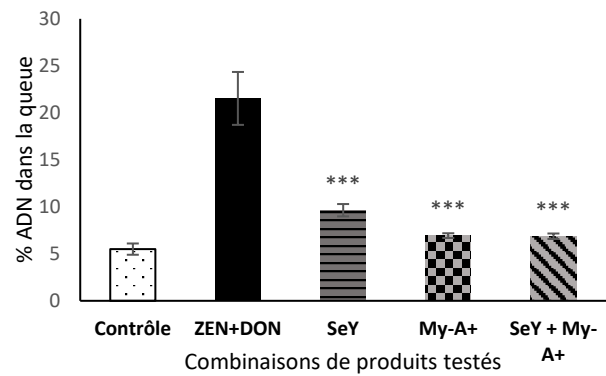


Figure 1 – Effets des produits sur les dommages ADN aux cellules IPEC-J2 après exposition à 0,9 mg/kg ZEN+ 25 mg/kg DON

Données du diagramme à barres présentées comme la moyenne de l'écart-type médian des échantillons. Les différences significatives entre les cellules sont mises en évidence par l'ANOVA suivie du test de Dunnett (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$).

2.3. SeY et My-A+ atténuent l'apoptose induite par DON+ZEN dans les cellules IPEC-J2

Le test TUNEL a montré que le prétraitement des cellules avec SeY et My-A+ entraînait l'atténuation de l'apoptose induite par DON + ZEN. Une augmentation des valeurs négatives de TUNEL a été observée dans les échantillons ayant subi le prétraitement. Les cellules traitées avec DON + ZEN sans prétraitement avaient une valeur TUNEL négative de 74,8 %. Les cellules prétraitées avec SeY, My-A+ et SeY plus My-A+ avaient respectivement une valeur TUNEL négative de 82,5 %, 81,2 % et 80,5 %. L'augmentation de la valeur négative de TUNEL montre la diminution de l'apoptose dans les cellules pré-incubées avec les produits. Aucune différence significative n'a été observée entre les cellules traitées avec SeY et/ou My-A+.

CONCLUSION

Les tests de viabilité cellulaire de Comet et de TUNEL ont tous montré que SeY et My-A+ pouvaient atténuer la toxicité induite par les mycotoxines combinées. Avec le test de viabilité cellulaire, une cytotoxicité réduite a été observée dans les cellules prétraitées avec les deux produits. Cela a été observé avec les combinaisons DON et ZEN testées (0,9 mg/kg DON avec 0,25/25 mg/kg ZEN). Le test de Comet a montré une diminution du pourcentage d'ADN de la queue des cellules qui ont subi le prétraitement avec SeY et My-A+ par rapport à celles qui ne l'ont pas eu. Cette étude montre que le prétraitement avec SeY et My-A+ a permis d'atténuer in vitro les effets combinés du DON et de la ZEN.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boisen, S., and J. A. Fernández. 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by in vitro analyses. *Anim Feed Sci Technol*, 68, 277-286
- Ji, J.; Wang, Q., Wu, H., Xia, S., Guo, H., Blaženović, I., Zhang, Y., Sun, X. 2019. Insights into Cellular Metabolic Pathways of the Combined Toxicity Responses of Caco-2 Cells Exposed to Deoxynivalenol, Zearalenone and Aflatoxin B1. *Food Chem Toxicol*, 126, 106-112.
- Lynch, S. Horgan, K. Walls, D. White, 2018. B Selenised yeast sources differ in their capacity to protect porcine jejunal epithelial cells from cadmium-induced toxicity and oxidised DNA damage. *Biomaterials*, 31, 845-858.
- Liew, W.P.P., Mohd-Redzwan, S. 2018. Mycotoxin: Its Impact on Gut Health and Microbiota. *Front Cell Infect Microbiol*. 8, 60.
- Streit, E., Schatzmayr, G., Tassis, P., Tzika, E., Marin, D., Taranu, I., Tabuc, C., Nicolau, A., Aprodu, I., Puel, O., Oswald, I. P. 2012 Current Situation of Mycotoxin Contamination and Co-Occurrence in Animal Feed-Focus on Europe. *Toxins*, 4, 788-809.



Valeur nutritionnelle des seigles hybrides chez le porc

Maria VILARIÑO (1), Maxime TRAINÉAU (1), Justine DANÉL (2), DEBEVER Vincent (3)

(1) ARVALIS, 2 Pouline, 41100 Villerable, France

(2) ARVALIS, Rue de L'Étang, Grancastel, 56800 Ploërmel, France

(3) KWS Momont 7, rue de Martinval, 59246 Mons-en-Pévèle, France

m.vilarino@arvalis.fr

Nutritional value of hybrid ryes for pig feed

Hybrid crops are common for maize and sorghum and are becoming more common for rye. The aim of this study was to assess whether the chemical composition and nutritional values for pigs of hybrid rye (hRye) were similar to those of conventional rye. The composition of two batches of hRye was analysed, and the faecal and ileal digestibilities of nutrients were measured. Faecal digestibility (fD) was measured for five castrated male pigs (at 90 kg BW). The fD of organic matter (90.8 %) and energy (85.3 %) were similar for the two hRye ($P > 0.05$). Mean digestible energy was 3733 kcal/kg DM, with a difference between the two batches of hRye of only 40 kcal/kg DM. The fibre (NDF) digestibility (measured from a pool of faeces) was high (71.4 %) and identical for both hRyes. In the second trial, amino acid contents, the standardized ileal digestibility (SID) of proteins and amino acids (AA), and the apparent ileal digestibility (AID) of other nutrients were studied for the same two batches. To this end, the ileal juices of three pigs (at 60 kg BW) surgically ileo-rectal terminal anastomosed, were mixed for each hRye. The SID of the main essential AA were similar for the two hRyes (less than 2 percentage points of difference) and averaged 62.8 %, 60.8 %, 65.0 %, 68.8 % and 62.3% for Lys, Met, Thr, Val and Trp, respectively. The AID of the nutrients (organic matter, starch, energy, proteins, NDF, ADF) were lower than the fD, as expected. This study provides new references for the composition and nutritional values of ryes.

INTRODUCTION

La culture d'hybrides en intra-espèce pour augmenter la productivité ou d'autres caractères d'intérêt, est la règle générale pour le maïs et le sorgho. Depuis quelques années, elle se développe sur les céréales à paille, dont les seigles, mais cela augmente le risque de contamination par *Claviceps purpurea*, un champignon qui se développe à la place du grain (ergot) et peut produire des toxines (alcaloïdes). Les seigles hybrides étudiés portent un caractère réduisant ce risque (Miedaner et Geiger, 2015) et cette étude a été réalisée pour vérifier que ce caractère ne modifie pas négativement leur composition chimique et leur valeur nutritionnelle chez le porc. Cette étude propose une caractérisation de la composition chimique et la valeur nutritionnelle de cette céréale très peu étudiée.

1. MATERIEL ET METHODES

Les essais sont réalisés à la station expérimentale d'ARVALIS - Institut du végétal de Villerable (41). Les protocoles utilisés ont été évalués favorablement par le Comité d'Éthique n°19 et autorisés par le MESR conformément à la Directive 2010/63/UE relative à l'utilisation d'animaux à des fins scientifiques.

Après nettoyage, deux lots de seigles hybrides de même variété et deux provenances (départements 29 et 60), fournis par KWS-Momont, sont caractérisés et évalués sur animaux.

Dans un premier essai, la digestibilité fécale de l'énergie et des nutriments des deux seigles est évaluée sur un total de dix porcs mâles castrés lourds (90 kg PV au bilan) considérant l'intérêt

particulier du seigle dans les aliments finition et chez la truie. Les aliments sous forme de farine, sont constitués de 96 % de seigle et 4 % d'un aliment minéral et vitaminé (AMV). La collecte totale des fèces permet de calculer les coefficients d'utilisation digestive au niveau fécal (CUDf), en individuel pour la matière sèche (MS), la matière organique (MO) et l'énergie brute (EB) et sur un pool de fèces par aliment pour les autres constituants.

Dans un deuxième essai, la digestibilité iléale apparente (DIA) de la matière azotée totale (MAT) et des acides aminés (AA) est mesurée sur trois porcs (60 kg PV au bilan), modifiés chirurgicalement (anastomose iléo-rectale termino-terminale), à partir d'un pool de jus iléaux collectés en totalité. Les aliments sont composés à 94,5 % des mêmes lots de seigle et d'un AMV à hauteur de 5,5 %. La digestibilité iléale standardisée (DIS) est calculée en soustrayant de la quantité totale excrétée de chaque AA, la quantité excrétée d'origine endogène à partir des valeurs théoriques. La DIA est déterminée, à titre exploratoire, pour d'autres constituants, afin d'avoir un aperçu de l'utilisation de nutriments dans les deux compartiments, fécal et iléal, même si aucune comparaison statistique n'est possible.

Une analyse de variance est faite uniquement sur les critères mesurés en individuel (modèle mixte avec l'aliment en effet fixe et l'animal en effet aléatoire) avec le logiciel XLSTAT.

2. RESULTATS

Le tableau 1 regroupe les valeurs de composition chimique, de CUDf et de DIA des constituants majeurs des seigles, ainsi que les valeurs moyennes de composition et la DIS de la MAT et des AA essentiels (valeurs manquantes disponibles sur demande).

Tableau 1 – Caractéristiques chimiques et coefficients de digestibilité des différents nutriments des seigles

| Composant | Teneur, % MS ou kcal/kg MS ⁽¹⁾ | | CUDf, % (E1) | | | DIA, % (E2) | | | Composant | Teneur, % MS | DIS, % (E2) |
|-------------------|---|------|-----------------------|------|------|-------------|------|------|-----------|--------------|-------------|
| | S1 | S2 | Mesure | S1 | S2 | Mesure | S1 | S2 | | Moyenne | Moyenne |
| MAT | 8,0 | 8,8 | Pool | 67,1 | 69,5 | Pool | 65,4 | 67,6 | MAT | 8,40 | 66,5 |
| Amidon | 67,2 | 65,2 | Indiv. ⁽²⁾ | 100 | 100 | Pool | 92,1 | 93,1 | Lys | 0,37 | 62,8 |
| MG | 1,6 | 2,0 | Pool | - | - | Pool | 29,8 | 45,5 | Thr | 0,30 | 65,0 |
| MO | 98,3 | 98,3 | Indiv. ⁽²⁾ | 90,8 | 90,8 | Pool | 73,1 | 74,6 | Met | 0,14 | 71,1 |
| NDF | 16,2 | 16,0 | Pool | 71,4 | 71,3 | Pool | 39,6 | 41,9 | Trp | 0,10 | 62,3 |
| ADF | 3,0 | 3,4 | Pool | 51,5 | 35,3 | Pool | 35,4 | 19,7 | Ile | 0,27 | 66,8 |
| ADL | 1,2 | 1,1 | - | - | - | - | - | - | Leu | 0,52 | 68,4 |
| Sucres totaux | 5,2 | 5,4 | - | - | - | - | - | - | Val | 0,40 | 68,8 |
| EB ⁽¹⁾ | 4373 | 4383 | Indiv. ⁽²⁾ | 84,9 | 85,6 | - | - | - | Ala | 0,38 | 57,4 |
| | | | Pool | 84,9 | 85,9 | Pool | 67,6 | 68,2 | | | |

S1 : seigle 1, S2 : seigle 2, E1 : Essai 1, E2 : Essai 2, MS : matière sèche, CUDf : coefficient d'utilisation digestive mesurée au niveau fécal, DIA : digestibilité iléale apparente, DIS : digestibilité iléale standardisée. (2) Moyenne des valeurs individuelles sans différences significatives ($P > 0,05$), MAT : matière azotée totale, MO : matière organique, MG : matière grasse après hydrolyse, NDF : fibres solubles dans le détergent neutre, ADF : fibres solubles dans le détergent acide, ADL : lignine, EB : énergie brute, Lys : lysine, Thr : thréonine, Met : méthionine, Trp : tryptophane, Ile : isoleucine, Leu : leucine, Val : valine, Ala : alanine.

Les seigles S1 et S2 ont une composition peu variable. Les CUDf de la MO et de l'EB ne sont pas différents entre les deux seigles ($P > 0,05$), avec une variabilité intra-traitement assez faible (coefficients de variation de 0,4 à 1,7%, non présentés) et proches de ceux reportés dans FeedTables (CUDf MO = 88,7 % et CUDf EB = 85,9 %). L'amidon est entièrement digéré au niveau fécal. Les CUDf NDF sont identiques entre les deux seigles, et de niveau élevé en comparaison des valeurs du blé (43 %) et de l'orge (54 %) mesurées dans un précédent essai. Les CUDf de l'ADF et ADL semblent différents, mais leur faible teneur augmente l'incertitude. Les CUDf de la MAT sont proches entre les seigles, mais la valeur absolue ne doit pas être prise en compte vu le biais engendré par le passage des protéines par le gros intestin. Les valeurs de CUDf de la MG ne sont pas présentées car négatives, ce qui montre la limite de cette mesure avec des faibles teneurs dans les aliments et une fraction endogène non négligeable au niveau fécal.

Les valeurs d'ED ne se différencient pas ($P > 0,05$) entre les deux seigles, avec une valeur moyenne de 3733 kcal/kg MS et un écart entre eux de seulement 40 kcal/kg MS. Ces valeurs sont intermédiaires des références porcs en croissance (3680 kcal/kg MS) et porcs adultes (3760 kcal/kg MS) de FeedTables, probablement expliqué par le poids élevé des porcs de cet essai. La moyenne des CUDf EB et la valeur obtenue sur le pool de fèces étant proches pour chaque seigle, nous permet de valider la représentativité des pools pour les autres critères.

Bien que les valeurs soient issues de deux essais, l'analyse comparative de la digestibilité dans les deux compartiments (fécal et iléal) nous semble intéressante. Comme attendu, la digestibilité est plus élevée au niveau fécal sous l'action de la flore intestinale qu'au niveau iléal. Une partie des nutriments qui ne sont pas digérés complètement dans l'intestin grêle, sont transformés par la flore bactérienne et donc ne se retrouvent

plus dans les fèces, augmentant ainsi le CUDf. Les CUDf MO et EB sont plus élevées d'environ 17 points que les DIA. L'augmentation semble plus faible pour l'amidon (7 points), qui étant fortement digéré au niveau iléal, il l'est complètement à la sortie du colon. Pour les fibres, le NDF a une digestibilité faible au niveau iléal, similaire entre les seigles (41% en moyenne). Les valeurs pour l'ADF sont variables entre les seigles, bien que la hiérarchie entre les niveaux fécal et iléal soit maintenue.

Les deux seigles ont un profil en AA comparable, les faibles différences étant expliquées par l'écart en MAT. D'ailleurs, la prédiction des AA à partir de la MAT avec les équations de Mossé (1990) donne des valeurs identiques ou très proches de celles mesurées ($\pm 0,01$ en moyenne pour les AA essentiels).

Pour la plupart des AA essentiels (Lys, Thr, Met, Cys, Trp, Leu, Val), les valeurs de DIS entre les deux seigles sont très proches (< 2 points). Pour d'autres (Arg, His et Phe), les écarts sont plus élevés, mais sans répétitions aucune conclusion peut être avancée. Les DIS des AA essentiels des seigles donnent des valeurs plus faibles (10 à 15 points) que celles de FeedTables. Néanmoins, les valeurs des tables sont anciennes et très peu de références existent sur la digestibilité des AA du seigle. McGhee et Stein (2018), ont évalué la DIS AA de trois seigles de composition similaire, mais la méthode n'est pas comparable (porcelets 26 kg, collecte partielle avec marqueur).

CONCLUSION

La composition chimique des seigles hybrides s'avère comparable à celle des seigles classiques. Ces résultats sur leur valeur nutritionnelle contribuent à mieux connaître cette céréale, peu étudiée, qui présente un intérêt dans l'alimentation des porcs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- INRAE-CIRAD-AFZ, 2023. Tables INRAE-CIRAD-AFZ d'alimentation des animaux. <https://feedtables.com>.
- McGhee M.L., Stein H.H., 2018. Apparent and standardized ileal digestibility of AA and starch in hybrid rye, barley, wheat, and corn fed to growing pigs. J. Anim. Sci., 96, 3319–3329.
- Miedaner T., Geiger H.H., 2015. Biology, genetics, and management of ergot in rye, sorghum, and pearl millet. Toxins, 7(3), 659-678.
- Mossé J., 1990. Acides aminés de 16 céréales et protéagineux : variations et clés du calcul de la composition en fonction du taux d'azote des grain(es). Conséquences nutritionnelles. INRAE Prod. Anim., 3, 103–119.



Détection de perturbations environnementales sur des données d'ingestion de porcs en croissance

Carolina GARCIA-BACCINO, Aurélie LE DREAU, Bruno LIGONESCHE

NUCLEUS SAS, 7 Rue des Orchidées, 35650 LE RHEU, France

c.garciabaccino@nucleus-sa.com

Detection of unrecorded environmental disturbances using feed intake data on growing pigs

Routinely collected feed intake data used to select animals based on their feed conversion ratio can contain valuable information for other traits such as resilience. Resilient animals can maintain their production in the face of various environmental challenges. The objective of this study was to apply a method for detecting environmental disturbances using high-frequency feed intake data and to assess its performance and utility to this end. We analysed feed intake data from 552 Piétrain pigs from two farms in France. We used a method based on mixture models to estimate the probability of an environmental disturbance occurring on each day (or another specified period, as appropriate). The results revealed that the method could effectively detect disturbances to which the animals had been exposed. Certain days with a high probability of an environmental disturbance were associated with specific interventions or weather events (e.g., high temperatures or thunderstorms that caused technical problems). On other days, however, no information was available that could explain the disturbances, and we assumed that they corresponded to days on which unrecorded environmental disturbances had occurred. In a second step, this information could be used to assess the response of individuals to stress. This study is an initial step towards understanding the genetic determinism of resilience within studied populations and assessing the potential to select for this trait.

INTRODUCTION

Depuis 2014, l'entreprise de sélection porcine Nucléus a installé des automates d'enregistrement de l'ingéré individuel (DAC) dans sept élevages de sélection. Ces bases de données contiennent des informations exploitables pour d'autres caractères de plus en plus importants aujourd'hui, mais qui ne sont pas encore utilisés à cette fin. Parmi ces caractères, la résilience mérite d'être mise en avant. Les animaux résilients sont capables de maintenir leur production face à différents défis environnementaux. Dans des conditions de production normales, les événements de perturbation ne sont parfois pas enregistrés et leurs origines restent inconnues. Par conséquent, pouvoir détecter les périodes pendant lesquelles des défis environnementaux se sont produits permet de quantifier la variabilité de réponse entre les animaux et de sélectionner les plus résistants. L'effet des perturbations peut être observé indirectement sur les performances à travers les changements de la variabilité (Nguyen-Ba *et al.*, 2020).

L'objectif de cette étude est de présenter l'application d'une méthode de détection des perturbations environnementales chez des animaux de l'entreprise de sélection NUCLEUS en utilisant des données de consommation alimentaire à haute fréquence et d'évaluer sa performance et son utilité.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Animaux et phénotypes

L'étude se base sur les données de consommation alimentaire de 552 animaux Piétrain de deux élevages Nucléus en France.

Tous les animaux de huit bandes (quatre de chaque élevage) ont été pris en compte pendant la même période pour chaque élevage : d'avril à octobre 2022. La période de mesure dure environ 10 semaines dès l'entrée à l'engraissement (à 30 kg), jusqu'au testage (à 100 kg). Les animaux ont été nourris *ad libitum* pendant toute la période.

Premièrement, les données ont été nettoyées pour éliminer des enregistrements aberrants (consommations négatives ou nulles, visites fantômes ou vitesse d'ingestion physiologiquement impossible). Des analyses exploratoires ont montré beaucoup de variabilité intra jour de la consommation journalière (CJ) pendant les cinq premiers jours, pendant lesquels les animaux sont en phase d'adaptation ; de plus, le temps nécessaire pour s'habituer au fonctionnement des DAC varie d'un animal à l'autre, ce qui augmente la variabilité de la consommation. En conséquence, les cinq premiers jours n'ont pas été considérés dans l'analyse.

Suite au nettoyage, tous les enregistrements de visites par jour et par animal ont été additionnés pour obtenir la CJ. Comme les données ont été enregistrées chez des animaux en croissance, la CJ a tendance à augmenter à mesure que l'animal grandit (et sa variance aussi en raison d'un effet d'échelle). Afin de prendre cela en compte, nous avons utilisé le logarithme naturel du coefficient de variation (CV) intra jour de la CJ au lieu de la variance.

1.2. Détection des perturbations

La méthode utilisée pour déduire l'existence de jours très variables (indicateurs de perturbations environnementales) exploite les données phénotypiques à haute fréquence. Cette

méthode a été proposée par Garcia-Baccino *et al.* (2021) et utilise des modèles de mélange (Figure 1) permettant d'estimer les probabilités de survenue d'une perturbation pour chaque jour. Cette méthode nécessite l'homogénéité parmi les animaux au sein des groupes étudiés, afin d'éviter la variabilité provenant, par exemple, des différences d'âge. C'est la raison pour laquelle nous avons effectué l'analyse par bande.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 1 présente à titre d'exemple le modèle de mélange obtenu pour l'une des bandes étudiées, tous les autres cas suivant la même logique. Sur le graphique, on peut voir les deux composantes : 1) en rouge, la composante liée aux jours à faible probabilité de perturbation et 2) en vert, la composante liée aux jours à forte probabilité de perturbation.

Nous avons obtenu pour chaque jour de chaque bande une probabilité de survenue d'une perturbation. Nous avons détecté des perturbations (jours avec une probabilité supérieure à 0,50) dans sept des huit bandes. La figure 2 présente le cas de la première bande de chaque élevage à titre d'exemple, avec la probabilité de survenue d'une perturbation pour chaque jour. Parmi les jours associés à une perturbation, l'attention a été principalement portée sur ceux présentant une probabilité plus élevée ($P > 0,90$, ligne rouge dans la figure 2) afin de les analyser en détail et de recueillir des informations plus précises sur les événements pendant ces dates. Nous avons détecté un total de 17 jours présentant une forte probabilité de perturbation ($P > 0,90$) pour le premier élevage, avec une moyenne de 4,25 jours par bande, et 39 jours au total pour le deuxième élevage, avec une moyenne de 9,75 jours par bande.

Comme décrit par Garcia-Baccino *et al.* (2021), environ 70 % des jours avec une probabilité élevée de perturbation ont été associés à des interventions spécifiques ou des événements climatiques (fortes températures ou des orages qui ont généré des problèmes techniques), pendant le jour précis ou les jours proches. Cependant, pour d'autres jours (30 %) il n'y a pas d'information enregistrée pour expliquer ces perturbations.

Dans ce cas, la méthode permet de détecter des perturbations non enregistrées qui ont eu un impact significatif sur la CJ.

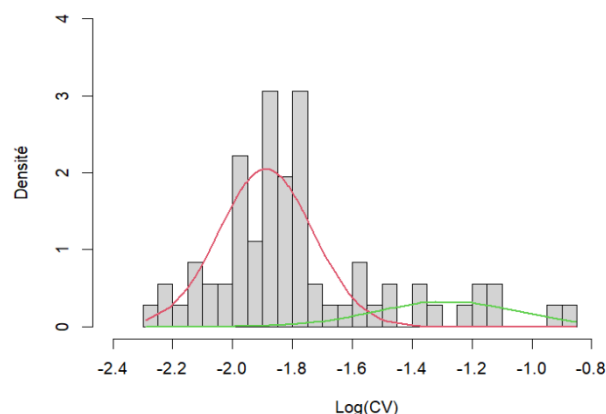


Figure 1 - Modèle de mélange à deux composantes (rouge et vert) ajustées au logarithme du coefficient de variation des données de consommation journalière.

CONCLUSION

La méthode de détection utilisée ici permet de détecter des perturbations auxquelles les animaux ont été exposés à partir de données de consommation alimentaire à haute fréquence. Ces données sont collectées de manière routinière dans le but d'améliorer l'indice de consommation des animaux. La méthode permet d'exploiter ces données (sans avoir besoin de collecter des informations supplémentaires) pour travailler sur la résilience. Elle permet d'extraire des informations par rapport aux perturbations (a priori non enregistrées) et de l'utiliser pour évaluer la réponse de chaque individu au stress. Cela permettra ensuite d'évaluer les réponses individuelles et de sélectionner les individus qui réagissent le mieux aux perturbations (résilients). C'est pour cette raison que ce travail constitue une première étape vers la compréhension du déterminisme génétique de la résilience au sein des populations étudiées et l'évaluation d'une éventuelle sélection pour ce caractère.

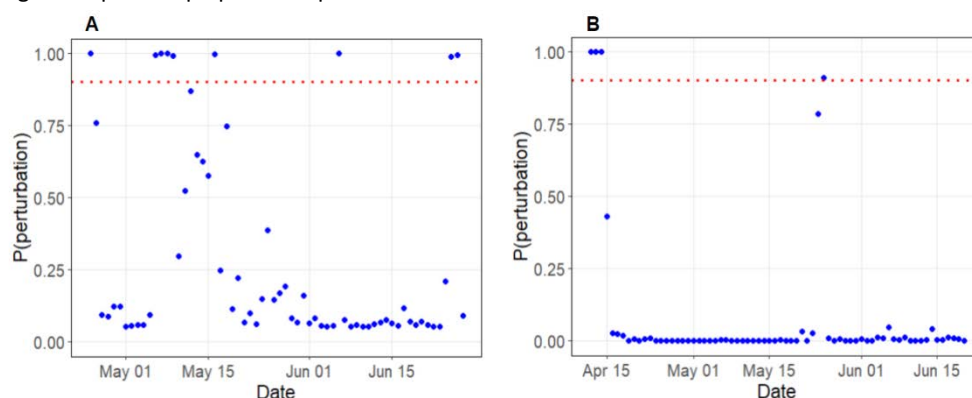


Figure 2 - Probabilités de présenter un coefficient de variation (CV) élevé lié à l'occurrence d'une perturbation environnementale pour chaque jour pour la première bande de chaque élevage (A et B).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Garcia-Baccino C. A., Marie-Etancelin C., Tortereau F., Marcon D., Weisbecker J. L., Legarra A., 2021. Detection of unrecorded environmental challenges in high-frequency recorded traits, and genetic determinism of resilience to challenge, with an application on feed intake in lambs. *Genet. Sel. Ev.* 53(1), 1-14.
- Nguyen-Ba H., van Milgen J., Taghipoor M., 2020. A procedure to quantify the feed intake response of growing pigs to perturbations. *Animal*, 14, 253–260.



Etude de la qualité de la carcasse des porcs nourris individuellement

Laura DEROUET (1), Arnaud BUCHET (1), Quentin ROPERT (2), Matthieu CORNIC (1),
Damien MONSIMERT (3), Audrey GLOUX (3)

(1) Cooperl Innovations SAS, 1 rue de la Gare, 22640 PLESTAN

(2) Cooperl Equipement, Rue de la Jeannaie, 22403 LAMBALLE-ARMOR Cedex

(3) ASSERVA, 7 Rue des Gastadours Maroué, 22400 LAMBALLE-ARMOR

laura.derouet@cooperl.com

Study of the carcass quality of individually fed pigs

The objective of this study was to identify impacts of an individual feeding plan on the carcass quality of pigs. Two batches were monitored on a production farm with entire males and females. The pigs were fed a restrictive diet in 3-phase by two electronic feed dispensers installed in the pen. Pigs were identified and weighed automatically each time they visited the feed dispenser. For 57 pigs (34 entire males and 23 females, average initial body weight of 44.0 ± 2.3 kg), data were collected on growth performance, consumption and feeding behaviour on the farm, as well as carcass quality at the slaughterhouse. Pigs were divided into two groups as a function of their ingestion rate (VI-: 37-80 g/min and VI+: > 80 g/min). Pigs that ate faster (VI+) had significantly greater average daily weight gains (+ 7%, P -value = 0.02). There is no significant difference for average daily consumption (P -value = 0.07) and feed conversion ratio (P -value > 0.05). The ingestion rate was related to the duration of feeding visits (P -value < 0.001) but not to the number of daily meal and average food intake per meal. In contrast, carcass quality did not differ significantly between the groups. When pigs were divided into two groups as a function of another variable of feeding behaviour, there is no significant difference in terms of growth performance and carcass quality. Additional data are necessary to draw conclusions about potential relations between the feeding behaviour and carcass quality of growing pigs.

INTRODUCTION

En élevage, l'alimentation des porcs en engraissement est réalisée sur une base collective avec les systèmes d'alimentation classiques (distribution de soupe et nourrisseurs). L'alimentation de précision représente un réel levier pour étudier le comportement alimentaire individuel en engraissement. Le mode d'alimentation n'est alors plus collectif mais individuel et adapté à la croissance de chaque animal. La station d'alimentation Selffeeder GFI, développée par Asserva, permet le rationnement individuel des porcs élevés en groupe en s'adaptant aux besoins nutritionnels de façon individuelle. Le contrôle en temps réel des performances zootechniques et du comportement alimentaire ainsi que l'enregistrement des données sont automatisés. Plusieurs études ont analysé des données de consommation individuelles pour décrire le comportement alimentaire (Nielsen, 1999) ou le lien avec les performances zootechniques (Labroue *et al.*, 1997 ; Andretta *et al.*, 2015) et la qualité de carcasse (Labroue *et al.*, 1997, Carcó *et al.*, 2018). A notre connaissance, il n'existe pas d'étude reliant le comportement alimentaire, les performances zootechniques et la qualité de carcasse dans des conditions rationnées. L'objet de cette étude est donc d'identifier des variables de comportement alimentaire qui pourraient être associées à des différences de la qualité de carcasse et des performances zootechniques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux expérimentaux

Les données de 57 porcs charcutiers (34 mâles entiers et 23 femelles, poids d'entrée : $44,0 \pm 2,3$ kg), de génétique NUCLEUS Piétrain x (Large White x Landrace), issus de deux bandes d'un élevage de production adhérent à la Coopérative Cooperl, ont été intégrées à cette étude. Chaque porc est identifié individuellement à l'aide d'une boucle RFID UHF (Ultra Haute Fréquence). La densité animale dans la case est de $0,75 \text{ m}^2$ par porc avec 70 porcs présents dans la case. Les porcs sont de même âge et poids, de sex ratio équivalent à l'entrée en engraissement dans les cases.

1.2. Système d'alimentation

Deux stations d'alimentation ont été installées dans la case, dont les deux trémies sont approvisionnées grâce à un système en trois phases : un premier aliment distribué jusqu'à 55 kg, un deuxième aliment distribué jusqu'à 80 kg et un troisième aliment jusqu'à la fin de la période d'engraissement. L'aliment est distribué sous forme de miette mélangé à de l'eau (1 L/kg). Les porcs sont pesés automatiquement à chaque visite dans l'automate d'alimentation par un système de bascule. Les porcs sont reconnus par leur boucle RFID via une antenne placée au niveau de l'auge. Le poids du porc identifié est enregistré et une dose d'aliment est distribuée. Le poids de l'animal est associé à

une quantité d'aliment journalière qui est déterminée suivant un plan d'alimentation mis en place dans l'élevage.

1.3. Mesures et analyses statistiques

Les données des stations d'alimentation sont remontées automatiquement et enregistrées dans un fichier journalier. Les performances zootechniques (GMQ : gain moyen quotidien, CMJ : consommation moyenne journalière et IC : indice de consommation) et le comportement alimentaire de chaque porc : vitesse d'ingestion moyenne (VI), durée moyenne des visites d'alimentation (DUM), nombre de visites d'alimentation par jour (NDM), quantité moyenne d'aliment par visite (FIM) ont été calculés. La VI est le rapport de FIM par DUM. Les VI supérieures à 180 g/min ont été exclues de l'analyse car considérées comme des visites de non consommation. Les données de qualité de carcasse ont été collectées à l'abattoir. Le TMP (taux de muscle des pièces) a été calculé à partir des épaisseurs de gras (G3, G4) et de muscle (M3, M4) obtenues par Image Meater (Uniporc).

Pour chaque critère du comportement alimentaire, les porcs ont été répartis en deux groupes d'effectifs égaux sur la base de leur VI moyenne sur toute la phase d'engraissement : (VI faible, VI- : [37 ; 80] g/min et VI élevée, VI+ :]80,+[g/min) (Tableau 1). Les résultats selon DUM, NDM et FIM ne sont pas présentés. Une analyse de variance a été réalisée avec le logiciel R afin de tester l'effet VI sur les performances zootechniques et de qualité de carcasse. L'unité statistique est le porc.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les porcs VI+ effectuent en moyenne des visites d'alimentation plus courtes (-3,1 minutes) que les porcs VI-. La quantité d'aliment par visite n'est pas significativement différente d'un groupe à l'autre ($P = 0,24$).

Il existe un effet de la VI sur les performances zootechniques. Les porcs qui ingèrent plus vite (VI+) ont un GMQ plus important de 7% en moyenne ($P = 0,02$) comparativement aux porcs du groupe VI-. Une corrélation génétique élevée entre VI et GMQ a été montrée par Labroue *et al.* (1997). Ces auteurs mettent également en avant des corrélations avec la CMJ et l'IC. Dans notre étude, on constate que la CMJ des porcs VI+ tend à être plus élevée ($P = 0,07$). Un plus grand échantillon d'individus permettrait d'affirmer ou d'infirmer une différence significative de CMJ selon la vitesse d'ingestion.

Les caractéristiques de carcasse ne sont pas différentes selon la vitesse d'ingestion moyenne en engraissement. Le poids chaud des porcs VI+ est en tendance plus élevé ($P = 0,07$) que le poids de carcasse des porcs VI-. Labroue *et al.* (1997) ont mis en évidence, dans des conditions d'alimentation à volonté,

Tableau 1 – Données moyennes de qualité de carcasse, performances de croissance et comportement alimentaire en fonction de la vitesse d'ingestion (VI)

| | VI- | VI+ | Effet ¹ | ETR ² |
|-----------------------------------|-----------|-----------|--------------------|------------------|
| n | 27 | 30 | | |
| Poids initial | 43,7 | 44,3 | Ns | 2,26 |
| Comportement alimentaire | | | | |
| VI (g/min) | 65,2 | 93,6 | *** | 11,7 |
| DUM ³ (min) | 10,8 | 7,7 | *** | 2,6 |
| NDM ⁴ | 3,5 | 3,3 | Ns | 0,6 |
| FIM ⁵ (g) | 665,5 | 704,4 | Ns | 122,7 |
| Performances zootechniques | | | | |
| CMJ (kg/j) | 2,33 | 2,41 | 0,07 | 0,17 |
| GMQ (kg/j) | 0,987 | 1,059 | * | 0,12 |
| IC | 2,38 | 2,29 | Ns | 0,22 |
| Qualité de carcasse | | | | |
| G3 (mm) | 13,5 | 13,9 | Ns | 3,6 |
| M3 (mm) | 75,8 | 76,9 | Ns | 6,1 |
| TMP (%) | 60,8 | 60,7 | Ns | 2,3 |
| Poids chaud (kg) | 94,4 | 95,9 | 0,07 | 3,2 |

¹ : * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, ns : non significatif. ² Ecart-type résiduel. ³ Durée moyenne des visites d'alimentation (min). ⁴ Nombre moyen de visites d'alimentation par jour. ⁵ Quantité moyenne d'aliment consommé par visite d'alimentation (g).

que la vitesse d'ingestion est l'un des indicateurs du comportement alimentaire corrélé génétiquement au pourcentage de muscle. Une autre étude a montré que des porcs avec une VI supérieure à 52,1 g/min ont des poids de carcasse et un pourcentage de gras plus élevés, respectivement, de 16% et 14%, par rapport à des porcs avec une VI inférieure à 38,3 g/min (Carcó *et al.*, 2018). L'effectif impliqué dans notre étude est un peu faible pour faire ressortir des différences sur les autres critères de caractéristiques de carcasse en fonction de la VI.

La répartition des porcs selon d'autres indicateurs du comportement alimentaire (DUM, NDM et FIM) a également été analysée mais n'a pas permis de mettre en évidence un effet du comportement alimentaire sur la qualité de carcasse.

CONCLUSION

Les nouveaux systèmes d'alimentation individuels permettent d'intégrer des indicateurs du comportement alimentaire à l'échelle individuelle. Des données supplémentaires sont nécessaires pour établir un lien entre comportement alimentaire et qualité de carcasses des porcs en engraissement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andretta I., Pomar C., Rivest J., Pomar J., Hauschild L., Kipper M., Radünz Neto J., 2015. Impact de l'alimentation de précision sur le comportement alimentaire du porc charcutier. Journées Rech. Porcine, 47, 63-68.
- Carcò G., Gallo L., Dalla Bona M., Latorre M.A., Fondevila M., Schiavon S., 2018. The influence of feeding behaviour on growth performance, carcass and meat characteristics of growing pigs. PLOS ONE 13 (10), e0205572.
- Labroue F., Guéblez R., Sellier P., 1997. Genetic parameters of feeding behaviour and performance traits in group-housed Large White and French Landrace growing pigs. Gen. Sel. Evol., 29, 451-468.
- Nielsen B.L., 1999. On the interpretation of feeding behaviour measures and the use of feeding rate as an indicator of social constraint. Appl. Anim. Behav. Sci., 63, 79-91.



Prédiction des besoins nutritionnels de truies gestantes à partir de données de capteurs et d'algorithmes d'apprentissage automatique

Maëva DURAND (1), Christine LARGOUET (2), Louis Bonneau de BEAUFORT (2), Jean-Yves DOURMAD (1),
Charlotte GAILLARD (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

(2) Institut Agro, Univ Rennes1, CNRS, INRIA, IRISA, 35000, Rennes, France

charlotte.gaillard@inrae.fr

Prediction of the nutritional requirements of gestating sows using sensor data and machine-learning algorithms

Precision feeding aims to provide a ration close to the nutritional requirements of each gestating sow, which are calculated using a model (e.g. InraPorc) that requires input data (e.g. sow characteristics) and an estimate of the herd's farrowing performance. This study evaluated machine-learning methods to predict the daily nutritional requirements of gestating sows based on sensor data as a function of different configurations of virtual farms. Data on 73 gestating sows were recorded by automatons or sensors such as electronic feeders, drinking stations, connected weight scales, and accelerometers. Nine machine-learning algorithms were then trained on various dataset scenarios as a function of different virtual farm configurations (using data from one or two sensors) to predict daily standardized ileal digestible lysine and metabolizable energy requirements for each sow. Adding the inputs usually provided to the InraPorc model (i.e. housing conditions and sow characteristics at artificial insemination) to the sensor data improved the mean average percentage error by 5.6 % for lysine and 2.2 % for energy. The highest coefficients of multiple determination for lysine ($R^2 = 0.99$) and for energy ($R^2 = 0.95$) were obtained for scenarios that involved an automatic feeder and included housing and sow characteristics. For these scenarios, the root mean square error was lower with Gradient Tree Boosting (0.91 MJ/d for energy and 0.08 g/d for lysine) than that with linear regression (2.75 MJ/d and 1.07 g/d, respectively). The results of this study show that the daily nutrient requirements of gestating sows can be predicted accurately with data provided by sensors and machine-learning methods, which paves the way to simpler solutions for precision feeding.

INTRODUCTION

L'alimentation sur mesure est une stratégie visant à fournir une quantité et une composition d'aliments aussi proches que possible des besoins en nutriments de chaque animal. Le but est de réduire le coût alimentaire, les ressources utilisées et les impacts environnementaux (Gaillard *et al.*, 2020). Habituellement, les besoins en nutriments des truies gestantes sont déterminés par un modèle nutritionnel mécaniste (ex. InraPorc) nécessitant des données d'entrée (ex. certaines caractéristiques de la truie et du troupeau). De nouveaux capteurs et automates ont été développés au cours des dernières décennies dans les élevages de porcs et produisent de grandes quantités de données souvent peu analysées (Neethirajan, 2020). Cette étude vise à explorer la prédiction journalière individuelle des besoins nutritionnels (i.e. l'énergie métabolisable, en MJ/j et la lysine digestible iléale standardisée, en g/j) des truies gestantes à partir de données mesurées par des capteurs (automate d'alimentation et d'abreuvement, balance connectée et accéléromètre). Cette étude propose ainsi de tester différentes configurations de fermes numériques (présence d'un ou deux de ces quatre capteurs, soit 20 scénarios en tout) et de neuf algorithmes d'apprentissage

automatique : une régression linéaire simple (LR), une LR avec une régularisation LASSO (LASSO) ou RIDGE (RIDGE), une régression polynomiale (PR), une machine à vecteur de support pour régression (SVR), les k-voisins les plus proches (KNN), une forêt aléatoire (RF), un arbre à gradient boosté (GTB) et un perceptron multicouches (MLP).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données collectées et pré-traitement

Cette étude s'est déroulée de juillet 2020 à avril 2021, dans l'unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs (UE3P, INRAE, Rennes, France, doi : 10.15454/1.5573932732039927E12). Les données ont été collectées sur 73 truies (provenant de 4 bandes), dont huit primipares, durant toute la phase d'élevage en groupe de la gestation. Le comportement alimentaire était déterminé à l'aide d'automates d'alimentation (Gestal, JYGA Technologies inc., Canada) : le temps et le nombre de visites journalières (avec et sans ingestion), ainsi que l'ordre de passage. Des automates d'abreuvement (Asserva, France) permettaient de suivre le comportement d'abreuvement : le temps et le nombre de visites journalières (avec et sans buvée), ainsi que la quantité

journalière d'eau bue. Le poids vif était relevé chaque semaine à l'aide d'une balance manuelle (Schippers, Pays-Bas). Les truies étaient équipées d'accéléromètres triaxiaux (RF-Track, France) sur l'oreille afin de caractériser leur activité physique individuelle journalière : le temps passé en position couchée, debout immobile et debout en mouvement, ainsi que le nombre de changements de position.

1.2. Mise au point des hyperparamètres des algorithmes et évaluation des performances

Les algorithmes d'apprentissage automatique étaient développés en langage Python via le logiciel Pycharm (version 2022.3.2), à l'aide de la librairie scikit-learn (version 1.2.1.). Les 8 323 observations (i.e. une observation par truie par jour de gestation) ont été découpées à 100 reprises, de manière aléatoire, entre des données d'apprentissage (70 %) et de test (30 %). La mise au point des hyperparamètres des algorithmes a été réalisée par une validation croisée de type trois blocs pour chaque algorithme et scénario. Le modèle InraPorc, modifié par Gaillard *et al.* (2020), a permis de produire les valeurs de référence des besoins nutritionnels, à partir des caractéristiques individuelles des truies (âge, poids et épaisseur de lard à l'insémination et objectifs à la mise bas) et des données historiques de l'élevage (prédiction des performances de la portée). Ces valeurs ont été comparées avec les résultats de prédiction des algorithmes via le RMSE (racine de l'écart quadratique moyenne), le MAPE (pourcentage de la moyenne de l'erreur absolue) et le R^2 (coefficient de détermination) à l'aide de la librairie scikit-learn (version 1.2.1.).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Comparaison des performances de prédiction des scénarios

2.1.1. Importance des caractéristiques de la truie et du logement

Pour la lysine, les scénarios incluant les caractéristiques de la truie et du logement ont des MAPE et RMSE améliorés par rapport à ceux n'incluant pas ces données (respectivement 5,5 vs 11,1 % et 0,70 vs 1,28 g/j). Pour l'énergie, les scénarios avec un seul capteur ont aussi de meilleures performances de prédiction avec l'intégration de ces caractéristiques ($R^2 = 0,73$ vs 0,38 sans ces variables), mais des performances similaires à celles des scénarios avec deux capteurs ($R^2 = 0,73$ pour un capteur et 0,72 pour deux capteurs).

2.1.2. Supériorité de l'automate alimentaire pour la prédiction

Pour l'énergie, les prédictions les plus précises ont été obtenues pour les scénarios cumulant l'automate alimentaire seul

($R^2 = 0,74$) ou avec un autre capteur ($R^2 = 0,75$). L'activité physique journalière de la truie est reliée au comportement alimentaire (Chapinal *et al.*, 2010). Ainsi, le comportement alimentaire peut être utilisé comme un proxy du temps debout, un paramètre clé des calculs des besoins journaliers énergétiques (Gaillard *et al.*, 2019).

Pour la lysine, les scénarios incluant les caractéristiques avec uniquement l'automate d'alimentation ou la balance avaient les R^2 les plus élevés (0,92) et les plus faibles RMSE (0,64-0,65 g/j) et MAPE (5,1-5,2 %), suivis du scénario cumulant l'automate d'alimentation avec la balance (MAPE = 5,3 %). Les besoins en lysine calculés par InraPorc sont basés sur le poids vif et le rang de portée (Gaillard *et al.*, 2019). Ces deux grandeurs sont reliées à la hiérarchie, elle-même corrélée à l'ordre de passage à l'automate alimentaire (Lanthony *et al.*, 2022), expliquant les performances de prédictions élevées avec l'automate.

2.2. Comparaison des performances de prédiction des algorithmes

Les MAPE et RMSE les plus faibles (et meilleurs), ainsi que les R^2 les plus élevés, ont été obtenus avec le GTB ($R^2 = 0,99$ et 0,95, respectivement pour la lysine et l'énergie), suivis du RF ($R^2 = 0,97$ et 0,92) et enfin du MLP ($R^2 = 0,97$ et 0,89). Les plus faibles performances de prédiction ont été obtenues avec LR, LASSO et RIDGE. La supériorité de ces algorithmes d'apprentissage automatique comparés à des régressions linéaires a également été montrée dans d'autres études sur le comportement (Kleanthous *et al.*, 2018) et l'ingestion alimentaire (Misiura *et al.*, 2021).

CONCLUSION

Les méthodes d'apprentissage automatique, utilisant les données fournies par les automates et capteurs, peuvent prédire précisément les besoins nutritionnels quotidiens des truies gestantes avec seulement 5 et 7 % d'erreur, respectivement pour l'énergie et la lysine. Ils ouvrent la voie à des solutions plus simples pour appliquer une alimentation de précision dans les fermes commerciales. De plus, l'utilisation d'un ou deux capteurs, utiles pour d'autres tâches sur la ferme, avec des algorithmes à faible consommation de ressources, vont dans le sens de « l'intelligence artificielle verte ».

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide financière de l'État gérée par l'ANR au titre du programme d'Investissements d'avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chapinal N., Ruiz de la Torre J.L., Cerisuelo A., Gasa J., Baucells M.D., Coma J., Vidal A., Manteca X., 2010. Evaluation of welfare and productivity in pregnant sows kept in stalls or in 2 different group housing systems. *J. Vet. Behav.*, 5, 83-93.
- Gaillard C., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2019. Exploration of individual variability to better predict the nutrient requirements of gestating sows. *J. Anim. Sci.*, 97, 4934-4935.
- Gaillard C., Quiniou N., Gauthier R., Cloutier L., Dourmad J.Y., 2020. Evaluation of a decision support system for precision feeding of gestating sows. *J. Anim. Sci.*, 98, 1-12.
- Kleanthous N., Hussain A., Mason A., Sneddon J., Shaw A., Fergus P., Chalmers P., Al-Jumeily D., 2018. Machine learning techniques for classification of livestock behaviour. *Proc. Conference "ICONIP 2018: Neural Information Processing"*, Siem Reap, Cambodge, pp. 304-315.
- Lanthony M., Danglot M., Spinka M., Tallet C., 2022. Dominance hierarchy in groups of pregnant sows: Characteristics and identification of related indicators. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 254, 105683.
- Misiura M.M., Filipe J.A.N., Brossard L., Kyriazakis I., 2021. Bayesian comparison of models for precision feeding and management in growing-finishing pigs. *Biosyst. Eng.*, 211, 205-218.
- Neethirajan S., 2020. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. *Sens. Bio-Sens. Res.*, 29, 100367.



Utilisation d'un décontaminant à base d'argile et d'algues chez la truie naturellement exposée aux mycotoxines en gestation et lactation

Marie GALLISSOT (1), Jeremy PEREZ (2), Eric PARR (2), Michael WELCH (2), Maria Angeles RODRIGUEZ (1)

(1) Olmix Group, Bréhan, France

(2) Carthage Innovative Swine Solutions, Carthage, IL, Etats-Unis

mgallissot@olmix.com

Use of a clay and algae-based decontaminant on sows naturally exposed to mycotoxins in gestation and lactation.

Mycotoxin contamination in pig feed is a recurring problem leading to chronic exposure of the animals. Deoxynivalenol (DON) and its derivatives are among the main mycotoxins impacting pig production in Europe and the United States. This study evaluates the effect of a clay and algae-based mycotoxin decontaminant on the reproductive performance of sows (n=207) exposed to chronic natural mycotoxin contamination from 35 days of gestation to weaning. The level of mycotoxins in the feed was measured by LC-MS/MS. A mean contamination of 956 ppb DON, 125 ppb 15-o-acetyl-DON, 338 ppb fumonisins B1 + B2 and 62 ppb zearalenone was reported. Despite a comparable starting weight between the control (without decontaminant) and test (with decontaminant) groups at allotment ($P = 0.67$), sows in the test group had a higher weight than the control sows at entry in farrowing ($P < 0.01$), and a body condition score of 0.12 point higher ($P = 0.04$). A greater number of live-born piglets were observed in supplemented sows than in control sows (+4%; $P < 0.01$), as well as a smaller proportion of mummified and stillborn piglets (-39%; $P < 0.05$ and -34%, $P < 0.01$, respectively). In contrast, no differences between groups were observed in the weight and growth of piglets before weaning ($P > 0.10$). These results indicate that the tested decontaminant can improve the body condition and farrowing performance of mycotoxin-exposed sows.

INTRODUCTION

Les effets délétères des mycotoxines sur la santé et les performances des porcs ont largement été démontrés (Alizadeh *et al.*, 2015). Parmi les centaines de mycotoxines identifiées, le déoxynivalénol (DON) et ses dérivés, la zéaralénone (ZEA) et les fumonisines (FUM) sont les plus étudiés. Ces mycotoxines sont également les plus présentes dans l'alimentation (Gruber-Dorninger *et al.*, 2019). Leur omniprésence conduit à une exposition chronique des animaux, avec des conséquences négatives sur les performances zootechniques. Cette étude évalue l'effet d'un décontaminant mycotoxine à base d'argile et d'algues sur les performances de reproduction de truies exposées à une contamination naturelle en mycotoxines de 35 jours de gestation jusqu'au sevrage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Schéma expérimental

L'essai a été réalisé dans un élevage naisseur de 6000 truies, dans l'Illinois (Etats-Unis). Les truies (n = 207) ont été bloquées par parité et état corporel avant d'être réparties de manière aléatoire en deux traitements : avec ou sans décontaminant dans l'aliment, de 35 jours de gestation jusqu'au sevrage.

Les aliments des 2 traitements ont été formulés avec les mêmes lots de matières premières. Ils étaient naturellement contaminés en mycotoxines (Tableau 1). Le décontaminant (MT.X+®, produit par Olmix Group) était incorporé à 1,5 kg/T d'aliment dans le groupe test. L'aliment était rationné en gestation (1,8 kg/truie/jour) et distribué *ad libitum* en lactation.

Tableau 1 – Contamination des aliments en mycotoxines (ppb)

| Teneurs moyennes ¹ | Gestation | Lactation |
|-------------------------------|-----------|-----------|
| DON | 1107 | 618 |
| 15-o-acétyl-DON | 42 | 108 |
| ZEA | 60 | 80 |
| FUM ² | 306 | 413 |

¹Analyses hebdomadaires réalisées par LC-MS/MS (ActLabs, Canada).

²Somme de fumonisine B1 + B2

1.2. Paramètres mesurés

L'état corporel des truies a été mesuré à 35 jours de gestation, à l'entrée en maternité et au sevrage (mesure par pied à coulisse au niveau de la 13^{ème} côte), et les truies ont été pesées à l'entrée en maternité et au sevrage. Les performances de mise-bas ont été relevées (porcelets nés totaux, nés vivants, mort-nés et momifiés). Les portées ont été pesées à 48h (après adoptions intra-groupe) et au sevrage. La mortalité et la morbidité des porcelets ont été relevées tout au long de la lactation. L'ingéré des truies en lactation a été mesuré.

1.3. Analyse statistique

Les données ont été analysées par comparaison de moyennes avec le logiciel R (version 4.2.3), selon un modèle linéaire mixte. La truie était l'unité expérimentale. Les valeurs de P -value $\leq 0,05$ étaient considérées comme significatives.

2. RESULTATS

2.1. Etat corporel des truies

Malgré un poids de départ comparable entre les groupes témoin (sans décontaminant) et test (avec décontaminant) à l'allotement ($P = 0,67$), les truies du groupe test avaient un poids supérieur aux truies témoin à l'entrée en maternité ($P < 0,01$), et une note d'état corporel supérieure de 0,12 point ($P = 0,04$) (Tableau 2).

2.2. Performances de mise-bas

Un plus grand nombre de porcelets nés vivants a été observé chez les truies supplémentées que chez les truies témoin (+4% ; $P < 0,01$), ainsi qu'une plus faible proportion de porcelets mort-nés et momifiés, (respectivement -39%, $P < 0,05$ et -34%, $P < 0,01$) (Tableau 2).

2.3. Performances de lactation

L'ingéré des truies en lactation a été légèrement plus bas dans le groupe test que dans le groupe témoin ($P = 0,12$). Par ailleurs, aucune différence entre les groupes n'a été observée sur le poids et la croissance des porcelets avant sevrage ($P > 0,10$) (Tableau 2).

DISCUSSION

Les résultats indiquent que la supplémentation améliore l'état corporel et les performances de mise-bas des truies. Ceci pourrait être expliqué par une efficacité alimentaire moins dégradée par l'exposition aux mycotoxines (Andretta *et al.*, 2015). Contrairement aux attentes, sur la base de précédentes études (de Grave *et al.*, 2021) aucune différence de performance n'a été observée entre les portées des deux groupes. Ceci peut être dû à un ingéré en lactation des truies test légèrement inférieur à celui des truies témoin (non significatif), ou à une exposition aux mycotoxines (DON en particulier) plus faible en lactation qu'en gestation.

En conclusion, l'étude indique que le décontaminant à base d'argile et d'algues peut améliorer les performances de mise-bas des truies exposées à une polycontamination naturelle en mycotoxines.

Tableau 2 – Effet du décontaminant sur les performances zootechniques des truies.

| Paramètres | Témoin | Test | ETM ¹ | P-value |
|--|--------|-------|------------------|---------|
| Truies | | | | |
| Nombre de truies (n) | 102 | 105 | | |
| Parité (n) | 2,85 | 2,77 | 0,24 | 0,63 |
| Durée de lactation (j) | 21,34 | 21,10 | 0,20 | 0,32 |
| Etat corporel des truies | | | | |
| Poids à 35j de gestation (kg) | 199,9 | 200,2 | 2,97 | 0,67 |
| Poids à 112 j de gestation (kg) | 220,0 | 230,5 | 2,58 | <0,01 |
| Poids au sevrage (kg) | 206,4 | 208,1 | 3,19 | <0,01 |
| Note d'état corporel à 35j de gestation | 2,92 | 2,89 | 0,04 | 0,61 |
| Note d'état corporel à 112j de gestation | 2,79 | 2,91 | 0,05 | 0,04 |
| Performances de mise-bas | | | | |
| Porcelets nés totaux (n) | 15,07 | 15,06 | 0,42 | 0,98 |
| Porcelets nés vivants (%) | 88,83 | 92,70 | 1,07 | <0,01 |
| Porcelets mort-nés (%) | 8,00 | 5,26 | 0,96 | <0,01 |
| Porcelets momifiés (%) | 2,62 | 1,61 | 0,51 | 0,04 |
| Performances de lactation | | | | |
| Consommation d'aliment (kg/truie/j) | 8,18 | 7,98 | 0,12 | 0,12 |
| Gain moyen quotidien des porcelets (g/j) | 223 | 223 | 4,55 | 0,96 |
| Mortalité après adoptions ² (%) | 11,11 | 10,69 | 1,02 | 0,73 |
| Porcelets sevrés (n) | 12,43 | 12,38 | 0,18 | 0,85 |

¹Ecart-type à la moyenne. ²Adoptions intra-groupes dans les 48h après mise-bas.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alizadeh A., Braber S., Akbari P., Garssen J., Fink-Gremmels J., 2015. Deoxynivalenol impairs weight gain and affects markers of gut health after low-dose, short-term exposure of growing pigs. *Toxins*, 7, 2071-2095.
- Andretta I., Kipper M., Hauschild L., Lehnen C.R., Remus A., Melchior R., 2015. Meta-analysis of individual and combined effects of mycotoxins on growing pigs. *Sci. Agr.*, 4, 328-331.
- De Grave X.B., Saltzman J., Laurain J., Rodriguez M.A., Molist F., Dänicke S., Santos R.R., 2021. The ability of an algoclay-based mycotoxin decontaminant to decrease the serum levels of zearalenone and its metabolites in lactating sows. *Front. Vet. Sci.*, 8, 704796.
- Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G., 2019. Global mycotoxin occurrence in feed: a ten-year survey. *Toxins*, 11, 375.



La source d'oligo-éléments affecte la prévalence du syndrome de dysgalactie post-partum, la mobilisation du lard dorsal et les interventions thérapeutiques chez les truies exposées à des températures ambiantes élevées

Christof RAPP (1), Maria José CARRION (2), Antonio VARGAS (2), José Joaquín CERON (3), Damián ESCRIBANO (3), Marianne KAISER (4), Fabienne DEFONTAINE (1)

(1) Zinpro Corporation, 5831 PJ Boxmeer, Pays-Bas

(2) Genera PMO, 30370 Cabo de Palos, Murcia, Espagne

(3) Université de Murcia, 30100 Espinardo, Murcia, Espagne

(4) Aarhus University, 8830 Tjele, Danemark

Christof@zinpro.com

The source of dietary trace minerals influences the prevalence of postpartum dysgalactia syndrome, backfat mobilization and therapeutic interventions in sows exposed to high ambient temperatures.

Sows during late gestation and lactation face increased oxidative stress, which may negatively impact milk production and piglet growth. Heat stress increases immune activation, which may divert energy away from milk synthesis. This study evaluated effects of trace mineral source on performance and health of sows exposed to high ambient temperatures. Six weeks before farrowing, multiparous sows, which farrowed from July-September, were allocated to one of two dietary treatments, corresponding to dietary supply of 50 ppm Zn, 20 ppm Mn, 10 ppm Cu and 0.2 ppm Se either as chelates of amino acids (AA) or methionine hydroxy analogue (MHA). A total of 123 sows were maintained on the dietary treatment until weaning. Within 12-24 hours after farrowing, samples of blood and saliva were collected, and indicators of oxidative stress, inflammation (cytokines) and antioxidants were determined. Rectal temperature and feed intake of sows were measured. Litter growth was measured until piglets were weaned. Backfat loss during lactation, prevalence of postpartum dysgalactia syndrome and therapeutic treatments in sows were decreased ($P < 0.05$), and feed intake was increased over the last five days before farrowing ($P = 0.01$) in sows on AA. Therapeutic treatments of piglets from sows on AA were lower ($P < 0.05$). In conclusion, supplementing sow diets in late gestation and lactation with AA helped maintain sow backfat during lactation and supported the health of sows and piglets exposed to high ambient temperatures.

INTRODUCTION

L'augmentation de la charge métabolique des truies en fin de gestation et pendant la lactation ainsi que la température ambiante élevée augmentent le niveau de stress oxydatif (Berchieri-Ronchi *et al.*, 2011, Zhao *et al.*, 2020). Lorsque les animaux sont soumis à un stress, le niveau des dérivés réactifs de l'oxygène (DRO) augmente. Une production excessive de DRO entraîne une altération de la réponse immunitaire et rend les animaux plus vulnérables aux maladies (Rahal *et al.*, 2014). Plusieurs oligo-éléments sont des cofacteurs des enzymes antioxydantes. Ainsi, ils peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation des effets négatifs de la charge oxydative. L'étude actuelle a évalué l'effet de la source d'oligo-éléments sur les performances et la santé des truies et des porcelets exposés à des températures ambiantes élevées. Le protocole expérimental a été approuvé par le Comité d'éthique pour l'expérimentation animale (CEEA) de l'Université de Murcie (numéro d'identification : A13180601).

1. MATERIEL ET METHODES

Des truies multipares (3^{ème} à 8^{ème} rang portée) prolifiques issues de deux bandes d'un troupeau commercial ont été utilisées pour cette expérience. L'essai a été mené pendant les mois de juillet à septembre dans le sud-est de l'Espagne, ce qui a exposé les truies à des températures ambiantes élevées (25 à 30 °C, avec 60 à 80 % d'humidité relative) dans le bâtiment d'élevage. Au 70^{ème} jour de gestation, les truies ont été assignées à l'un des deux traitements alimentaires en fonction de leur parité et de l'épaisseur de lard : 50 ppm de Zn, 20 ppm de Mn, 10 ppm de Cu et 0,2 ppm de Se apportés dans l'aliment sous forme de chélates d'acides aminés du soja (Zinpro® Availa® Sow & Zinpro® Availa® Se, Zinpro Corporation, AA) ou de chélates d'hydroxy-analogue de méthionine (MHA). En outre, les deux traitements alimentaires ont été complétés par 30, 20, 5 et 0,2 ppm de Zn, Mn, Cu et Se provenant de sources inorganiques, ce qui a donné des niveaux totaux de 80, 40, 15 et 0,4 ppm, respectivement de Zn, Mn, Cu et Se supplémentaires.

Les aliments expérimentaux ont été donnés aux truies jusqu'au sevrage après 22 j de lactation. Les truies ont reçu 2,5 kg par jour d'un aliment gestation de 70 à 110 jours de gestation. À ce stade, les truies ont été transférées en maternité et ont été nourries avec un aliment lactation jusqu'au sevrage. L'aliment gestation a été formulé pour fournir 2161 kcal/kg d'énergie nette (EN), 12,6 % de protéines, 0,66 % de lysine totale et l'aliment lactation pour 2300 kcal/kg d'EN, 16,6 % de protéines, 1,03 % de lysine totale. Le lendemain de la naissance du dernier porcelet, les porcelets ont été adoptés en fonction du traitement alimentaire et la taille des portées a été ajustée à 14 porcs par portée. Les porcelets ont été pesés juste avant l'adoption et au sevrage. Les épaisseurs de lard dorsal et de muscle (non présenté) des truies ont été mesurées à 6,5 cm de la ligne médiane du corps, au niveau de la dernière côte (position P2), à l'aide d'un appareil à ultrasons doté d'une sonde linéaire. Dans les 24 heures suivant la mise bas, la température rectale des truies a été prise. Les truies dont la température était supérieure à 39,5 °C et qui n'avaient pas complètement

mangé 30 minutes après la distribution ont été considérées comme atteintes du syndrome de dysgalactie post-partum (SDPP ; Kaiser *et al.*, 2018). Les traitements thérapeutiques des truies et les traitements antibiotiques des porcelets ont été enregistrés pendant la lactation. Les données ont été analysées à l'aide de Minitab version 18.0 pour Windows (Minitab, LLC, Chicago, Illinois, USA). Les mesures de la truie et de la portée ont constitué l'unité expérimentale. Les données normalement distribuées ont été analysées par ANOVA. Les données sont présentées sous forme de moyennes ajustées. Les données qui ne présentaient pas une distribution normale ont été soumises au test de la médiane de Mood.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont présentés dans le tableau 1. L'objectif était d'avoir un nombre égal de truies dans chaque groupe expérimental. En raison de limitations logistiques dans la maternité, il y avait moins de truies avec MHA qu'avec AA (52 vs 71). Cependant, le rang de portée moyen des truies était similaire pour les deux traitements alimentaires.

Tableau 1 – Performance des truies et des portées et interventions thérapeutiques chez les truies multipares avec des chélates d'oligo-éléments d'acides aminés (AA) ou d'hydroxy-analogue de méthionine (MHA)

| | Traitement | | ESM ¹ | P-valeur | | |
|--|------------|------|------------------|----------------|----------------|-------|
| | AA | MHA | | A ² | B ³ | A x B |
| Rang de portée moyen | 4,9 | 4,8 | - | - | - | - |
| Epaisseur de lard à 70 j de gestation, mm | 12,9 | 13,6 | 0,56 | 0,44 | 0,04 | 0,76 |
| Epaisseur de lard à 110 j de gestation, mm | 14,2 | 15,2 | 0,39 | 0,09 | 0,25 | 0,74 |
| Epaisseur de lard au sevrage, mm | 14,1 | 14,1 | 0,36 | 1,00 | 1,00 | 0,51 |
| Variation d'épaisseur de lard dorsal de j 70 à 110, mm | +1,1 | +2,0 | 0,38 | 0,08 | 0,21 | 0,75 |
| Variation d'épaisseur de lard dorsal de j 110 au sevrage, mm | -0,1 | -1,1 | 0,29 | 0,02 | 0,32 | 0,55 |
| Consommation de la truie avant la lactation, kg/j ⁴ | 1,84 | 1,56 | 0,075 | 0,01 | 0,12 | 0,15 |
| Consommation de la truie en lactation, kg/j | 5,67 | 5,49 | 0,123 | 0,30 | 0,56 | 0,74 |
| Poids des porcelets après adoption, kg | 1,37 | 1,37 | 0,035 | 0,93 | 0,99 | 0,84 |
| Poids des porcelets au sevrage, kg | 4,47 | 4,32 | 0,090 | 0,28 | 0,73 | 0,99 |
| Poids de la portée après adoptions, kg | 19,1 | 18,8 | 0,47 | 0,69 | 0,74 | 0,95 |
| Poids de la portée au sevrage, kg | 53,6 | 51,8 | 1,08 | 0,30 | 0,62 | 0,83 |
| Interventions thérapeutiques, % de truies | 22,5 | 40,4 | - | 0,04 | - | - |
| Prévalence du SDPP, % de truies ⁵ | 11,3 | 26,9 | - | 0,03 | - | - |
| Traitements antibiotiques, % de portées | 46,5 | 67,3 | - | 0,03 | - | - |

¹ESM : erreur standard de la moyenne. ²Effet de l'aliment. ³Effet de la bande. ⁴Cinq jours avant la mise bas jusqu'à la mise bas, les truies ont reçu 2,5 kg d'aliment par jour. ⁵SDPP : syndrome de dysgalactie post-partum.

Le traitement n'a pas affecté le nombre de porcelets nés totaux et de porcelets nés vivants (données non présentées). La plus faible prévalence de la SDPP, la réduction des traitements thérapeutiques et l'augmentation de la prise alimentaire en fin de gestation chez les truies ayant reçu le traitement AA peuvent indiquer que ces truies étaient moins en détresse pendant la période péri-partum et plus robustes pendant la lactation. Les truies avec AA ont perdu moins de lard dorsal pendant la lactation, tandis que le poids au sevrage de la portée et la

consommation d'aliment pendant la lactation n'étaient pas différents entre les groupes expérimentaux

En conclusion, la supplémentation de l'aliment des truies distribué à la fin de la gestation et pendant la lactation avec des chélates d'acides aminés (AA) a épargné le lard dorsal des truies pendant la lactation et a aidé à la santé des truies et des portées exposées à des températures ambiantes élevées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Berchieri-Ronchi C.B., Kim S.B., Zhao Y., Correa C.R., Yeum K.J., Ferreira A., 2011. Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation. *Animal*, 5, 1774-1779.
- Kaiser M., Jacobson M., Haubro Andersen P., Bækbo P., Ceron J.J., Dahl J., Escibano D., Jacobsen S., 2018. Inflammatory markers before and after farrowing in healthy sows and in sows affected with postpartum dysgalactia syndrome. *BMC Veterinary Research*, 14, 83-97.
- Rahal A., Kumar A., Singh V., Yadav B., Tiwari R., Chakraborty S., Dhama K., 2014. Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: the interplay. *BioMed. Res. Int.*, 2014, 761264.
- Zhao Y., Kim S.W., 2020. Oxidative stress status and reproductive performance of sows during gestation and lactation under different thermal environments. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 33, 722-731.



Prédiction de l'absorption de phosphore et de calcium alimentaire chez la truie en lactation

Julien HEURTAULT (1,2), Patrick SCHLEGEL (2), Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, Canada, GIV 1A6

(2) Agroscope, Groupe de recherche porcine, 1725 Posieux, Suisse

marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca

Prediction of dietary phosphorus and calcium absorption in lactating sows

Sow requirements for minerals is high during lactation, and the feed intake of certain sows in a group can be limited to meet their phosphorus (P) and calcium (Ca) requirements. When this occurs, phosphocalcic regulation may be activated to modify the quantity of minerals absorbed. Recent data on the apparent digestibility of P and Ca in lactating sows were used to establish the first mathematical model developed to predict the quantity of P and Ca absorbed as a function of the activation of phosphocalcic regulation. These data were generated from 24 primiparous sows fed one of four diets that provided 100 %, 75 %, or 50 % of the digestible P requirement, or that provided only 50 % of it but was supplemented with 500 FTU/kg phytase. Ingested mineral P, total Ca and exogenous phytase were used as predictors for the apparent total tract digestibility coefficient of P (ATTD-P) and Ca (ATTD-Ca). The model's equations include a quadratic response of ingested mineral P and total Ca to represent phosphocalcic regulation. The model predicted ATTD-P and ATTD-Ca reliably (R^2 of 84 % and 68 %, respectively). This study forms part of an overall approach aiming to model phosphocalcic regulation in lactating sows, including dynamics of bone mineralisation.

INTRODUCTION

En lactation, les besoins en phosphore (P) et calcium (Ca) des truies sont élevés et l'appétit limitée de certaines truies ne permet pas toujours de combler ses besoins (Quiniou *et al.*, 2021). Il est bien connu que ce déficit minéral induit la mise en place de régulations phosphocalciques (Crenshaw, 2001) modulant l'absorption de P et Ca. Pour autant, aucun modèle de prédiction de l'absorption n'est disponible chez la truie en lactation et à notre connaissance, aucun modèle chez les animaux ou d'autres espèces ne prend en compte ces régulations. De nouvelles données de digestibilité apparente (ATTD) en fonction de l'apport croissant de Ca et P, sont disponibles (Heurtault *et al.*, 2024) et permettent de développer un premier modèle de prédiction de l'absorption du P et du Ca chez la truie en lactation, objet de cet article.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données expérimentales

Un total de 24 truies primipares allaitantes, de race Grand Porc Blanc Suisse, ont été réparties en 4 traitements alimentaires : Lact100 (100% du besoin en P digestible et Ca total, 5,9 g P total (Ptot) ; 9,9 g Ca total (Catot) /kg), Lact75 (75% des besoins, 5,3 g Ptot ; 8,3 g Catot /kg), Lact50 (50% des besoins, 4,3 g Ptot ; 6,0 g Catot /kg), Lact50+FTU (Lact50+ 500 FTU/kg de phytase, 4,2 g Ptot ; 6,0 g Catot /kg). Le P phytique et l'activité phytasique végétale étaient de 2,4 g/kg et 208 FTU/kg tous traitements confondus. Le P minéral était sous forme de phosphate monocalcique. Le traitement Lact50+FTU était supplémenté avec 500 FTU/kg de phytase (Quantum Blue 5G, AB Vista,

Marlborough, United Kingdom). L'ingéré alimentaire était quantifié chaque jour. La digestibilité totale apparente du P (ATTD-P) et du Ca (ATTD-Ca) a été mesurée à l'aide d'un marqueur indigestible (célite, 2% dans l'aliment) à partir d'échantillons de fèces récoltés sur 3 jours consécutifs des jours 15 à 17(± 2) de lactation. La durée de la lactation était de 23 ± 1 jours.

1.2. Description du modèle

Une approche de modélisation empirique a été mise en œuvre pour prédire ATTD-P et ATTD-Ca. Dans l'expérimentation réalisée, la variation de la teneur en P alimentaire revenait à modifier le taux d'incorporation de P minéral. Ainsi, la teneur en P minéral ingéré a été choisie comme prédicteur principal de l'ATTD-P. La teneur en Ca alimentaire évolue linéairement avec la teneur en P alimentaire, le ratio Ca : P étant contrôlé. Ainsi, le Ca total a été choisi comme prédicteur à l'ATTD-Ca. Les autres variables indépendantes comprennent le P phytique (PP), le P non-phytique végétal (PNPv), la phytase végétale et la quantité de phytase exogène.

Les analyses statistiques ont été réalisées selon la procédure lm du package Stats sur Rstudio (version 4.1.2). Ce modèle linéaire multiple comprenait comme effet fixe : le P minéral ingéré (en g sur toute la lactation) et le Ca total ingéré (en g sur toute la lactation) et la quantité de phytase (FTU/kg d'aliment).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les modèles (Tableau 1) prédisent l'ATTD-P (Figure 2) et l'ATTD-Ca avec un r^2 de respectivement 84% et 68%. Le PP, le PNPv et

Tableau 1 – Valeurs des paramètres du modèle

| Paramètres | Valeurs | Variabiles | P-value |
|------------|------------------------|-------------------------------|---------|
| ATTD-P | 1,632 ^e -1 | ordonnée à l'origine | < 0,05 |
| | 8,474 ^e -3 | P minéral ingéré | < 0,05 |
| | -6,173 ^e -5 | P minéral ingéré ² | < 0,05 |
| | 4,420 ^e -4 | Phytase | < 0,05 |
| ATTD-Ca | -1,244 | ordonnée à l'origine | <0,05 |
| | 2,545 ^e -3 | Ca total ingéré | <0,05 |
| | -9,818 ^e -7 | Ca total ingéré ² | <0,05 |
| | 2,278 ^e -4 | Phytase | <0,05 |

P minéral ingéré : g/lactation ; Ca total ingéré : g/lactation ; Phytase : FTU/kg ; ATTD-Ca : digestibilité total apparente du Ca, % ; ATTD-P : digestibilité total apparente du P, %.

la phytase végétale n'étaient pas significatifs comme ils ne variaient pas entre les traitements. La prédiction de l'ATTD-P dispose d'une ordonnée à l'origine de 16%, représentant la proportion de PP et de PNPv conduisant au P digestible. Pour les porcs en croissance, Létourneau-Montminy *et al.* (2012) ont estimé que $20 \pm 6,1\%$ du PP était disponible pour absorption sans ajout de phytase exogène. Ainsi, la capacité d'hydrolyse du PP dans le tractus digestible d'une truie serait proche de celle d'un porc en croissance. En revanche, l'ordonnée à l'origine de la prédiction de l'ATTD-Ca est négative et peut s'expliquer par

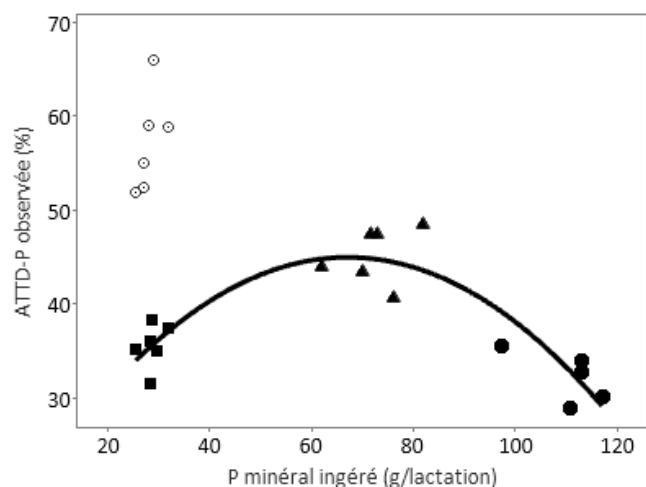


Figure 1 – Prédiction de l'ATTD-P à partir du P minéral ingéré ; ● Lact100 (100% du besoin en P digestible) ; ▲ Lact75 (75%) ; ■ Lact50 (50%) ; ○ Lact50+FTU (50% + 500 FTU/kg de phytase)

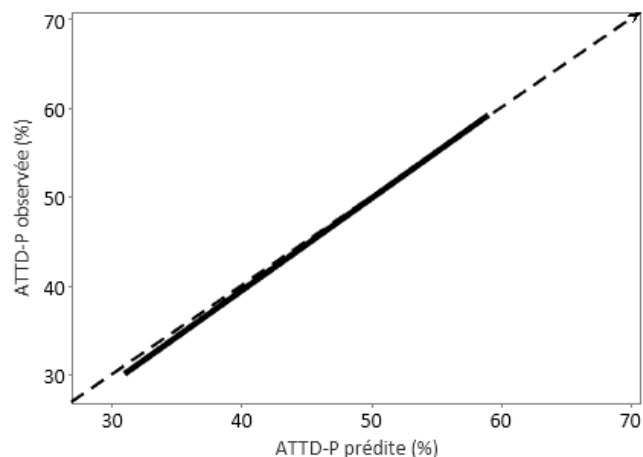


Figure 2 – Digestibilité apparente du phosphore observée et prédite ; $y=x$

la prise en compte du Ca total comme force motrice du modèle et par une potentielle interaction négative Ca-phytate (Selle *et al.*, 2009). Il est bien connu que la supplémentation en phytase microbienne et végétale augmente l'ATTD (Selle et Ravindran, 2008). C'est pourquoi, la phytase exogène était significative dans les modèles. L'interaction entre le PP et la phytase était assumée négligeable, comme démontré par Létourneau-Montminy *et al.* (2012). La réponse de l'ATTD-P en fonction de la quantité de P minéral ingéré et de l'ATTD-Ca en fonction de l'apport de Ca total en lactation est quadratique (Figure 1). De faibles niveaux induisent une faible digestibilité possiblement en raison d'une faible proportion de P et Ca sous formes disponibles comme les carbonates et les phosphates. Des niveaux intermédiaires montrent une digestibilité élevée possiblement en raison d'un apport plus important de ces formes disponibles. A l'inverse, lors d'une ingestion en Ca et P élevée, les ATTD étaient faibles, ce qui montre que la truie disposerait d'assez de P et Ca pour subvenir à son besoin et absorberait moins, en réponse aux mécanismes de régulation de l'absorption en fonction du niveau de couverture du besoin.

CONCLUSION

Ce travail propose un premier modèle de prédiction de l'absorption du P et du Ca chez la truie en lactation, modèle incluant une modulation de la digestibilité à la suite de la mise en place des régulations phosphocalciques. A ce jour, ce modèle a été construit chez des truies primipares et à partir de données observées en 3^{ème} semaine de lactation. Ainsi, à l'avenir, il serait intéressant d'évaluer la cinétique de digestibilité des minéraux durant la lactation, et par ailleurs de confirmer cette cinétique chez des truies multipares.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Crenshaw T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. In: A.J. Lewis and L.L. Southern, editors, Swine nutrition (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, Floride, USA, 187-212.
- Heurtault J., Hiscocks S., Létourneau-Montminy M.P., Schlegel P., 2024. Dynamics of bone mineralization in primiparous sows as a function of dietary phosphorus and calcium during lactation. Soumis pour publication à Animal.
- Létourneau-Montminy M.P., Jondreville C., Sauvart D., Narcy A., 2012. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: Effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. *Animal*, 6, 1590–1600.
- Quiniou N., Boudon A., Dourmad J. Y., Moinecourt M., Priymenko N., Narcy A., 2019. Modélisation du besoin en calcium et variations du rapport phosphocalcique de l'aliment selon le niveau de performance de la truie reproductrice. *Journ. Rech. Porcine*, 51, 141-152.
- Selle P.H., Cowieson A.J., Ravindran V., 2009. Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest. Sci.*, 124, 126-141.
- Selle P. H., Ravindran V., 2008. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. *Livest. Prod. Sci.*, 113, 99–122.



Détermination des teneurs urinaires en minéraux et biomarqueurs de la minéralisation osseuse chez la truie gestante à partir de prélèvements sur tampons vaginaux

Clément RIBAS (1,2), Nathalie QUINIOU (2), Charlotte GAILLARD (1)

(1) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

(2) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35 104, 35651 Le Rheu Cedex, France

clement.ribas@inrae.fr

Etude réalisée avec l'aide méthodologique de Sylviane BOULOT (2) et l'appui technique de Raphaël COMTE (1), Maryline LEMARCHAND (1), Sophie DARÉ (1), Clémentine DEROINÉ (1), Yannick SUREL et Daniel BOUTIN (UE3P, Saint-Gilles, 35).

Determination of mineral content and bone turnover markers in pregnant sow urine collected using vaginal tampons

The mineral status of sows plays a crucial role in their performance in the nursery and their productive career. Insufficient mineralisation is one of the factors implicated in lameness and leg issues, which degrade sow health and well-being, and reduce longevity in the herd. Mineral status can be monitored using urinary biomarkers assessed routinely in human medicine; however, free-catch sampling with a cup make it difficult to monitor large numbers of animals reared in groups. The aim of this study was to assess effects of using vaginal tampons to collect urine on the results of chemical composition analysis of mineral content and biomarkers of bone mineralisation. One spontaneous urination of each of 10 multiparous sows was sampled during the last week of gestation using four methods: control collection in a cup vs. collection with three models of commercially available tampons (i.e. A, B and C). Urine concentrations of phosphorus and calcium (minerals) and of two biomarkers of bone mineralisation (CTX-I and DPD) standardised by creatinine were determined. The sampling method did not influence the values of these minerals and biomarkers, except for calcium concentration ($P < 0.001$), which was lower using tampon B. This study suggests that it is possible to use vaginal tampons for urine sampling to analyse minerals and biomarkers of bone mineralisation in gestating sows. Tampon sampling is thus a way to routinely obtain urine from a large number of animals to ensure that they are monitored accurately.

INTRODUCTION

Les problèmes d'aplomb sont l'une des principales causes de réforme précoce des truies. Ce problème affectant le bien-être des animaux a des causes multifactorielles mais la nutrition, et plus particulièrement les apports en phosphore (P) et calcium (Ca), ont un impact fort sur le statut osseux des truies (Van Riet *et al.*, 2013). Différents biomarqueurs permettent le suivi de l'état de minéralisation des os à partir de prélèvements sanguins ou urinaires (Shetty *et al.*, 2016). La collecte d'échantillons d'urine dans un pot pendant la miction est une méthode non invasive. Cependant, elle peut être longue donc couteuse en main d'œuvre, et complexe à réaliser quand les truies sont élevées en groupe. L'utilisation de tampons est une alternative proposée par Boulot *et al.* (2021). Cependant, l'influence de ce mode de prélèvement sur les teneurs en biomarqueurs des urines n'a pas fait l'objet de travaux à ce jour. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la méthode de prélèvement sur les teneurs en minéraux et en biomarqueurs de la minéralisation osseuse.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'étude a été réalisée sur 10 truies multipares croisées Large White x Landrace, issues de l'Unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs (UE3P, 35590 Saint-Gilles, France). Elles étaient logées en case de maternité conventionnelle, dans une salle dont la température ambiante était de $21,8 \pm 1,2$ °C pour le jour du prélèvement. L'urine a été collectée dans un récipient individuel le vendredi de la semaine précédant la mise-bas (vers 109 jours de gestation), lors de la miction spontanée du matin (entre 8h15 et 11h00). Immédiatement après la collecte, l'urine a été répartie entre un pot témoin et trois pots dans lesquels trois tampons différents ont été immergés. Trois modèles de tampons hygiéniques du commerce ont été utilisés, avec les caractéristiques suivantes : gros volume, avec applicateur, sans parfum et sans blanchissement au chlore. Chaque tampon a ensuite été pressé manuellement pour obtenir 15 mL d'urine qui ont été centrifugés (2500 T pendant 10 min à 4°C), aliquotés et conservés à -20°C avant analyse.

1.2. Analyses de laboratoire

La teneur en créatinine a été analysée par la méthode Jaffé sur analyseur séquentiel (Gallery plus, ThermoFischer Scientific, USA) et utilisée comme standard pour tenir compte de la dilution de l'urine (Narayanan et Appleton, 1980). Les teneurs en Ca et P total de l'urine ont été analysées par spectrométrie à plasma par couplage inductif (ICP). Les teneurs en CTX-I (C-terminal spécifique du collagène de type I) et DPD (Desoxypyridinoline), biomarqueurs de la résorption osseuse, ont été analysées par dosage immunoenzymatique, respectivement avec les kits 'Urine Crosslaps' (IDS®, Paris, France) et 'MicroVue DPD EIA' (Quidel®, Athens, USA). La gamme de détection est de 50 à 6750 µg/L pour le CTX-I et de 1,1 à 300 nmol/L pour le DPD. Toutes les analyses ont été effectuées en duplicat.

1.3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (v.4.2.2). Le test de Shapiro-Wilk a été utilisé pour tester la normalité des variables. Un test de Friedman, prenant en compte des données appariées par truie, a été utilisé pour tester l'effet du mode de prélèvement (n = 4) sur les variables d'intérêt. Lorsque ce test était significatif, les modalités de prélèvement ont été comparées deux à deux avec un test de Wilcoxon. Les différences ont été considérées significatives quand le niveau de signification (P-value) ≤ 0,05.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La variation intra-essai est de 4,9 % pour le CTX-I et de 2,6 % pour le DPD. Une truie a été retirée de l'analyse car elle présentait des valeurs supérieures à la gamme d'analyse pour les biomarqueurs de la minéralisation osseuse.

Le mode de prélèvement n'influence pas significativement les variables étudiées (Tableau 1) sauf pour le Ca (P < 0,001). La

teneur obtenue avec le tampon B est significativement plus faible qu'avec le témoin et le tampon C, le tampon A donnant des résultats intermédiaires. Nos résultats sont en accord avec Nickel et al. (2017) qui ne trouvent pas de différences entre un prélèvement sur tampon et en pot sur les valeurs de créatinine et P ainsi que pour deux de nos trois tampons testés (A et C) pour le Ca. La différence de résultat concernant le tampon B pourrait être mise en relation avec une structure différente du tampon (plus compact que les deux autres), ainsi qu'avec la composition du cœur absorbant qui était en viscoscose pour le tampon B vs. en coton pour les deux autres.

La teneur moyenne en Ca urinaire est trois à quatre fois plus faible que celle obtenue par Boudon et al. (2016) chez des truies également en fin de gestation, mais semblable à celle obtenue chez des truies en milieu de gestation dans cette même étude. Les résultats des marqueurs de résorption osseuse suggèrent que les truies de notre essai mobilisent moins leurs réserves osseuses que celles étudiées par Boudon et al. (2016). Cette différence peut être la conséquence des caractéristiques des régimes alimentaires utilisés dans les deux études (8 g/kg de Ca dans l'aliment dans notre cas vs. 9,5 g/kg et un bilan électrolytique plus faible), entraînant un relargage plus faible de Ca pour les truies que nous avons suivies.

CONCLUSION

Deux des trois tampons testés n'ont pas d'impact sur l'analyse des minéraux et des biomarqueurs de la minéralisation osseuse en comparaison avec la collecte directe en pot. Au vu des avantages de cette technique de prélèvement (praticité, coût faible, capacité à collecter une grande quantité d'urine), et en s'assurant des caractéristiques de tampon à privilégier, elle pourrait donner lieu à la mise en place en routine de campagnes de collecte pour le suivi des biomarqueurs urinaires et la caractérisation précise du statut minéral des truies.

Tableau 1 – Moyenne (± écart-type) des teneurs en minéraux et biomarqueurs de la minéralisation osseuse selon le mode de prélèvement

| Variable | Modalité | Témoin (pot) | Tampon A | Tampon B | Tampon C | P-value ¹ |
|--|----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Créatinine, mg/L | | 595 ± 318 | 605 ± 358 | 597 ± 337 | 577 ± 353 | 0,83 |
| Minéraux | | | | | | |
| Phosphore, mg/g de créatinine | | 82,1 ± 80,6 | 84,0 ± 78,2 | 84,6 ± 90,3 | 107,7 ± 142,8 | 0,14 |
| Calcium, mg/g de créatinine | | 41,7 ± 28,6 ^a | 36,8 ± 25,7 ^{ab} | 34,3 ± 24,8 ^b | 56,2 ± 45,9 ^a | <0,001 |
| Biomarqueurs de la minéralisation osseuse | | | | | | |
| CTX-I, µg/mmol de créatinine | | 319,4 ± 75,6 | 282,9 ± 85,0 | 307,2 ± 79,9 | 347,8 ± 157,8 | 0,10 |
| DPD, nmol/mmol de créatinine | | 5,46 ± 2,24 | 5,54 ± 2,39 | 5,50 ± 2,25 | 6,12 ± 3,39 | 0,95 |

¹ Résultats du test de Friedman. ^{a,b} Des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence significative entre modalités (P < 0,05).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boudon A., Quesnel H., Dourmad J.-Y., Duhamel J., Quemeneur B., Planchenault D., Narcy A., 2016. Effet de l'abaissement du bilan électrolytique de l'aliment distribué en fin de gestation sur le déroulement de la mise-bas, la survie des porcelets et la dynamique de mobilisation osseuse des truies. Journées Rech. Porcine, 48, 115-120.
- Boulot S., Berardet A., Guennec J.L., 2021. Une nouvelle méthode de prélèvement urinaire sur tampon pourrait faciliter le monitoring des pathologies uro-génitales. Journées Rech. Porcine, 53, 117-118.
- Narayanan S., Appleton H.D., 1980. Creatinine: a review. Clin. Chem., 26, 1119-1126.
- Nickel M., Skoland K., Forseth A., Brown J., Thompson V., Breuer M., Warner R., O'Brien K., Canning P., Thomas P., Hoogland M., Lauterbach N., Karriker L., 2017. Development and validation of ante-mortem urine collection techniques for gilts and sows. In: Proc. 48th Ann. Meet. AASV, 63-64.
- Shetty S., Kapoor N., Bondu J.D., Thomas N., Paul T.V., 2016. Bone turnover markers: Emerging tool in the management of osteoporosis. Indian J. Endocrinol. Metab., 20, 846-852.
- Van Riet M.M.J., Millet S., Aluwé M., Janssens G.P.J., 2013. Impact of nutrition on lameness and claw health in sows. Livest. Sci., 156, 24-35.



Évaluation d'une combinaison d'additifs alimentaires sur la production et la qualité du colostrum chez la truie ainsi que sur les performances des porcelets sous la mère

Emmanuel JANVIER (1), Fabien GUILLARD (1), Eric SCHETELAT (2), Arnaud SAMSON (3)

(1) ADM, Talhouët, 56250 Saint-Nolff, France

(2) ADM, 6 Rue d'Ouessant, 35760 Saint-Grégoire, France

(3) ADM, Rue de l'Église, 02402 Château-Thierry Cedex, France

Emmanuel.Janvier@adm.com

Evaluation of a combination of feed additives on the production and quality of colostrum in sows and on the performance of their suckling piglets

Colostrum plays an important role in piglet growth and survival. Peripartum sow nutrition can influence colostrum production and quality. A nutritional solution containing amino acids, a liver-protecting agent, prebiotics, live yeast, antioxidants and active ingredients with immunomodulatory properties was developed to improve the quantity and quality of colostrum production. Two groups of sows balanced in parity and body condition were studied from day 107 of gestation until weaning of their piglets at 21 days. The CONTROL group (20 sows) was fed a standard lactation diet from the start of the trial, while the SUPP group (22 sows) was fed the same feed but supplemented on top with 85 g/d of the nutritional solution from 7 days before to 7 days after farrowing. Colostrum production, estimated with the equation of Devillers *et al.* (2004), tended to be improved: 4050 g for the SUPP group and 3513 g for the CONTROL group ($P = 0.08$). Immunoglobulin levels in the colostrum were also analyzed (IgG, IgA and IgM) and they did not differ significantly between the two groups ($P > 0.10$). The number of piglets born alive did not differ significantly ($P > 0.10$). Mortality tended to be lower during the first 24 h in the SUPP group ($P = 0.09$) without significant effect on the overall lactating period ($P = 0.11$) and on the number of piglets weaned ($P = 0.10$).

INTRODUCTION

Le colostrum joue un rôle important dans la survie du porcelet via l'absorption passive d'immunoglobulines et l'ingestion d'énergie pour assurer sa thermorégulation. La consommation de colostrum est d'ailleurs négativement corrélée avec la mortalité pendant la période de lactation et positivement corrélée avec le poids des porcelets au sevrage (Quesnel et Farmer, 2019). De nombreuses études ont tenté d'améliorer la qualité ou la quantité de colostrum via des modulations nutritionnelles (matières grasses, fibres...) ou par l'ajout d'additifs (extraits de plante, lécithine, levures, anti-oxydants, prébiotique...). L'objectif de cet essai était donc de tester une combinaison d'additifs sur l'amélioration quantitative et qualitative du colostrum et les conséquences sur les performances des porcelets pendant la phase d'allaitement.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et dispositif expérimental

L'essai s'est déroulé au Centre de Recherches Zootechniques Appliquées d'ADM (Montfaucon, Aisne). Au total, 42 truies (11 primipares et 31 multipares) provenant de deux bandes successives ont été réparties en deux groupes comparables selon la parité, la date de mise-bas (MB) prévue, le poids, l'épaisseur de lard dorsal (ELD) et de muscle dorsal (EMD) mesurées à 107 jours de gestation.

1.2. Alimentation

Les truies ont reçu le même aliment allaitante dès l'entrée en maternité à 107 jours de gestation et jusqu'au sevrage à 21 jours. Le groupe SUPP différait du TEMOIN par une supplémentation on top d'un mélange d'acides aminés connus pour leur implication dans la lactation (lysine, valine, thréonine), d'un hépatoprotecteur (sorbitol), de prébiotiques (fructooligosaccharides à chaînes courtes), de levures vivantes, d'antioxydants (vitamine E, polyphénols) et d'ingrédients aux propriétés immunomodulatrices (levures inactivées, sanguinarine, magnolol, honokiol). Cette supplémentation a été distribuée à raison de 85 g/j avec la ration du matin de 7 jours avant à 7 jours après la date de MB prévue. L'aliment allaitante a été offert de manière restreinte jusqu'au 6^{ème} jour suivant la MB puis *ad libitum* jusqu'au sevrage. L'aliment allaitante avait une teneur de 10,0 MJ/kg d'énergie nette, 15,5 % de matières azotées totales et 0,95 % de lysine digestible iléale standardisée.

1.3. Mesures, calculs et analyses statistiques

Les truies ont été pesées et leurs ELD et EMD ont été mesurées à l'entrée en maternité et au sevrage au site P2 avec un échographe (DRAMINSKI 4Vet mini). Ces données ont permis de suivre la variation d'état corporel entre l'entrée et la sortie de maternité. De plus, la quantité d'aliment distribuée aux truies a été enregistrée quotidiennement et les refus ont été cumulés

tous les jours et pesés en fin de chaque semaine de lactation afin de calculer la consommation moyenne journalière (CMJ) sur toute la durée de la lactation. L'aliment était distribué à sec et se présentait sous forme de miette. En outre, le nombre de porcelets nés vivants, mort-nés ou momifiés a été consigné pour chaque portée. Les porcelets ont été identifiés puis pesés individuellement à la naissance, à 24 h de vie et au sevrage afin de calculer leur gain moyen quotidien (GMQ). La production de colostrum (PC) de la truie a été évaluée comme étant la somme de la prise colostrale de chaque porcelet de la portée. La prise colostrale a été calculée selon l'équation proposée par Devillers *et al.* (2004). Un échantillon de colostrum a été prélevé pour toutes les truies qui ont mis bas en journée entre la naissance du premier et du quatrième porcelet sur les troisième et quatrième paires de tétines en partant de la tête. Cela a permis le dosage par ELISA des immunoglobulines A, G et M (IgA, IgG et IgM). Ainsi, 13 échantillons pour le groupe TEMOIN (parité = 4,2) et 15 pour le groupe SUPP (parité = 3,5) ont été prélevés. Les données ont ensuite été analysées avec le logiciel RStudio (v1.0.153). Le modèle statistique utilisé pour l'analyse des données a pris en compte les effets fixes de la supplémentation, de la parité selon trois niveaux (parités 1 et 2, parités 3 et 4 et parités 5 et +) et de l'interaction. L'unité expérimentale était la truie ou sa portée. Pour étudier la fréquence de la mortalité, un test de Chi² a été appliqué à l'échelle de la cohorte.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'interaction entre l'effet de la supplémentation et la parité n'était pas significative pour tous les critères étudiés et a donc été retirée du modèle ($P > 0,10$). La prise alimentaire des truies ainsi que l'évolution des caractéristiques corporelles (ELD, EMD, et poids) en lactation n'ont pas différencié significativement entre les deux groupes (données non présentées, $P > 0,10$). La PC tendait à différer entre les deux groupes, en faveur du groupe

SUPP où elle était supérieure de 15 % ($P = 0,08$, Tableau 1). L'apport d'acides aminés a pu permettre cette augmentation de production car le besoin augmente pour la mise en place de la lactation (Tokach *et al.*, 2019). L'hépatoprotecteur a pu également améliorer l'utilisation des nutriments aboutissant à une meilleure PC. De plus, les ingrédients aux propriétés immunomodulatrices et les anti-oxydants ont pu favoriser la PC par le maintien de l'intégrité des cellules mammaires. La PC n'est pas corrélée au nombre de porcelets nés vivants (Quesnel et Farmer, 2019). Cela est également confirmé dans notre étude puisque le nombre de porcelets nés vivants ne différait pas significativement entre les deux groupes ($P > 0,10$). L'augmentation de la prise individuelle de colostrum tend à être associée à une moindre mortalité au cours des premières 24 h de vie ($P = 0,09$), l'effet sur toute la période de lactation étant numérique ($P = 0,11$) et sans que la taille de portée au sevrage n'ait été significativement améliorée pour le groupe SUPP comparativement au groupe TEMOIN ($P = 0,10$). Le gain de poids des porcelets au cours des premières 24 h n'a pas non plus différencié significativement entre les deux groupes ($P > 0,10$).

Les teneurs en IgA, IgG et IgM n'étaient pas significativement différentes entre les deux traitements. Néanmoins, l'export total en IgA (teneur multipliée par la PC, soit 48,3 g pour le groupe TEMOIN et 65,6 g pour le groupe SUPP) a été significativement amélioré pour le groupe SUPP ($P = 0,04$). Ceci n'a pas été le cas pour l'export en IgG et IgM. Pourtant, les prébiotiques utilisés sont connus pour améliorer les teneurs en IgG et IgA du colostrum (Le Bourgot *et al.*, 2014).

CONCLUSION

La combinaison d'ingrédients testée a permis d'améliorer quantitativement la production de colostrum et de façon tendancielle la survie néonatale des porcelets.

Tableau 1 – Effet de la supplémentation sur la production et la composition du colostrum et sur les performances des truies et des porcelets

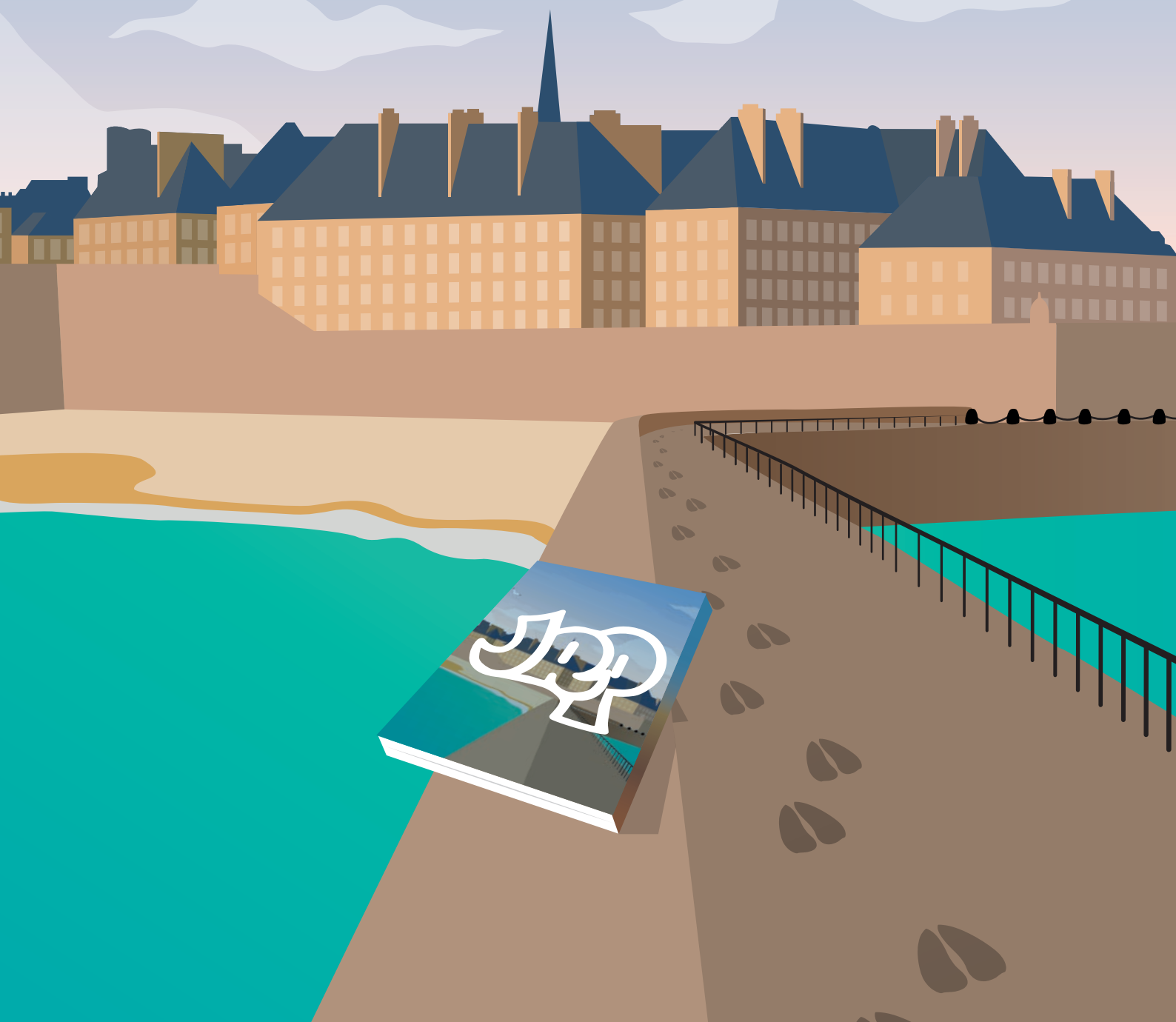
| Groupe expérimental | TEMOIN | SUPP | Statistiques ¹ | |
|---|--------------|--------------|---------------------------|------|
| | | | ETR | P |
| Nombre de truies | 20 | 22 | | |
| Production de colostrum (PC), g | 3513 ± 1117 | 4050 ± 897 | 1024 | 0,08 |
| IgA, mg/mL | 14,6 ± 2,6 | 15,6 ± 3,8 | 3,2 | 0,29 |
| IgG, mg/mL | 157,4 ± 56,2 | 154,1 ± 38,7 | 48,2 | 0,92 |
| IgM, mg/mL | 10,4 ± 9,7 | 10,8 ± 11,2 | 10,9 | 0,91 |
| Nés vivants par portée (NV) | 15,6 ± 3,4 | 15,5 ± 2,7 | 3,0 | 0,32 |
| Poids de portée à la naissance, kg | 21,0 ± 4,7 | 21,5 ± 3,6 | 4,1 | 0,84 |
| Gain de poids dans les 24 h, g | 62 ± 101 | 77 ± 88 | 49 | 0,21 |
| Mortalité dans les 24 h, % ² | 11,9 | 7,9 | - | 0,09 |
| Taille de portée au sevrage | 11,2 ± 1,8 | 12,0 ± 1,6 | 1,6 | 0,10 |
| Poids de portée au sevrage, kg | 70,5 ± 11,7 | 76,0 ± 10,5 | 11,4 | 0,13 |
| Mortalité au sevrage, % NV ² | 27,0 | 21,7 | - | 0,11 |

¹ Modèle d'analyse de variance comprenant les effets de la supplémentation, de la parité et de l'interaction entre ces deux facteurs. ETR : écart type résiduel. Seule la valeur de P pour l'effet de la supplémentation est indiquée. ² Analyse par test du Chi² à l'échelle de la cohorte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Devillers N., van Milgen J., Prunier A., Le Dividich J., 2004. Estimation of colostrum intake in the neonatal pig. *Anim. Sci.*, 78, 305-313.
- Le Bourgot C., Ferret-Bernard S., Le Normand L., Savary G., Menendez-Aparicio E., Blat S., Appert-Bossard E., Respondek F., Le Huërou-Luron I., 2014. Maternal short-chain fructooligosaccharide supplementation influences intestinal immune system maturation in piglets. *PLoS One*, 9, e107508.
- Quesnel H., Farmer C., 2019. Review: nutritional and endocrine control of colostrumogenesis in swine. *Animal*, 13(S1), S26-S34.
- Tokach M.D., Menegat M.B., Gourley K.M., Goodband R.D., 2019. Review: nutrient requirements of the modern high-producing lactating sow, with an emphasis on amino acid requirements. *Animal*, 13, 2967-2977.

Bien-être, conduite et reproduction





Conception, conduite des animaux et conditions de travail dans des élevages équipés de maternités en liberté

Nicolas VILLAIN (1), Valérie COURBOULAY (2), Aude DUBOIS (3), Lise LEROUX (3), Alexandre POISSONNET (2), Yannick RAMONET (1)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex, France

(2) Ifip Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35 650 Le Rheu, France

(3) Chambre Régionale d'agriculture des Pays de la Loire, 9 rue André Brouard 49105 Angers, France

nicolas.villain@bretagne.chambaagri.fr

Conception, conduite des animaux et conditions de travail dans des élevages équipés de maternités en liberté

Une enquête a été menée auprès de 29 éleveurs équipés de maternités en liberté afin de comprendre leurs motivations, de décrire les équipements et les conduites associées. Chaque système est également évalué par les éleveurs sur 29 critères. Les élevages enquêtés sont tous naisseurs-engraisseurs de troupeaux de 100 à 450 truies conduites en quatre, cinq ou sept bandes. Le choix de la liberté s'est majoritairement fait dans le cadre d'un bâtiment à revoir (86 % de bâtiments neufs) et pour anticiper les évolutions réglementaires. Une période comprise entre 1 bande et 3 ans est nécessaire pour la prise en main de l'équipement et l'adaptation de la conduite d'élevage. La recherche d'une double ambiance, chaude pour les porcelets, fraîche pour la truie, et la libération des truies pendant ou autour du repas sont des pratiques communes. Les truies sont libérées entre 3 et 20 jours après la mise bas avec une majorité de libération autour de 7 jours. Dans l'évaluation des systèmes, les critères les moins bien notés sont l'accessibilité et l'intervention sur les porcelets une fois la truie libre et le temps de lavage considéré comme plus long. Les critères les mieux notés sont la facilité de contention et de libération de la truie, la facilité de déplacement de la truie à l'entrée en maternité et au sevrage. Les éleveurs adaptent les conduites (type génétique, durée de contention, individualisation des pratiques selon les truies...) pour optimiser les performances de reproduction et réduire le risque de mortalité des porcelets. Cette enquête souligne la satisfaction globale des éleveurs, tant sur le plan des performances que des pratiques d'élevage avec des truies libres en maternité.

Pen design, animal management and working conditions on farms with temporary crating pens

An increasing number of French farms have chosen to switch to temporary crating of sows in the farrowing unit in the past five years. A survey was conducted on 29 farms that had temporary crating pens in order to identify reasons for their choice and describe their equipment and management practices. Each farmer could also rate their system according to 29 criteria. All of the farms visited were farrow-to-finish and had 100-450 sows. Sows were managed in 4, 5 or 7 batches. Most farmers chose temporary crating when thinking about a new breeding facility (86 % with new buildings) to face eventual changes in legislation. Farmers required a period from 1 batch to 3 years to adapt to their new equipment. Different temperatures (cool for sows and warm for piglets) and opening of the crate around or during feeding were common practices. The crates were opened 3-20 days after farrowing (mode: 7 days). In the overall assessment, the criteria rated worst were accessibility, piglet manipulation with a loose sow and the time needed to wash the farrowing rooms. The criteria rated best were the ease of immobilising and freeing of the sow and of moving the sow into and out of the pen. Farmers adapted their management practices (e.g., genetics, crating duration, individual management of sows) to optimise reproduction performances and reduce piglet mortality. This survey highlighted farmers' overall satisfaction with the performances and management of temporary crated sows.

INTRODUCTION

En 2021, la commission européenne a décidé de répondre de manière positive à l'initiative citoyenne « End the cage age » en proposant une évolution de la réglementation pour interdire, entre autres, l'utilisation des cages en élevage pour certaines productions. Historiquement, les cages ont constitué un moyen efficace pour améliorer les performances techniques en maternité porcine en augmentant la protection des porcelets vis-à-vis du risque d'écrasement par leur mère. Les premiers jours de vie sont une période particulièrement critique compte tenu de la différence de taille entre la mère et ses petits et de la recherche de proximité des porcelets avec leur mère (Vasdal *et al.*, 2010). Le bien-être de la truie peut être amélioré par l'ouverture de la cage au cours de la lactation (Ceballos *et al.*, 2020). Ainsi, on voit émerger depuis quelques années des équipements qui cherchent à trouver un compromis entre bien-être de la truie, des porcelets tout en tenant compte des conditions de travail et des performances. De nombreux modèles de cases qui permettent de laisser la truie libre tout ou partie de sa lactation sont actuellement proposés par les équipementiers. Depuis le début des années 2000, des travaux sont menés en France afin de mieux comprendre ces systèmes et de les optimiser (Ramonet *et al.*, 2018). Cependant la diversité des équipements et de situations ne permet pas de généraliser sur une conduite précise à suivre pour s'assurer de la réussite. Baxter *et al.* (2022) montrent également qu'une période de transition est nécessaire pour l'adaptation aux équipements, aussi bien pour les hommes que pour les animaux. En parallèle, des éleveurs de porcs français s'équipent depuis 2017 et on compte aujourd'hui près de 10 000 cases de ce type en France (communication personnelle). L'objectif de cette étude est de recueillir les avis d'éleveurs équipés de cases permettant la liberté de la truie en lactation afin de comprendre les choix et motivations, de décrire les équipements et les pratiques et de mettre en évidence des déterminants de performance avec ces équipements.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Questionnaire et base de données éleveurs

Des enquêtes ont été réalisées chez 29 éleveurs localisés dans le Grand Ouest de la France entre février et septembre 2023. Une base de données a été construite à partir d'échanges professionnels, d'articles de presse et de collaborations avec les groupements de producteurs. Elle comporte 72 élevages ayant des cases liberté. Parmi eux, plusieurs n'ont que quelques cases représentant une part faible du nombre total de cases de maternité. Certains éleveurs testent plusieurs modèles avant de faire leur choix définitif. Les élevages enquêtés sont ceux pour lesquels les cases maternité liberté représentent au moins 50 % du nombre total de cases présentes en maternité : 24 élevages ont l'ensemble de leurs cases en maternité liberté, quatre ont gardé des cases « bloquées » qui servent de cases tampon et un élevage fonctionne avec une maternité neuve disposant de cases liberté et une ancienne maternité équipée de cases « bloquées ».

Le questionnaire établi par Bertin *et al.* (2020) sur la base des travaux de Hansen (2018), a été complété et synthétisé dans un guide d'entretien utilisé pour les enquêtes. Il comporte différentes rubriques renseignées par des questions ouvertes : description de l'élevage, performances techniques, motivations pour la mise en place de l'équipement, description de

l'équipement, description des pratiques, animaux, temps et conditions de travail. La surface de la case ainsi que la « surface liberté » sont calculées, ce dernier critère étant la surface disponible pour la truie une fois la cage ouverte. Toutes les questions de l'entretien n'obtiennent pas nécessairement toujours de réponse d'où une différence entre le nombre total d'éleveurs de l'échantillon et le nombre de réponses. Ce questionnaire est complété par une évaluation sur 29 critères distribués dans 5 rubriques : salle, case, animaux, travail, performances. L'éleveur attribue une note de 0 (Très mauvais – Inutile – Très difficile), 1 (Mauvais – Peu utile – Difficile), 2 (Bon – Utile – Facile) ou 3 (Très bon – Indispensable – Très facile) à chaque critère.

1.2. Description de l'échantillon

Les 29 éleveurs sont adhérents auprès de 10 groupements de producteurs différents. Tous les élevages de l'échantillon sont naisseur-engraisseur, dont un en multiplication. Plus de la moitié (19) sont spécialisés en production porcine. Les autres disposent également d'un ou plusieurs autres ateliers de production animale ou végétale hors cultures destinées à l'élevage (bovins (6), bovins + volailles (1), volailles (1), abeilles (1) ou vignes (1)). La taille moyenne du cheptel est de 232 truies [mini 100 – maxi 450]. Les élevages disposent en moyenne de 53 places de maternité liberté [mini 20 – maxi 110] réparties dans une à quatre salles. Les cases ont été installées à partir de 2017 jusque 2023. La majorité des installations se sont faites dans un bâtiment neuf (86 % des élevages). Les rénovations se sont faites dans des bâtiments récents (moins de 10 ans) et qui, pour certains, étaient déjà pensés pour pouvoir accueillir des cases liberté. Le recul des éleveurs sur la conduite des truies libres en maternité est en moyenne de 2,8 ans. Les élevages sont conduits en quatre bandes (9), cinq bandes (2) ou sept bandes (18). Le sevrage s'effectue à 21 jours (6) ou 28 jours (23).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Motivations des éleveurs

Le choix de la liberté s'est majoritairement fait dans le cadre d'un bâtiment à revoir. La crainte d'une évolution réglementaire, ou d'une restriction d'accès au marché, ont été des puissants leviers pour favoriser le choix cases liberté (cité par 20 éleveurs dont 9 spontanément). Si l'amélioration du bien-être animal n'est jamais citée spontanément par les éleveurs pour justifier leur choix de maternité, 10 éleveurs indiquent cependant que la liberté constitue une amélioration par rapport aux cases de maternité classique. Ils ne sont que 8 éleveurs (sur 16 répondants) à considérer que leurs cases répondent aux attentes de la société. Les autres sont plus nuancés et estiment que même si cela constitue une évolution non négligeable, ce n'est pas suffisant « Ce n'est pas forcément ce que la société attend », « les visiteurs n'étaient pas convaincus, sauf ceux qui ont connu l'élevage avec des cases bloquées ». Cette différence de perception entre éleveurs et société a bien été illustrée dans la case des poules en cages aménagées (Weary *et al.*, 2016). Après l'installation des cases liberté et avant les premières mises-bas, seuls 3 éleveurs se disaient assez confiants. Les autres évoquent un stress et des craintes en lien avec une possible augmentation des écrasements (14 éleveurs) ou des difficultés de gestion de ce nouveau système (6 éleveurs). Deux éleveurs ont évoqué des craintes liées à la sécurité lors des interventions sur les animaux. Trois éleveurs ont expliqué être relativement confiants avant

les premières mises-bas. En effet, l'installation de ce système étant volontaire, ils pouvaient toujours bloquer la truie s'ils n'étaient pas satisfaits des résultats. Seize éleveurs ont indiqué ne pas avoir d'espoirs particuliers avec ce nouveau système et être dans l'attente des premières mises-bas avant de se faire une idée. L'amélioration du bien-être des animaux est une attente citée par 5 éleveurs. Avec le recul, quelques éleveurs conservent des craintes vis-à-vis de la mise en liberté des truies en maternité. Pour trois d'entre eux, elles sont liées à la baisse des performances de naissance en lien avec les écrasements. Pour deux éleveurs, elles concernent l'augmentation du temps de travail. Un éleveur conserve des craintes liées à sa sécurité lors des interventions sur les animaux et un autre des craintes pour l'intégrité physique de ses animaux en lien avec le sol de la case. Pour autant, les éleveurs enquêtés choisiraient à nouveau un système liberté s'ils devaient refaire le choix. Le choix se porterait sur un modèle de case identique (17 élevages/21 réponses), avec sol ascenseur (2 élevages), ou différent (2 élevages).

2.2. Type de cases, choix de l'équipement et aménagement

Les élevages enquêtés sont équipés de cases libertés provenant de 9 équipementiers différents. Il est possible de regrouper les cases en 5 systèmes illustrés dans le Tableau 1. Pour faire leur choix de case, la majorité des éleveurs (93 %) a réalisé des visites d'élevage en amont. Six éleveurs ont réalisé une seule visite, 16 éleveurs 2 à 3 visites et 3 éleveurs au moins quatre visites (25 réponses). Seuls 18 éleveurs indiquent avoir eu des critères indispensables pour le choix de leurs cases liberté. Ceux spontanément cités sont la facilité d'utilisation et la visibilité sur les animaux (5 mentions), devant la sécurité et la surface pour la truie (3 mentions), la solidité, la présence d'un nid et de barres pour les porcelets et la confiance dans l'équipementier (2 mentions), la surface pour les porcelets et le coût (1 mention).

2.2.1. Surface

Les cases ont une dimension moyenne de 2,7 m [mini 2,6 m – maxi 3, 2m] x 2,4 m [mini 1,8 m – maxi 2,7 m]. La surface des cases est comprise entre 7,6 et 5,4 m² avec une moyenne de 6,6 m². La surface libre pour la truie, lorsque les bat-flancs sont ouverts, est comprise entre 4,9 et 3,4 m² avec une moyenne de 4,0 m². La surface libre pour la truie représente entre 49 % et 79 % de la surface de la case lorsque les bat-flancs sont ouverts suivant la configuration de la case. Les cases « Diagonale ouverture en V » et « Latérale ouverture battante » optimisent le plus l'espace pour les truies avec respectivement 69 % [mini 66 % - maxi 71 %] et 74 % [mini 63 % - maxi 79 %] de la surface de la case accessible en liberté. Le pourcentage d'accessibilité est le plus faible pour les cases « Centrale ouverture papillon » avec une valeur moyenne de 58 % [mini 49 % - maxi 70 %].

2.2.2. Sols

Si l'on retire la zone de confort des porcelets, les cases comptent entre 2 et 3 types de sols différents. La majorité des cases présentent 2 types de sols (23 élevages) : soit 1 sol de type caillebotis fonte sous l'emplacement de la cage lorsqu'elle est fermée et un sol de type caillebotis plastique pour le reste de la case (19 élevages), soit 1 sol pour l'arrière de la truie (caillebotis fil) et 1 sol pour le reste de la case (caillebotis plastique) (4 élevages). Dans les 6 autres élevages, les cases disposent de 3 types de sol différents. Dans 4 élevages, les cases disposent d'un caillebotis fonte (3) ou béton (1) sous la truie, d'un caillebotis fil à l'arrière et d'un caillebotis plastique dans le reste

de la case. Dans un élevage, les cases disposent à la fois d'un caillebotis béton et d'un caillebotis fonte sous la truie, le reste du sol étant constitué d'un caillebotis plastique. Dans le dernier élevage, le sol est constitué d'un caillebotis béton sous la truie, d'un sol en béton polymère en milieu de case et d'un caillebotis plastique.

2.2.3. Zone de confort des porcelets

Elle mesure en moyenne 0,73 m² [mini 0,48m² - maxi 1,02m²]. 13 éleveurs ont fait le choix d'une niche fermée et sept d'un nid ouvert avec seulement un capot. Le maintien de la température se fait soit par dalle chauffante (6 élevages) soit par lampe chauffante (14 élevages) au-dessus d'un sol en plastique plein. Chez les 9 éleveurs restant la zone de confort des porcelets n'est ni couverte et cloisonnée. Dans cette configuration, la zone de confort correspond à une dalle chauffante (8 élevages) ou à une zone en plastique plein surmontée d'une lampe chauffante (1 élevage). Le choix de ne pas mettre de capot ou de nid est expliqué par les éleveurs par une surveillance et/ou un lavage facilités.

2.2.4. Barres anti-écrasement

Seuls 4 élevages ne disposent pas de dispositifs destinés à réduire le risque d'écrasement de porcelets par la truie dans leurs cases. Pour les autres élevages ces dispositifs sont présents sous formes de 1 à 2 barres horizontales de 1,20 m de longueur, situées entre 10 et 20 cm au-dessus du sol. Quinze éleveurs équipés jugent ces dispositifs indispensables et 9 utiles à la conduite des truies libres en maternité. Un seul ne les juge pas utiles. Tous ne jugent pas ces dispositifs totalement efficaces contre les écrasements et souhaiteraient adapter leur dimensions et/ou positionnement. Ainsi, 4 éleveurs souhaiteraient que la barre soit plus longue, 2 qu'elle soit plus large et 1 qu'elle soit plus haute. Trois éleveurs souhaiteraient également que les dispositifs couvrent les coins de la case. Trois éleveurs jugent que la présence d'un dispositif anti-écrasement n'est pas utile dans leur case et 1 éleveur a même retiré les dispositifs installés lors du montage des cases.

2.2.5. Alimentation et abreuvement

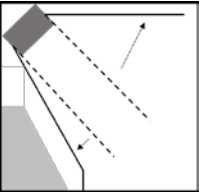
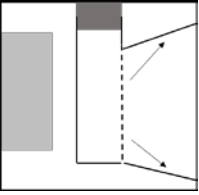
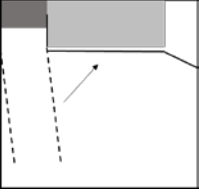
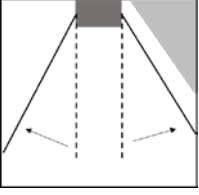
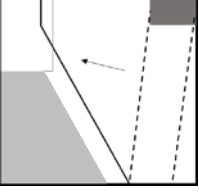

L'alimentation des truies est soit en soupe (14 élevages) soit en sec (15 élevages). Seuls 4 éleveurs nourrissent encore les truies manuellement. Les conduites alimentaires sont similaires entre les élevages avec majoritairement 2 ou 3 repas (20 élevages répondants). On distingue 3 conduites (i) 2 repas sur toute la période de maternité (8 élevages), (ii) 3 repas sur toute la période de maternité (2 élevages), (iii) 2 repas sur les premiers jours qui suivent la mise-bas (une semaine en moyenne) avant de passer à trois repas pour le reste de la lactation (10 élevages). Les truies disposent majoritairement d'une pipette pour s'abreuver (18 élevages). Les autres systèmes d'abreuvement sont moins présents (système d'alimentation : 5 élevages, bol : 3 élevages, électrovanne : 1 élevage, niveau constant : 2 élevages). Pour l'abreuvement des porcelets, les cases disposent toutes d'un bol soit spécifique (26 élevages) soit le même que la truie pour les 3 élevages équipés de bols. Un éleveur distribue de l'eau dans une augette en complément de l'abreuvoir. La majorité des porcelets reçoit également un complément au lait maternel, fourni dans une augette (28 élevages) mis en place en moyenne autour du 5ème jour de vie [mini 0 – maxi 13].

2.2.6. Coûts

La majorité des bâtiments a été construite avant l'augmentation des coûts de construction consécutifs à la crise du Covid. Dix-neuf éleveurs nous ont fourni des données de

coût à la place pour leur bâtiment maternité (16 neufs, 3 rénovations). Le coût moyen à la place d'une maternité en liberté en bâtiment neuf, construit entre 2017 et 2023, est de 6 320 euros [mini 4 500 – maxi 8 500]. Pour les bâtiments en rénovation, le coût moyen à la place varie fortement en fonction de l'ampleur de la rénovation et s'établit à 3 080 euros [mini 1460 – maxi 5290].

Tableau 1 – Types de cases et description

| Type de case | Description |
|---|--|
|  | Dénomination : Diagonale ouverture en V Nombre d'élevages : 3 1 équipementier Surface totale moyenne : 6,6 m ² [6,2 – 6,9] Surface liberté moyenne : 4,5 m ² [4,3 – 4,7] Soit 69 % d'accessibles pour la truie |
|  | Dénomination : Centrale ouverture Papillon Nombre d'élevages : 14 4 équipementiers Surface totale moyenne : 6,6 m ² [5,9 – 7,3] Surface liberté moyenne : 3,8 m ² [3,4 – 4,6] Soit 58 % d'accessibles pour la truie |
|  | Dénomination : Latérale, ouverture battante Nombre d'élevages : 3 1 équipementier Surface totale moyenne : 6,2 m ² [6,2 – 6,9] Surface liberté moyenne : 4,6 m ² [6,2 – 6,9] Soit 74 % d'accessibles pour la truie |
|  | Dénomination : Centrale, ouverture en V Nombre d'élevages : 8 5 équipementiers Surface totale moyenne : 6,2 m ² [6,0 – 6,5] Surface liberté moyenne : 4,0 m ² [4,1 – 4,9] Soit 65 % d'accessibles pour la truie |
|  | Dénomination : Latérale biais, ouverture battante arrière Nombre d'élevages : 1 1 équipementier Surface totale : 7,0 m ² Surface liberté : 4,2 m ² Soit 60 % d'accessibles pour la truie |
|  | Espace porcelets Auge Bat-flancs fermés Bat-flancs ouverts |

La visite des différents élevages a montré une grande diversité de cases. La recherche d'un compromis entre conditions de travail, bien être de la truie et des porcelets, conduit les équipementiers à proposer des modèles variés ce qui rend la comparaison difficile (Goumon *et al.*, 2022). De plus, les équipementiers proposent, le plus souvent de moduler les cases suivant les envies de l'éleveur. La taille des modèles installés suit, le plus souvent, les tailles minimales des réglementations de l'Autriche (5,5m², 2010) ou l'Allemagne (6,5m², 2021). Avec le faible recul des participants au moment de leur installation du système, le choix de la case et des équipements est plutôt guidé par des considérations relatives au travail (facilité d'utilisation, de surveillance, robustesse, similarité avec une case classique). Il ne semble pas y avoir de

recherche pour établir des zones de vie distinctes pour la truie ce qui pourrait expliquer que les types de sols soient semblables à ceux que l'on retrouve classiquement en maternité avec contention permanente (Goumon *et al.*, 2022).

2.3. Conduite

Même si la majorité des éleveurs estime ne pas voir changé ses pratiques, la phase de transition peut se révéler longue. Ainsi seuls 6 éleveurs estiment que l'adaptation des animaux et la prise en main du matériel a été immédiate. Pour 7 éleveurs, elle aura duré entre 4 et 6 mois, pour 3 éleveurs un an et pour 2 éleveurs environ 1 an et demi. Un éleveur affirme avoir mis 3 ans avant d'avoir une conduite en routine. Le reste des éleveurs estime être toujours en expérimentation. Si ce temps d'adaptation varie fortement entre les élevages mais reste cohérent avec les études sur le sujet (Baxter *et al.*, 2022). Les conduites liées à la liberté diffèrent entre les élevages. Pour 18 élevages, les truies entrent libres dans les cases de maternité et sont bloquées soit le lundi de la semaine de mise-bas, soit juste avant la mise-bas, la veille ou au début de la mise-bas. Un élevage bloque les truies seulement à la fin de la mise-bas. Les élevages où les truies sont bloquées dès l'entrée en maternité justifient cette conduite par une mauvaise hygiène de la case à la mise-bas, malgré un nettoyage régulier pendant cette période pré mise-bas. Dix-sept éleveurs distribuent des matériaux de nidification à leurs truies. La toile de jute est le matériau le plus utilisé (10 élevages) devant le bois (3 élevages) et la cordelette en coton (2 élevages). Les autres élevages utilisent du papier ou un cylindre issu de la transformation de la biomasse. Ces données montrent que la majorité des truies ne peuvent pas exprimer correctement leur comportement de nidification soit par l'absence de matériaux, soit par la contention qui restreint les possibilités de mouvement. Des études ont déjà montré un lien entre comportement maternel de la truie et la satisfaction de se besoin comportemental de nidifier (Baxter *et al.*, 2011 ; Goumon *et al.*, 2022). En maternité liberté, sans protection d'une cage, il convient de favoriser ce comportement maternel afin de réduire les éventuelles pertes par écrasement.

La libération des truies a lieu soit un jour fixe de la semaine (11 élevages) afin d'organiser le travail soit elle est adaptée suivant l'état et le comportement des porcelets ou la date de mise-bas réelle. Au total, 13 élevages libèrent toutes les truies de la salle en même temps. Treize éleveurs adoptent une stratégie de libération individualisée à la case en fonction du comportement et/ou des caractéristiques des porcelets et des truies (état corporel, âge, date de mise-bas effective, utilisation du nid, truies à risque d'écrasement). Ils se rapprochent alors des préconisations de King *et al.* (2019) qui a montré qu'une libération de toutes les truies au même moment favorisait les pertes. Certaines truies identifiées à risque pour l'écrasement peuvent rester bloquées pendant toute la durée de la lactation ; à l'inverse, certains éleveurs maintiennent en liberté des truies qui présentent des difficultés d'allaitement. Le protocole peut aussi être différencié selon les saisons. Ainsi, un éleveur libère peu les truies multipares en été car il trouve que les truies se laissent plus facilement tomber au moment du couchage et estime les risques d'écrasement supérieurs. Sur les 3 élevages restants 2 élevages choisissent de libérer en plusieurs fois sur la même journée (matin-midi-soir,) et 1 ne précise pas sa conduite. La libération des truies à lieu en moyenne 7,7 jours après la mise-bas [mini pas de contention – maxi libération autour de 20 jours après la mise-bas]. Le moment de libération

est souvent choisi par l'éleveur en fonction de sa sensibilité aux pertes par écrasements. La majorité des éleveurs n'a pas cherché à réduire le temps de contention si les résultats étaient satisfaisants. Pourtant plusieurs études montrent qu'une libération 3 jours seulement après la mise-bas ne conduit pas à plus de pertes qu'une contention totale sur la période de lactation (Goumon *et al.*, 2022). De plus, Morgan *et al.* (2021) ont montré que les contentions courtes (entre 3 et 10 jours) étaient bénéfiques non seulement pour la truie mais également pour les porcelets avec une diminution du stress. Le plus souvent, l'ouverture des cages a lieu pendant ou autour des repas (12 mentions). Huit éleveurs considèrent la libération de la truie et les jours suivants comme un moment critique. Ils sont 10 à accentuer leur surveillance sur cette période en étant plus attentifs, en vérifiant que les porcelets sont bien dans les nids, en surveillant le couchage des truies. Les autres éleveurs ne font pas plus de surveillance. Certains estiment qu'« il faut éviter d'être dans la maternité et de déranger les animaux ». D'autres préfèrent ne pas rester pour éviter le stress d'observer des écrasements.

Avec la libération, et en dehors des procédures de blocage-libération, seuls deux éleveurs disent avoir changé leurs pratiques en maternité. Ces changements concernent les soins aux porcelets (arrêt du meulage et fer injectable à la place du fer oral). Par ailleurs 5 élevages pratiquent la socialisation précoce des porcelets soit par des trappes installées dans les cases soit en élevant des cloisons entre les cases.

La gestion d'une double ambiance sur les températures en maternité est une caractéristique très forte de la liberté. Les éleveurs cherchent à avoir une ambiance de salle entre 19°C et 22°C pour favoriser le confort de la truie. Dans le même temps, la zone de confort pour les porcelets sera chauffée entre 26°C et 38°C suivant les élevages. Les consignes de température de la salle et de la zone de confort des porcelets varient entre les élevages en fonction des équipements installés et des systèmes d'entrée d'air. Cette double ambiance est notamment permise par la présence de niche dans 13 élevages et de nid dans 7 élevages, mais les élevages qui ne disposent pas de ces équipements témoignent également d'une double ambiance. La double ambiance vise à assurer un confort thermique de la truie d'une part et de ses porcelets d'autre part. Sur la période de lactation, la truie doit fournir assez de lait pour subvenir aux besoins de ses porcelets. Or, les processus métaboliques permettant cette production sont extrêmement émetteurs de chaleur. Avec une température de salle fraîche, idéalement située vers le bas de la zone de confort thermique des truies, le risque qu'elles se retrouvent en stress thermique est diminué. Plusieurs études ont, par ailleurs, montré que l'ingestion des truies diminue quand la température augmente avec un impact sur la production laitière (Quiniou et Noblet, 1999 ; Quiniou *et al.*, 2000). Cette double ambiance a également pour objectif d'éloigner les porcelets de leur mère pour réduire le risque de pertes par écrasement. Deux éleveurs évoquent également de plus grandes difficultés à conduire des truies libres en été avec les fortes chaleurs quand il est plus dur de maintenir une ambiance fraîche dans la salle.

2.4. Animaux et relation humain-animal

Un seul troupeau de l'étude est en race pure Yorkshire du fait de son statut de multiplicateur. Tous les autres troupeaux de truies sont de type génétique Large white x Landrace. Les truies sont issues de 5 fournisseurs différents (Topigs : 12 élevages, Hypor : 5, Axiom : 5, Danbred : 3, PIC : 1) et 2 élevages sont en

autorenouveau de leurs reproductrices. Huit éleveurs ont choisi de changer leur fournisseur avec le passage en liberté. Ces éleveurs recherchaient alors des truies calmes (4 mentions) et maternelles (3 mentions). Un des éleveurs ayant changé de génétique affirme qu'il a choisi la nouvelle car elle est « adaptée à la liberté ». La lignée mâle utilisée pour produire les porcelets est majoritairement de génétique Piétrain (15 élevages /26 réponses). Les autres sont soit de génétiques Duroc (5 élevages) soit un croisement de ces deux génétiques (5 élevages) ou Landrace (1 élevage). Les éleveurs ont majoritairement conservé la génétique mâle avec le passage en liberté (18 élevages et 8 sans réponse). Seuls 3 éleveurs ont utilisé une autre souche génétique. Deux pour plus de vigueur des porcelets et un en raison de son passage au statut de multiplicateur.

Parmi les éleveurs ayant conservé leurs truies avec le passage en liberté, 10 évoquent un changement de comportement de celles-ci dans les nouvelles cases et 4 éleveurs n'observent pas de changement. Ces changements peuvent avoir des connotations positives avec des truies plus calmes (4 mentions), qui sont « bien » (2 mentions), qui sont plus mobiles, qui consomment mieux leur aliment et qui allaitent plus facilement leurs porcelets (1 mention pour chacun). Ce changement peut aussi être à connotation plus négative pour l'éleveur lorsque la truie défend plus ses porcelets (2 mentions) ou « force pour sortir car elle sait qu'elle va être libérée » (1 mention). Trois éleveurs évoquent un changement de relation avec les truies. Ce changement de relation est expliqué par la réduction des interventions : « on intervient moins, on met en liberté pour régler les soucis », « on force moins car on prend plus de temps pour les apprivoiser ». Les données de l'enquête montrent que les éleveurs observent plus leurs animaux mais seuls 6 éleveurs évoquent un changement de la perception de leurs truies avec le passage en liberté. Ainsi, trois éleveurs affirment : « On observe beaucoup le comportement des animaux » ou encore « On fait plus de surveillance par plaisir, avant c'était plus par obligation ». Deux éleveurs évoquent même le retour d'un comportement « naturel » : « Elles se couchent la tête vers le nid, c'est plus naturel » ou encore « Le côté naturel revient, la truie va pousser ses porcelets avant le couchage ». Certains utilisent également ce temps pour interagir avec les animaux. Les éleveurs décrivent par ailleurs des troupeaux calmes qui peuvent être une conséquence de ces nouvelles habitudes via le développement d'une meilleure relation Humain-Animal (Pol *et al.*, 2021). Seulement 2 éleveurs considèrent que les truies sont plus agressives, quand d'autres préfèrent parler de protection des porcelets (4 mentions). Aucun éleveur ne dit avoir changé ses pratiques en quarantaine pour renforcer la relation Humain-Animal. Plusieurs éleveurs de l'échantillon avaient déjà des pratiques de domestication avec des visites régulières en quarantaine (14 éleveurs).

2.5. Temps et conditions de travail

Vingt-sept éleveurs notent une évolution de leurs conditions de travail avec leurs nouvelles cases (1 sans évolution – 1 sans réponse). Le ressenti global est plutôt positif avec un travail qualifié de « plus agréable » (6 éleveurs), « plus efficace » (2 éleveurs). Cette évolution est aussi liée au nouveau bâtiment qui est souvent équipé de fenêtres et donc « plus lumineux » (7 éleveurs) ou à des changements dans les tâches à accomplir comme « plus de surveillance » ou encore « plus de temps passé à observer et caresser les animaux, même si on ne fait pas que ça ». Plusieurs éleveurs évoquent aussi le cas du lavage

(6 éleveurs) qui est à la fois décrit comme « plus facile » ou « plus agréable » mais également « plus long ». Une grande partie des éleveurs bloque les truies ou se protège à l'aide du bat-flanc pour sécuriser le travail en cas d'intervention après la libération. Il faut cependant nuancer ces retours positifs car il s'agit dans notre enquête d'une grande partie de bâtiments neufs. Ainsi plusieurs éleveurs estiment ne pas pouvoir dissocier la part de satisfaction relative à l'aspect liberté de celle relative aux changements survenus au même moment (nouveau matériel, changement de génétique ...) et attendent d'avoir un recul suffisant pour exprimer un avis plus tranché. Il est par ailleurs intéressant de noter que les éleveurs ne cherchent pas à optimiser leur parc bâtiment en changeant de conduite avec un sevrage plus précoce par exemple.

Les avis sur l'évolution du temps de travail sont plus contrastés. Douze éleveurs considèrent que leur temps de travail a évolué et dix autres qu'il n'a pas changé (7 sans réponse). Le lavage est unanimement décrit comme une tâche plus longue en lien avec « l'augmentation de la surface à nettoyer » (8 éleveurs). Plusieurs éleveurs qui disent avoir gagné du temps sur des tâches estiment qu'ils peuvent le réinvestir ailleurs, dans la surveillance notamment, « le temps de travail n'est pas réparti de la même manière, 1h de moins à sevrer mais 1h de plus à mettre en liberté » ou encore « moins de temps avec les nouveaux équipements, mais plus pour la libération, le temps est réinvesti ailleurs ». Certains éleveurs estiment avoir gagné du temps avec le passage en liberté en lien des choix matériels : « moins de temps avec l'alimentation automatique » ou « avec les nouveaux équipements ». Pour d'autres, cela est plus lié aux spécificités de la liberté : « moins d'intervention sur les animaux », « gain de temps sur le raclage et les truies mangent mieux donc on a moins d'auges à vider ».

2.6. Evaluation globale par les éleveurs

L'évaluation multicritère permet de mesurer la perception du système liberté ainsi que ses composantes. Les éleveurs sont globalement satisfaits de leurs systèmes. Ainsi, la note moyenne, tous critères confondus, est de 2,4 sur 3 [mini 1,5 –

maxi 2,7]. Seuls 3 critères ont une note moyenne inférieure à 2 et 13 critères ont une note moyenne supérieure à 2,5.

La facilité de déplacement des truies (transfert de la truie au sevrage, transfert de la truie à l'entrée en maternité) et l'utilisation de la cage (contention de la truie, libération de la truie) sont les critères les mieux notés. Le bien-être des porcelets, s'il a une note moyenne légèrement inférieure, ne reçoit jamais de note inférieure à 2. Deux points négatifs ressortent de cette notation. Le premier est l'accessibilité et l'intervention sur les porcelets quand la truie est libre en lien une plus grande surface de case et la nécessité de rentrer avec la truie dans une partie des cas. L'autre correspond au temps de lavage qui est augmenté du fait de l'augmentation de la surface et du matériel (nid/niche, barres ...).

CONCLUSION

Cette étude montre que la réussite des élevages avec des truies libres en maternité n'est pas influencée par le modèle de case choisi. Différents modèles, adaptés aux choix des éleveurs, à leurs envies, leurs motivations et leurs conditions de travail nous ont été présentés. Les conduites sont adaptées à chaque élevage après une phase de transition. Si les pratiques varient, des grandes lignes se dégagent comme la mise en place d'une double ambiance et la libération des truies après les soins. Les éleveurs semblent également beaucoup observer leurs animaux. Ces premiers résultats, résumés sous la forme de fiches techniques pour chaque type de case, pourront aider les éleveurs, toujours plus nombreux, qui s'équipent avec des systèmes liberté. Ils pourront être affinés avec l'expérience et la visite de nouveaux élevages.

REMERCIEMENTS

Ce projet a bénéficié d'un financement France 2030 - programme « Territoires d'Innovation », dans le cadre du projet « Laboratoire d'Innovation Territorial - Ouest Territoires d'Elevage ». Les auteurs tiennent à remercier les éleveurs et les groupements de producteurs qui leur ont permis de réaliser ce travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baxter E.M., Lawrence A., Edwards S.A., 2011. Alternative farrowing systems: Design criteria for farrowing systems based on the biological needs of sows and piglets. *Animal*, 5, 4, 580-600.
- Baxter E.M., Moustsen V.A., Goumon S., Illmann G., Edwards S.A., 2022. Transitioning from crates to free farrowing: A roadmap to navigate key decisions. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
- Bertin C., Villain N., Ramonet Y., 2020. Truies libres en maternité : retours d'expériences dans cinq élevages équipés. *Journées Rech. Porcine*, 52, 401-402.
- Ceballos M.C., Gois K.C., Parsons T.D., 2020. The opening of a hinged farrowing crate improves lactating sows' welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 230.
- Goumon S., Illmann G., Moustsen V.A., Baxter E.M., Edwards S.A., 2022. Review of Temporary Crating of Farrowing and Lactating Sows. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
- Hansen L.U., 2018. Test of 10 different farrowing pens for loose-housed sows. Report NO.1803. SEGES. 34 p.
- King R.L., Baxter E.M., Matheson S.M., Edwards S.A., 2019. Temporary crate opening procedure affects immediate post-opening piglet mortality and sow behaviour. *Animal*, 13, 1, 189-197.
- Morgan L., Meyer J., Novak S., Younis A., Ahmad W.A., Raz T., 2021. Shortening sow restraint period during lactation improves production and decreases hair cortisol concentrations in sows and their piglets. *Animal*, 15, 2.
- Pol F., Kling-Eveillard F., Champigneulle F., Fresnay E., Ducrocq M., Courboulay V., 2021. Human-animal relationship influences husbandry practices, animal welfare and productivity in pig farming. *Animal*, 15.
- Quiniou N., Noblet J., 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J Anim Sci*. 77, 8, 2124-2134.
- Quiniou N., Gaudre D., Rapp S., Guillou D., 2000. Influence de la température ambiante et de la concentration en nutriments de l'aliment sur les performances de lactation de truies primipares. *Journées Rech. Porcine*, 32, 275-282.
- Ramonet Y., Caille M.E., Dubois A., Meunier-Salaün M.C., 2018. Les truies libres en maternité : modalités de logement et de conduite, performances, conditions de travail et bien-être. *Journées Rech. Porcine*, 50, 281-292.
- Vasdal G., Glærum M., Melišová M., Bøe K.E., Broom D.M., Andersen I.L., 2010. Increasing the piglets' use of the creep area—A battle against biology?, *Applied Animal Behaviour Science*, 125, 96-102.
- Weary D.M., Ventura B.A., von Keyserlingk M.A.G., 2016. Societal views and animal welfare science: understanding why the modified cage may fail and other stories, *Animal*, 10, 2, 309-317.



De la réflexion de groupe à l'immersion dans des bâtiments porcins coconstruits innovants en santé et bien-être animal

Morgane LEROUX (1), Frédéric KERGOURLAY (2), Yvonnick ROUSSELIÈRE (3), Olivier GIRMA (2)

(1) Association LIT OUESTEREL, 101 route de Gachet, 44 300 Nantes, France

(2) Chambres d'Agriculture de Bretagne, 24 route de Cuzon, 29 322 Quimper, France

(3) IFIP – Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651, Le Rheu, France

morgane@assolitouesterel.org

De la réflexion de groupe à l'immersion dans des bâtiments porcins coconstruits innovants en santé et bien-être animal

Quels bâtiments porcins, innovants en santé et bien-être animal, proposer pour demain ? A l'heure où les attentes de chacun divergent, un projet breton a fait le pari de répondre à cette question en menant une démarche participative, impliquant professionnels de la filière et grand public. Après la réalisation d'une enquête pour identifier et comprendre les attentes de chacun, citoyens et professionnels ont été sollicités pour réfléchir à des idées permettant d'y répondre. Au total, près de 200 propositions, relatives au logement ou à la conduite d'élevage qui y est menée, ont été proposées. Elles ont été récoltées individuellement à travers un concours d'idées, ou collectivement à travers un atelier d'idéation. Matérialisées sous la forme d'un jeu de cartes, ces propositions ont ensuite été sélectionnées et combinées par un groupe de travail composé d'une trentaine d'experts de la filière porcine (éleveurs, techniciens du bâtiment, épidémiologistes, éthologues, sociologues, ergonomes...). A partir de cette réflexion collective, quatre concepts d'élevage innovants ont été imaginés, présentant une gradation dans leur degré d'innovation. Ces concepts présentent tous la même volonté d'améliorer les conditions de bien-être animal, mais la conçoivent différemment. A minima, ils s'accordent sur la suppression de la contention, l'arrêt des mutilations (castration, caudectomie, meulage des dents) et l'enrichissement du milieu de vie (matériel, auditif ou social). Certains projets imaginent ces changements dans le cadre d'une évolution progressive des bâtiments existants alors que d'autres les inscrivent dans des bâtiments en rupture. Dans tous les cas, les projets ont un impact significatif sur les différentes performances d'élevage (économie, environnement, travail...), évaluées ici selon une analyse multicritère opérée à dire d'experts.

From group discussions to immersion in co-constructed pig farm buildings that are innovative in terms of animal health and welfare

What kind of innovative animal health and welfare buildings should be proposed for tomorrow's pig farms? At the time when societal expectations differ, a project in Brittany, France, has taken up the challenge of answering this question through a participative approach involving both sector professionals and citizens. After surveying them to identify and understand their expectations, we asked them to come up with ideas to meet them. Nearly 200 proposals related to housing or livestock management were proposed. They were collected individually through an idea competition and collectively through an idea workshop. These proposals were then selected and combined by a working group of approximately 30 experts of the pig sector (breeders, building technicians, epidemiologists, ethologists, sociologists, ergonomists, etc.). From this collective reflection, four innovative breeding projects were devised along a gradient of the degree of innovation. These projects shared the same desire to improve animal welfare, but approached it differently. However, they did agree on eliminating restraints, ending physical modifications (castration, tail docking, tooth grinding), and enriching pig's living environment (from material, auditory or social viewpoints). While some projects considered these changes in the framework of a gradual change in existing buildings, others considered them in new buildings that would break strongly with the status quo. In all cases, the four projects had substantial impacts on the types of livestock performance (economic, environmental, work organization, etc.), here assessed using a multi-criteria analysis based on expert judgement.

INTRODUCTION

Les Français ont toujours eu une image positive de l'agriculture (Aupetit, 2016). Cette image tend néanmoins à s'éroder au fil des années (Delanoue *et al.*, 2018). Une des causes de cette érosion réside dans l'inquiétude grandissante des citoyens quant au bien-être des animaux d'élevage. De 60 % il y a 15 ans, ils sont aujourd'hui 92 % à considérer comme important le bien-être de ces animaux, et seulement 41 % s'estiment satisfaits des conditions de vie qui leur sont actuellement offertes (IFOP, 2018). Bien qu'aucune des filières animales ne soit exempte de cette insatisfaction, certaines concentrent davantage les critiques que d'autres. C'est le cas de la filière porcine avec 79 % des Français qui estiment que les efforts pour plus de bien-être animal devraient prioritairement concerner les élevages de porcs (IFOP, 2018). Ces derniers, fortement standardisés sur le territoire français (Delanoue *et al.*, 2017), sont plus particulièrement pointés du doigt car ils ont toujours recours à des pratiques douloureuses (coupe de queue, époinçage des dents, castration) mais surtout pour leurs conditions de logement, les porcs étant le plus souvent hébergés sur un sol bétonné dans des bâtiments fermés sans espace de vie extérieur. Dans ce contexte, l'association LIT OUESTEREL a décidé d'entreprendre un travail visant à imaginer de nouveaux modes de logement des porcs, plus respectueux de leur santé et de leur bien-être. Réalisée dans le but de favoriser l'acceptabilité sociétale des élevages de demain, cette conception s'est faite en tenant compte de ce qui est techniquement réalisable et économiquement viable pour les éleveurs. Elle porte sur l'ensemble des stades physiologiques (verraterie, gestation, maternité, post-sevrage et engraissement). Cette réflexion, portée par l'association, a été réalisée en partenariat avec les Chambres d'agriculture de Bretagne et l'IFIP, selon une démarche de conception participative, incluant professionnels de l'élevage et grand public.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Compréhension des attentes des citoyens

Pour imaginer de nouveaux modes de logement, davantage en accord avec les attentes des citoyens, identifier et caractériser ces attentes était essentiel. Un sondage à destination des Français a donc été réalisé par l'IFOP sur la base d'un questionnaire préparé par plusieurs partenaires de l'association (IFIP, INRAE, coopératives...) A travers ce sondage, autoadministré en ligne en novembre 2018, un échantillon représentatif de la population française a été invité à sélectionner et prioriser leurs trois plus grandes attentes parmi une liste préalable de pistes permettant d'améliorer la santé et le bien-être animal.

1.2. Recueil d'idées pour répondre aux attentes

Une fois ces attentes connues, il s'agissait ensuite de pouvoir y répondre par l'identification de propositions. Pour ce faire, citoyens et professionnels ont été sollicités, selon deux méthodologies distinctes.

1.2.1. Des idées proposées par les citoyens

Côté citoyens, leurs propositions ont été collectées individuellement, à l'échelle de la région Bretagne, via leur participation à un jeu-concours intitulé « Imagine ma vie dans le futur », le « ma » faisant ici référence à l'animal. Mis en place

entre juin et août 2021, ce jeu-concours offrait la possibilité aux participants de partager leur vision de l'élevage porcine de demain, à travers le moyen d'expression de leur choix, qu'il soit sous la forme d'une prose (comptine, récit, poésie...) ou d'une illustration (dessin, bande dessinée, maquette...). Enfants comme adultes pouvaient participer. Pour toucher l'audience la plus large possible, la promotion de ce jeu a été faite à la fois en ligne (sur les réseaux sociaux ...) et sur le terrain (animation dans des enseignes de la grande distribution ...).

1.2.2. Des idées proposées par les professionnels

Côté professionnel, les propositions ont été récoltées collectivement au cours d'un atelier d'idéation. Organisé en octobre 2021, cet atelier de 2h30 a réuni 30 représentants de la filière porcine bretonne : quatre éleveurs, six représentants de groupements d'éleveurs, quatre ingénieurs bâtiments ou élevage, quatre éthologues, un représentant d'une association welfariste, trois épidémiologistes, deux ergonomes, un représentant d'un distributeur, et cinq étudiants en école d'ingénieur agronome ou en école d'architecture. Tous ont été invités à partager leurs propositions. Pour ce faire, il leur a été demandé de se projeter dans l'avenir en imaginant, pour chacune des attentes relevées dans le sondage, comment celle-ci pourrait avoir été mise en œuvre dans les élevages à un horizon de 15 ans.

1.2.3. Des idées traduites sous forme d'un jeu de cartes

Les idées recueillies auprès du grand public et des professionnels ont fait l'objet d'illustrations par une graphiste afin de servir d'outil de facilitation à la phase de sélection et de combinaison d'idées prévue dans la suite du processus de conception participative. Ce travail, réalisé entre novembre 2021 et février 2022, a abouti à la création d'un jeu de cartes dans lequel chacune correspondait à une proposition. Ainsi, le recto illustre la proposition sous la forme d'un dessin épuré, tandis que le verso en présentait un rapide descriptif technique.

1.3. Imaginer des modes de logement à partir de ce recueil

A l'issue de cette phase d'idéation, les représentants de la filière porcine ont à nouveau été réunis au cours de deux ateliers de prototypage. Organisés en février et en avril 2022, ces ateliers, de 2h30 chacun, ont permis de sélectionner et de combiner les propositions les plus intéressantes de façon à faire émerger, pour chacun des stades physiologiques, des concepts d'élevage porcine innovants en santé et bien-être animal. Afin de faciliter cette phase de prototypage, celle-ci a été menée en quatre sous-groupes, chacun comprenant au moins un éleveur porcine et un expert du bien-être animal.

1.3.1. Une sélection des idées selon différents scénarios

Pour commencer la sélection des idées, chaque sous-groupe a été invité à se positionner selon l'hypothèse de travail qu'il souhaitait explorer, i.e., celle d'un élevage à destination d'un marché de masse permettant la production d'une viande porcine à coût modéré versus celle d'un élevage positionné sur un marché de niche entraînant la production d'une viande porcine plus onéreuse. Une fois leur hypothèse de travail choisie, chaque sous-groupe a eu à faire une sélection parmi les différentes cartes proposées. Cette sélection s'est faite en trois temps correspondant i) aux choix des caractéristiques générales de leur élevage, (ii) au choix des aménagements extérieurs des bâtiments le composant et (iii) au choix des aménagements intérieurs de ces bâtiments. A chacune de ces étapes, un animateur présentait les cartes adéquates au sous-groupe, puis le laissait débattre. Il ne donnait pas son avis,

s'assurant uniquement que toutes les personnes présentes s'exprimaient avec un temps de parole équivalent. Les cartes retenues devaient faire consensus dans le sous-groupe. Celui-ci disposait en outre de quatre cartes « joker » qui permettaient de compléter le jeu initial, par des nouvelles propositions.

1.3.2. De la combinaison d'idées à la réalisation d'esquisses

Une fois les cartes sélectionnées, chaque sous-groupe a eu à les positionner dans un espace plat, en les disposant sur une feuille, de façon à esquisser les contours de l'ensemble de l'élevage imaginé, puis ceux de chacun des bâtiments composant ce dernier (aménagements extérieurs, puis intérieurs). Ces premiers dessins, à main levée, ont ensuite été repris et affinés par une graphiste, entre les mois de mai et août 2022, afin de concevoir des esquisses plus réalistes des concepts imaginés.

1.3.3. Des esquisses à l'organisation de visites virtuelles

Afin de faciliter l'analyse puis la diffusion et l'appropriation futures de ce travail coconstruit, ces esquisses ont été reprises, entre avril et juillet 2023, par une société spécialisée dans les domaines de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée, de façon à rendre les résultats obtenus plus concrets en les valorisant au travers de visites virtuelles immersives.

1.4. Analyser ces nouveaux modes de logement imaginés

Pour accompagner l'appropriation de ces concepts, une analyse prédictive des impacts des élevages imaginés était essentielle.

1.4.1. Analyse économique

Le modèle d'élevage de référence retenu pour le chiffrage économique des concepts imaginés est un élevage naisseur-engraisseur total avec une conduite en sept bandes et un sevrage à 28 jours. Excepté pour l'élevage le plus innovant (E4) présentant des caractéristiques en rupture avec les trois autres (E1, E2 et E3), il a été retenu un effectif de 240 truies présentes, soit 210 truies productives à raison de 30 truies par bande. Concernant l'élevage le plus innovant (E4), un effectif de 40 truies présentes, soit 35 truies productives à raison de cinq truies par bande, a été retenu par souci de cohérence avec la mise à disposition de parcours enherbés. La connaissance de ces effectifs permettait de préciser le dimensionnement des surfaces de bâtiment à construire pour loger les animaux, selon celles retenues par porc aux différents stades physiologiques. Le chiffrage économique entrepris par la suite porte exclusivement sur le bâti permettant de loger ces animaux, ainsi que les couloirs de service permettant d'y accéder. Il ne prend pas en compte les autres bâtiments (locaux d'accueil, ...) ou annexes (quai d'embarquement, ...) nécessaires au fonctionnement d'un élevage, ni les éventuelles aires de vie extérieures et leurs aménagements.

1.4.2. Analyse multicritère

En complément de cette analyse économique, une analyse plus complète de l'ensemble des impacts sur les différentes performances (bien-être animal, santé animale, environnement, performances techniques et zootechniques, conditions de travail) a été réalisée. Cette évaluation a été faite à dire d'experts, en considérant une conduite d'élevage optimisée. Pour ce faire, trois à cinq experts de chacune des dimensions de la durabilité listées ci-dessus ont été sollicités en août 2023. Après leur avoir laissé prendre connaissance des élevages imaginés grâce aux visites virtuelles, chacun d'entre eux eut à retourner son avis d'expert. Pour faciliter la comparaison entre les différents projets, les deux mêmes questions leur étaient posées, à l'issue du visionnage d'un élevage porcin standard tout d'abord, puis à l'issue du

visionnage de chaque élevage innovant imaginé ensuite. Les experts d'une même spécialité présentant des connaissances et compétences variées, ces deux questions ont volontairement été formulées de façon à permettre à chacun de s'exprimer. Ainsi, il leur a été demandé : « En tant qu'expert en [domaine de spécialité de l'expert interrogé], à combien estimez-vous le niveau de satisfaction de cet élevage dans ce domaine ? », avec une réponse positionnée sur une échelle allant de 0 (pas satisfaisant du tout) à 10 (parfait), puis « Pourquoi ? » avec une réponse libre leur permettant de justifier leur notation précédente. Ce questionnaire a été administré en ligne en août 2023 et analysé en septembre 2023.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Compréhension des attentes des citoyens

Au total, 1 006 Français ont répondu au sondage initial. Leurs attentes en termes de mode de logement remettent en cause les pratiques d'élevage et modes de logement des animaux. Parmi les attentes propres au mode de logement des porcs, les plus plébiscitées ont été, par ordre d'importance, l'accès des animaux à l'extérieur (très important pour 52 % des répondants), l'arrêt du maintien d'animaux bloqués (38 %), l'augmentation de la surface de vie par animal (23 %), l'augmentation de la lumière naturelle (11 %), et le recouvrement du sol par de la litière (8 %).

2.2. Recueil d'idées pour répondre à ces attentes

2.2.1. Des idées proposées par les citoyens

Du côté des citoyens, 15 idées seulement ont été apportées dans le cadre du jeu-concours. La promotion de ce dernier lors de diverses animations sur le terrain nous a permis d'appréhender les raisons de cette faible participation. Bien que les citoyens rencontrés aient manifesté un intérêt vis-à-vis de ce travail (« c'est rassurant de se dire que c'est un sujet qui est regardé et travaillé »), la grande majorité est restée bloquée par leur manque de connaissances du milieu porcin (« je n'ai aucune idée de ce à quoi ressemble un élevage et donc je ne saurais pas quoi proposer sans que ce soit complètement à côté de la plaque »). Malgré le format ludique proposé, la thématique leur paraissait trop technique pour pouvoir participer. Les quelques propositions retenues concernaient majoritairement l'accès extérieur et ses aménagements (agroforesterie, mare artificielle...). Sans avis préconçu, ces propositions pouvaient être particulièrement innovantes, telle que celle de laisser les porcs vivre en groupes familiaux dans des parcours agroforestiers, selon une approche « compagnie ».

2.2.2. Des idées proposées par les professionnels

Du côté des professionnels, 185 idées ont été soumises. Ces propositions, nettement plus nombreuses, étaient plus diversifiées mais aussi plus classiques. Elles étaient pour la plupart issues des différentes expériences et connaissances acquises par les professionnels sur le territoire français ou à l'étranger.

2.3. Imaginer des modes de logement à partir de ces idées

Chaque sous-groupe a imaginé un élevage dans son entièreté. Plus que la nature des idées qui composent l'élevage, c'est leur combinaison qui a permis d'aboutir à des concepts innovants. Bien qu'uniques, ceux-ci partagent plusieurs points communs. En effet, ils incluent tous une augmentation des aires de vie des

animaux (plus ou moins importante selon les projets), une augmentation des accès à la lumière naturelle (selon des procédés variés), une diversification des types de sol, un enrichissement du milieu (de façon matérielle, auditive ou sociale), ainsi qu'une suppression de la contention permanente. Ces aménagements ont lieu dans des bâtiments dont les besoins en eau et électricité sont en partie assurés par l'élevage (grâce à, respectivement, des récupérateurs d'eau de pluie, et des panneaux solaires ou la méthanisation). Ces concepts comprennent en leur sein, une gestion combinée de différents stades physiologique (a minima une gestion combinée des stades verraterie/gestante et des stades maternité/post sevrage avec un sevrage sur place), où l'ensemble des porcs élevés ne présente plus aucune mutilation (arrêt castration, caudectomie et meulage des dents). Cependant, certains de ces élevages mettent en place ces changements dans le cadre de bâtiments qui restent fermés sans aire de vie extérieure, avec une conduite relativement proche de la conduite standard, alors que d'autres le font dans des bâtiments ouverts sur un accès extérieur (courette ou parcours), dans des conditions d'élevage nettement plus en rupture avec l'existant. Les différents concepts imaginés sont détaillés ci-après et synthétisés dans le tableau 1.

2.3.1. *Les élevages innovants imaginés pour un marché de masse*

L'élevage innovant E1 est un élevage composé uniquement de bâtiments fermés. Pour chaque stade physiologique, une augmentation de la lumière naturelle est permise grâce à l'installation de plus grandes fenêtres équipées de stores pour en maîtriser la lumière entrante, de murs blancs pour en faciliter la réflexion à l'intérieur et de baies vitrées pour la laisser se diffuser aux autres salles du bâtiment. Celles-ci sont de plus équipées d'un système de cooling et de brasseurs d'air afin de limiter leur échauffement, appuyé par un système de brumisation pour des déclenchements ponctuels en cas de trop fortes chaleurs. Les salles sont pourvues d'un système de raclage sous caillebotis de façon à limiter les émanations gazeuses émises par les déjections des porcs. Concernant spécifiquement les salles combinées de verraterie et gestation (2,25 m²/trouie), celles-ci sont équipées de réfectoires sur caillebotis, où les truies sont temporairement bloquées lors des soins, et d'une zone pleine à l'arrière pour le couchage. Les salles de maternité (6,5 m²/trouie) sont équipées de cases liberté sur sol caillebotis et permettent un sevrage sur place des porcelets. Des trappes sont par ailleurs présentes entre deux cases contiguës pour faciliter la sociabilisation précoce des porcelets. Les salles d'engraissement (1 m²/porc), où chaque case permet de réunir deux portées sociabilisées d'animaux en post-sevrage, comprennent une zone d'alimentation et de déjection sur caillebotis et une zone de couchage sur sol plein. Chacune des cases de l'ensemble de ces salles est équipée d'enrichissements matériels (bois suspendus, grattoirs...) et sonores (diffusion d'une musique classique).

L'élevage innovant E2 est également un élevage composé de bâtiments fermés, à l'exception d'un bâtiment, semi-ouvert (verraterie-gestante). La luminosité entrante y est importante grâce à l'installation de plus grandes fenêtres dans les bâtiments fermés et de l'ouverture sur un côté via un filet brise-vent dans le bâtiment semi-ouvert. L'ensemble des salles dispose des mêmes équipements que l'élevage E1 pour réguler l'ambiance, auxquels s'ajoutent des équipements supplémentaires permettant de maîtriser encore plus finement la température (thermorégulation du sol gisoir) et la gestion des

effluents (système de flushing). Concernant spécifiquement les salles combinées de verraterie-gestante (2,25 m²/trouie), celles-ci sont, comme pour l'élevage E1, équipées de réfectoires sur caillebotis et d'une zone pleine à l'arrière pour le couchage, mais disposent d'une aire de vie plus spacieuse du fait ici d'une gestion des truies en grand groupe (100 truies). Les salles combinées de maternité-post sevrage (6,5 m²/trouie) sont équipées de cases liberté sur sol plein pour la trouie et de caillebotis dans le reste de la case, avec sevrage sur place. Des trappes à porcelets sont présentes entre les cases contiguës pour faciliter leur sociabilisation précoce. Les salles d'engraissement (1 m²/porc), présentent une zone alimentation/déjection sur caillebotis et une zone de couchage et d'activité sur sol plein. Toutes les cases sont équipées d'enrichissements matériels (ici des râteliers de paille, alimentés automatiquement, en complément de bois suspendus) et sonores.

2.3.2. *Les élevages innovants imaginés un marché de niche*

L'élevage innovant E3 est un élevage composé à la fois de bâtiments fermés (maternité-post sevrage) et de bâtiments ouverts sur courtes (verraterie-gestante et engraissement). La luminosité entrante est également importante et permise cette fois par le canal de bandeaux lumineux installés en complément de grandes fenêtres (dans les bâtiments fermés) et par l'ouverture sur un côté via un filet brise-vent (dans les bâtiments ouverts). L'ensemble des salles dispose des mêmes équipements que l'élevage E2, à l'exception du système de flushing ici absent. Concernant spécifiquement les salles combinées de verraterie-gestante, où les truies sont conduites en grand groupe, celles-ci sont équipées de réfectoires sur caillebotis pour la partie verraterie (2,25 m²/trouie), où elles sont bloquées uniquement le temps des soins. Concernant la partie gestante (3,40 m²/trouie), celle-ci est divisée en une aire de vie intérieure, composée d'une zone d'alimentation sur caillebotis et d'une zone de couchage sur gisoirs paillés automatiquement, ainsi que d'une aire de vie extérieure sous la forme d'une zone d'exercice sur courette sol caillebotis. Les salles de maternité-sevrage sur place (6,5 m²/trouie) sont équipées de cases liberté individuelles sur sol plein, relevables de façon à permettre ensuite un allaitement en groupe de quatre truies, avec accès à une zone supplémentaire sur caillebotis disposée à l'arrière des cases individuelles. Les salles d'engraissement (1,5 m²/porc) permettent une gestion des porcs à l'engraissement en grand groupe. Leur aire de vie intérieure est composée de zones différenciées correspondant à i) deux zones d'alimentation sur caillebotis accessibles depuis une station de tri, ii) une zone de couchage sur sol plein thermorégulé, et iii) des zones d'activité sur sol en caillebotis. Leur aire de vie extérieure sur courette couverte correspond à la zone de déjection des animaux, sur caillebotis également. L'ensemble des différentes salles sont équipées d'enrichissements matériels sous la forme de litière paillée pour la verraterie-gestante et de râteliers de paille alimentés par un distributeur automatique pour les autres salles.

Enfin, l'élevage innovant E4 est composé d'un unique bâtiment ouvert sur une courette donnant accès à des parcours extérieurs. Ce bâtiment est complété par des cabanes mobiles dans des pâtures situées en périphérie du bâtiment. Dans ces cabanes, abritant chacune un système d'approvisionnement en eau et aliments, sont élevées les truies gestantes (3,40 m²/trouie). Ces dernières peuvent, selon leurs envies, rester à l'intérieur des cabanes ou bien se déplacer à l'extérieur dans une parcelle herbacée et végétalisée disposant d'une

bauge. Dans l'unique bâtiment cohabitent truies en lactation, porcelets non sevrés, porcelets sevrés et porcs à l'engraissement. Dans une aile du bâtiment figure une zone de mise bas (6,5 m²/truie). Celle-ci, volontairement peu éclairée, est composée de plusieurs cases sur sol plein et paillé. Il n'y a aucun système de contention, les parois de la case étant inclinées pour limiter les écrasements des porcelets. Jusqu'au 7^{ème} jour de vie des porcelets, chaque case est réservée à la truie allaitante et à ses porcelets. Passé ce délai, tous les animaux cohabitent dans le bâtiment selon une approche compagnie

(1,5 m²/porc). Ainsi, ils ont accès à une zone d'alimentation et d'activité commune sur sol plein recouvert de sable et de sciure (apportée via un automate de distribution). Cette aile du bâtiment, nettement plus lumineuse que la précédente du fait d'un dôme lumineux, s'ouvre, via des portes rideaux, sur une courette extérieure semi-couverte. A partir de celle-ci, des parcours forestiers sont accessibles, mais uniquement cette fois aux porcs à l'engraissement, grâce à un système individuel de détection.

Tableau 1 - Principales caractéristiques des modes de logement des quatre concepts d'élevage, en comparaison avec l'élevage conventionnel de référence

| Marché cible | Concept élevage* | Bâtiment fermé | Bâtiment semi-ouvert | Bâtiment ouvert sur un accès extérieur | Surface (m ² par animal) et type de sol (CI ¹ ou CP ²) aux différents stades physiologiques | | | |
|--------------|------------------|--------------------------------|----------------------|--|---|-------------------------------------|----------------|----------------|
| | | | | | Maternité | Gestante | PS | Engraissement |
| Masse | Standard | Tous les stades | ∅ | ∅ | 4,25 CI | 2,25 CI | 0,3 CI | 0,65 CI |
| Masse | E1 | Tous les stades | ∅ | ∅ | 6,5 CP | 2,25 CP | 0,5 CP | 1 CP |
| | E2 | Maternité, PS et Engraissement | Verraterie/Gestante | ∅ | 6,5 CP | 2,25 Gisoir paillé + caillebotis | 0,5 CP | 1 CP |
| Niche | E3 | Maternité et PS | ∅ | Gestante et Engraissement (courette) | 6,5 CP | 3,40 Gisoir paillé + caillebotis | 0,5 CP | 1,5 CP |
| | E4 | ∅ ³ | ∅ | Gestante et Engraissement (parcours). Tous stades (courette) | 6,5 Litière | 3,40 Parcours extérieur | 0,5 Litière | 1,5 Litière |

¹CI = caillebotis intégral ²CP=caillebotis partiel ³∅= absence

2.4. Analyser ces nouveaux modes de logement

2.4.1. L'analyse économique

L'évaluation économique des concepts d'élevage imaginés est présentée dans le tableau 2. Les chiffres indiqués permettent d'apprécier les surcoûts d'investissement en bâtiment de chaque projet imaginé, indépendamment de leur faisabilité technique.

Tableau 2 - Coût du logement en € par truie présente, et surcoût relativement à l'élevage de référence

| Elevage | Coût (€/truie présente) | Surcoût (€ et %) |
|-----------|-------------------------|------------------|
| Référence | 9 712 | 0 |
| E1 | 15 321 | +5 609 (+58 %) |
| E2 | 16 847 | +7 135 (+73 %) |
| E3 | 21 706 | +11 994 (+123 %) |
| E4 | 10 513 | +801 (+8 %) |

Base de calcul : Référentiel de coût des bâtiments, publié par l'Ifip en 2023

Au regard d'un élevage standard, tous les projets apparaissent plus coûteux. De E1 à E3, ces surcoûts sur le bâti s'accroissent, ce qui s'explique essentiellement par l'augmentation de la surface de vie par animal, mais également par l'ajout d'aménagements plus coûteux (case maternité liberté, thermorégulation du sol, alimentation au DAC...). Les aménagements de E4 étant moins nombreux mais également moins coûteux, ils entraînent in fine un surcoût moindre que les trois autres projets, bien que la surface de vie par animal soit ici la plus importante. Cette analyse économique sur le bâti serait à compléter par celle des résultats technico-économiques

escomptés dans chacun des bâtis imaginés. Une mise en perspective de ces chiffrages avec l'estimation du prix de vente attendu pour les produits qui en seraient issus devrait finir de compléter l'analyse économique ici entreprise.

2.4.2. L'analyse multicritère

Les résultats de l'analyse multicritère opérée à dire d'experts sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3 - Analyse multicritère à dire d'experts¹ relativement à l'élevage standard de référence

| | Bien-être animal | Santé animale | Performances techniques, zootechniques | Conditions de travail | Environnement |
|----|------------------|---------------|--|-----------------------|---------------|
| E1 | + | / | - | + | ++ |
| E2 | ++ | / | / | ++ | ++ |
| E3 | +++ | - | -- | ++ | + |
| E4 | ++++ | -- | --- | ++ | -- |

¹Dires d'experts : + amélioration, - détérioration, / absence d'impact

Les quatre élevages ont un impact positif sur le bien-être des animaux, comparativement à l'élevage standard de référence. Ceci s'explique par l'aménagement de leurs logements (augmentation des aires de vie, du confort, de la liberté de mouvement et de choix...) et par les pratiques qui y sont menées (sociabilisation précoce, sevrage sur place...). Cette amélioration est plus marquée pour les projets s'adressant à un marché de niche (E3 et E4) que pour ceux s'adressant à un marché de masse (E1 et E2), car l'ensemble de ces changements ont alors lieu dans des bâtiments plus grands, et ouverts sur des espaces de vie extérieurs, conçus et aménagés pour permettre

aux porcs d'adopter un comportement de plus en plus proche de leur comportement naturel. Pour les projets à destination d'un marché de masse, E2 est considéré comme plus vertueux en bien-être animal que E1, tandis que pour ceux à destination d'un marché de niche, E4 est considéré plus vertueux que E3. Ceci s'explique par le fait que ces environnements offrent aux animaux de plus grandes stimulations cognitives.

Les avis des experts sur la santé animale varient fortement selon les élevages. Ils s'accordent pour reconnaître que les quatre projets permettraient une diminution du risque de blessures, grâce à l'enrichissement du milieu de vie et la limitation des nombres de déplacements d'animaux. Ces mêmes facteurs permettraient également de limiter le stress, préjudiciable à une bonne immunité et par suite à une lutte efficace contre les pathogènes. Les experts mettent néanmoins en avant l'augmentation du risque de pathogènes dans le milieu de vie des porcs, notamment dans le cas de gisiers mal utilisés. Le risque qu'ils deviennent des zones de déjection devrait cependant être limité dans les projets E2 et E3, du fait de la thermorégulation du sol prévue. Mais, si les pathogènes contaminent les porcs, l'ensemble des quatre élevages imaginés présentent une plus grande difficulté d'intervention sur les animaux, de par la diminution de leur contention et l'augmentation de leurs aires de vie. De plus, le projet E4 présente également une plus grande difficulté d'intervention sur le milieu de vie des porcs car leur aire de vie est unique et commune à tous les animaux, ce qui entrave toute procédure de nettoyage et désinfection, le bâtiment n'étant jamais vide. Cette caractéristique est d'autant plus problématique que des porcs de tous âges se côtoient dans E4, entraînant un risque de brassage de microbismes qui pourrait être explosif, car les jeunes animaux sont plus sensibles aux germes que les plus âgés. Pour les projets ouverts sur l'extérieur, E3 et, dans une plus forte mesure, E4, les experts soulignent de surcroît un risque accru de parasitisme et de mycotoxine.

Les performances techniques et zootechniques des quatre élevages seraient plus faibles que celles de l'élevage standard de référence. Cette dégradation serait modérée dans les projets E1 et E2 qui conservent encore de nombreuses caractéristiques de l'élevage standard de référence. Elle serait par contre plus importante dans le projet E3, du fait notamment de l'élevage en grand groupe des animaux, plus difficile à gérer. Cette dégradation serait encore plus importante dans le projet E4 qui, en plus d'une gestion en grand troupeau, ne recourt pas à une conduite en bande classique, caractéristiques qui, selon les experts, rendent incertaines les performances techniques et zootechniques qui en ressortiraient.

Pour ce qui est de la qualité de vie au travail, les experts jugent que les quatre élevages devraient améliorer les conditions de travail (augmentation de la luminosité naturelle, amélioration de la qualité de l'air respiré, etc.), selon une importance croissante en passant du projet E1 au projet E4. Ils estiment aussi que les aménagements prévus dans les différents élevages

devraient améliorer la perception de leur métier (meilleure adéquation avec les attentes sociétales), ici aussi de façon plus importante en passant du projet E1 au projet E4. Cependant, ces projets rendraient plus difficiles et moins sûres les interventions sur les animaux. La pénibilité physique serait également plus grande si les aménagements proposés ne sont pas compensés par les équipements adéquats (augmentation de l'automatisation par exemple) ou de la main d'œuvre supplémentaire.

Enfin, les quatre élevages auraient des impacts contrastés sur l'environnement, toujours relativement à l'élevage standard de référence. Les trois premiers projets auraient un impact positif reposant sur un meilleur bilan énergétique (permis par l'autoproduction d'électricité), la valorisation de l'eau de pluie, et de moindres émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac du fait du recours à des systèmes de raclage et d'évacuation fréquente du lisier. Comparativement aux projets E1 et E2, E3 est cependant moins bien évalué, car il utilise de la paille comme litière, ce qui est source augmentée d'émissions de gaz à effet de serre. Le projet E4 se distingue quant à lui des trois autres par un impact négatif sur l'environnement. En effet, de par son mode de conduite en rupture et ouvert sur l'extérieur, E4 entraîne une impossibilité de gérer de manière contrôlée les émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac. De plus, la dégradation des performances techniques et zootechniques prédites devrait également engendrer des impacts environnementaux négatifs, du fait de la plus forte consommation d'aliments par unité produite.

CONCLUSION

Par une méthode participative, ce travail montre que professionnels et citoyens ont su coopérer pour penser l'élevage de demain. Bien qu'à parfaire dans l'optique d'une concrétisation des plans imaginés, ces quatre concepts d'élevage, conçus en seulement 7h30 de réflexion, montrent que le parc bâtiment peut évoluer vers des élevages répondant mieux aux attentes en termes de bien-être animal, et plus respectueux de l'environnement. Mais cette évolution a un coût, visible dès la phase de construction (investissements des projets E1, E2 et E3) ou plus tard, présumé lors de la phase de fonctionnement (projet E4). Le financement de ces surcoûts et la recherche de possibilités de valorisation sur le long terme est un élément clef de la viabilité de ces futurs projets.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Banque des Territoires et les Conseils Régionaux de Bretagne, de Normandie et des Pays de la Loire pour leur soutien financier dans le cadre de la mise en œuvre du programme Territoire d'Innovation (TI) LIT OUESTEREL. Nous remercions tous les acteurs, personnes physiques et morales, qui ont bien participé à une ou plusieurs phases de ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aupetit I., 2016. Systèmes d'élevage. Impacts négatifs ou services écosystémiques. Des controverses aux alternatives. Université de Rennes 2, Mémoire M2 en gestion de l'environnement.
- Delanoue E., Dockes, A., Chouteau A., Philibert A., Magdelaine P., Roguet C., 2017. Points de vue et attentes des consommateurs et citoyens vis-à-vis de l'élevage. Journées Rech. Porcine, 49, 295-300.
- Delanoue E., Dockes, A., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. INRAE Prod Anim., 31(1), 51-68. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.1.2203>
- IFOP, 2018. Les Français et le bien-être animal [Infographie] <https://www.ifop.com/publication/les-francais-et-le-bien-etre-animal/>



Etude de l'attractivité et de la longévité de différents matériaux d'enrichissement et d'essence de bois en verraterie bloquée et en gestante grand groupe

Alexandre POISSONNET, Louissette PARRA-SOURDEAU, Valérie COURBOULAY

IFIP – Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651, Le Rheu

alexandre.poissonnet@ifip.asso.fr

Etude de l'attractivité et de la longévité de différents matériaux d'enrichissement et d'essence de bois en verraterie bloquée et en gestante grand groupe

Deux essais ont été menés à la station expérimentale de l'Ifip afin de fournir aux éleveurs des éléments pour choisir les équipements appropriés. Le premier essai a été réalisé sur une période de 4 semaines dans une verraterie bloquée, avec trois bandes de 24 truies chacune. Pour chaque bande, quatre solutions ont été testées : un cylindre à mordiller, un tasseau de bois fixé au sol (nommé pieuvre), un tasseau de bois et un objet en caoutchouc naturel fixés sur les tubulaires en face de la truie. Chaque semaine, les objets étaient déplacés afin que toutes les truies de la bande soient exposées aux quatre solutions. Un suivi comportemental a été réalisé deux fois par semaine. La vitesse de dégradation des objets a été mesurée par des pesées. La pieuvre et l'objet en caoutchouc sont significativement plus utilisés que les autres objets. Ces objets ont été préférés en raison de leur taille, de leur composition et de leur accessibilité, qui sont plus adaptées à l'expression des comportements d'investigation. Le deuxième essai a été mené dans un groupe dynamique de 72 truies gestantes afin de comparer l'attractivité et la durabilité de différentes essences de bois : pin sylvestre, érable, hêtre et chêne. Pendant trois mois, chaque semaine le temps d'utilisation des essences de bois a été mesuré au cours d'une séquence d'observation de 2h30. La vitesse de dégradation des morceaux de bois a été évaluée en fonction de leur fréquence de renouvellement. Le pin sylvestre est significativement plus utilisé que les trois autres essences. Tous les objets sont principalement mâchés. Le pin sylvestre, étant plus tendre, a été renouvelé six fois plus fréquemment.

Study of the attractiveness and longevity of enrichment materials and wood species in a blocked farrowing house and a large gestation group setting

Two trials were conducted at the IFIP experimental station to provide farmers information to choose suitable equipment. The first trial lasted four weeks was performed in a blocked farrowing house with three groups of 24 sows each. For each group, four solutions were tested: a chewable cylinder, wooden slats fixed to the floor (named octopus), a wooden slat and a natural rubber object fixed in front of the sow. Each week, the objects were rearranged to ensure that all sows in the group were exposed to all four enrichment materials. Behaviour was monitored twice a week, and the rate at which the materials degraded was measured by weighing them. The octopus and the rubber object were used significantly more than the other objects. Additionally, there was greater inter-individual variability in the use of the rubber object than that of the octopus. These objects were preferred due to their size, composition, and accessibility, which were better suited for expressing investigative behaviours. The second trial was performed in a dynamic group of 72 pregnant sows to compare the attractiveness and durability of slats made from four wood species: Scots pine, maple, beech, and oak. The trial lasted for three months, during which the duration that sows used each type of slat was measured weekly during a continuous two-hour and a half observation period. The degradation rate of the wood species was assessed based on how frequently the wooden slats needed to be replaced. Scots pine was used significantly more than the other three wood species. All objects were mainly chewed. As Scots pine is softer, it degraded more rapidly, which required six time more frequent replacement.

INTRODUCTION

Les éleveurs de porcs doivent mettre à disposition de tous leurs animaux, logés individuellement ou en groupe, des matériaux d'enrichissement qualifiés de sous optimaux, c'est-à-dire déformable ou destructible en matière comestible (Commission Européenne, 2016). De nombreux travaux ont été réalisés pour proposer des solutions pour les porcs à l'engrais, en s'interrogeant sur les comportements les plus exprimés (Bracke, 2006 ; Telkänranta *et al.*, 2014 ; Giuliotti *et al.*, 2019 ; Chou *et al.*, 2020), les matériaux les plus adaptés pour l'expression de ces comportements et leur durabilité (Courboulay, 2014 ; Chou *et al.*, 2019). Malgré tous ces nombreux travaux, très peu sont menées pour les truies (Horback *et al.*, 2016). Or les matériaux adaptés aux porcs à l'engrais ne le sont pas nécessairement pour les truies qu'elles soient en contention individuelle ou logées en groupe.

Les objectifs des études présentées sont de rechercher et tester des équipements ou de nouvelles solutions utilisables par les truies, en contention individuelle ou en groupe, en regardant leur attractivité pour les animaux et leur durabilité. Pour les truies logées en contention individuelle en verraterie, quatre objets différents ont été testés. Pour les truies en gestation, nous avons comparé quatre objets similaires en bois, différant par l'essence utilisée.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Essai 1 : truie en verraterie

1.1.1. Les animaux et les traitements

L'essai a eu lieu à la station expérimentale de l'IFIP (Romillé, 35). Trois bandes de 24 truies sont suivies au cours de toute la période de verraterie (4 semaines), soit 72 truies au total. Pour chaque bande les animaux sont répartis en blocs de quatre truies selon leur rang de portée. Chaque truie du bloc reçoit un objet différent. Les blocs sont répartis dans la salle afin de disposer certains objets entre deux truies de blocs différents.



Photo 1 – Les quatre solutions testées en verraterie, de gauche à droite : le cylindre, l'objet en caoutchouc, la pieuvre et le tasseur

Deux objets du commerce et deux prototypes sont testés (photo 1) : (i) un cylindre à mordiller en matière organique (Opti Mach), positionné à hauteur de groin et coulissant sur le tubulaire entre deux truies, (ii) un objet composé de tubes en caoutchouc (easyFix® pour truies), positionné entre deux truies à hauteur de groin entre les deux auge, (iii) une pieuvre composée de deux tasseaux de bois de chêne (7x7x15cm) fixés au sol par des chaînes (Courboulay, 2014) et placée entre deux truies à l'avant de la cage, (iv) un tasseur de bois de chêne (10x10x17 cm), coulissant autour du tubulaire situé au-dessus de l'auge.

Les objets d'enrichissement sont mis en place à l'entrée des animaux en verraterie. Tous les sept jours, ils sont remplacés par un autre type d'objet d'enrichissement, neuf, selon une

rotation préétablie, afin que chaque truie puisse utiliser les quatre objets différents. Si un objet est entièrement dégradé avant la fin de la semaine, il est remplacé par un objet neuf identique et la date de changement est notée.

1.1.2. Les mesures

Les objets sont pesés à leur mise en place et à leur retrait afin de déterminer la vitesse de dégradation. Pour les objets positionnés entre deux truies, la masse perdue est divisée par deux et attribuée aux deux truies. Le suivi comportemental est réalisé par séquences d'une heure selon la méthode de scan sampling avec une observation toutes les trois minutes. Les postures et les comportements relevés sont décrits dans le tableau 1. Pour chaque période d'une semaine, deux séquences ont lieu le lendemain de la mise en place des objets et deux autres la veille du changement d'objet ou de la fin de la période de verraterie pour la quatrième semaine. Les observations sont faites 30 minutes après la distribution des repas soit de 8h30 à 9h30 et de 14h30 à 15h30. Afin de favoriser l'expression de comportements actifs, les truies sont levées si nécessaire au démarrage de la séquence. Au total, 16 séances d'observation sont réalisées par bande.

Tableau 1 – Ethogramme des postures et comportements des truies des deux essais

| Postures | Debout | |
|---------------|---|--|
| | Couchée | |
| | Assise (<i>essai 1</i>) | |
| Comportements | Alimentation : Boit, mange, tête dans l'abreuvoir | |
| | Défécation : défèque ou urine | |
| | Inactif : Inactive les yeux ouverts ou repos | |
| | Investigation orientée vers l'objet : Mâche, flaire, soulève, pousse, lèche ou mord l'objet | |
| | Investigation orientée vers la cage ou le sol | |
| | Stéréotypie : Activité orale non alimentaire répétitive, à vide ou sur les barres de la cage | |
| | Interaction positive avec les congénères : Flaire, mordille ou contact physique sans réaction du congénère | |
| | Interaction négative avec les congénères : Combat, coup de tête, morsure, contact gueule ouverte | |
| | Autres : autres comportements non-décrits précédemment | |
| | Essai 1 (en verraterie) | Mâche : La truie mâche ou mord l'objet |
| | | Soulève : La truie soulève ou pousse l'objet avec son groin |
| | | Flaire : La truie flaire ou lèche l'objet |
| | | Inconnu : Dans le cas où la position de la truie ne laisse pas voir si elle est en contact avec l'objet, on considère un comportement "inconnu" si la tête de la truie est orientée vers l'objet, et que sa tête et / ou ses oreilles (le cas échéant, sa queue) sont en mouvement. |
| | Essai 2 (en gestante) | |
| | | |

1.1.3. Les analyses

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R (version 4.1.1). L'unité expérimentale est la truie au cours d'une séquence d'observation d'une heure. Pour chaque séquence d'observation, le pourcentage de scans correspondant à chaque type de posture et comportement observés est calculé pour chaque truie. Ces variables ne respectant pas une loi normale, des tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis (KW) sont

réalisés pour analyser les effets objet d'enrichissement, semaine en verraterie, bande, et rang (selon trois modalités : rang inférieur comportant les deux blocs de truies ayant les rangs les plus faibles ; rang médian comportant les deux blocs de truies ayant des rangs intermédiaires ; et rang supérieur comportant les deux blocs de truies ayant les numéros de rang les plus élevés). Lorsqu'un effet est significatif, des comparaisons sont faites deux à deux avec des tests de Wilcoxon. La dégradation du poids des objets n'a fait l'objet que d'analyses descriptives car la balance utilisée avait une précision à 5 g, et les moyennes des différences relevées sont entre 0 et 16 g.

1.2. Essai 2 : en gestante

1.2.1. Les animaux et les traitements

Les animaux étudiés sont des truies en gestation dans un grand groupe dynamique de 72 individus. Les animaux sont suivis pendant 12 semaines. Les objets sont des morceaux de bois dont les essences ont été choisies en considérant plusieurs critères de sélection : la répartition géographique de l'essence, idéalement présente en Bretagne ; la fissibilité du bois, pour éviter les essences à écharde ; la dureté, à dire d'expert ; et la disponibilité sur le marché. Les essences retenues sont le chêne, le hêtre, l'érable et le pin sylvestre. Les objets sont présentés sous forme de tasseaux de bois (7x7x16 cm) fixés au sol par une chaîne. Un objet de chacune des essences est présent dans la case. Les quatre objets sont répartis dans toute la case, hors des zones d'alimentation et de déjections. Ils sont déplacés d'un endroit à l'autre toutes les trois semaines pour éviter un effet de la position du tasseau dans la case. Ils sont alors remplacés par des objets neufs d'essence similaire lorsqu'ils sont presque ou totalement dégradés.

1.2.2. Les mesures

Afin de suivre la vitesse de dégradation des tasseaux, les dates de mise en place et de renouvellement des objets sont notées.

Un suivi comportemental hebdomadaire est réalisé par séquence d'observation de 2h30 en continu via des enregistrements vidéo. Dès qu'une truie manipule un objet, le temps passé en interaction avec cet objet est relevé selon l'éthogramme du tableau 1.

1.2.3. Les analyses

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R. La durée et la fréquence de chaque comportement par séquences d'observation sont analysées par un test de Kruskal-Wallis, puis un test de Wilcoxon pour les comparaisons deux à deux. Un temps d'utilisation cumulé de chaque objet est relevé pour chaque séquence d'observation par comportement mais également « global » en additionnant le temps cumulé des quatre comportements. Un taux d'utilisation est calculé en rapportant ce temps cumulé à la durée d'observation (2h30). Ce taux peut être supérieur à 100% si plusieurs truies ont utilisé l'objet simultanément. La variable temps d'utilisation, tous comportements confondus (nommée global), suit une loi normale après une transformation logarithmique. Une analyse de variance est réalisée en prenant en compte les effets essence de bois, position de l'objet dans la salle et date d'observation.

La même variable exprimée pour chaque comportement ne suit plus la loi normale. Des tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis sont réalisés par comportement pour comparer les quatre essences de bois. Des tests de Wilcoxon sont ensuite effectués deux à deux. Lors de deux séquences d'observation

un objet manipulable n'était pas présent car détruit. Ces deux séquences d'observation ont été retirées des analyses. Le nombre de remplacements de chaque type d'objet, à l'exclusion de celui lié à la rotation toutes les trois semaines, est utilisé comme indicateur de la dégradation des morceaux de bois.

2. RESULTATS

2.1. Essai 1, verraterie

Le suivi du poids des objets n'a pas montré de dégradation des matériaux après une semaine d'exposition aux truies. En effet, le cylindre et l'objet en caoutchouc ont des poids identiques avant et après exposition (respectivement 460 g et 1750 g). Les objets en bois se dégradent très légèrement : tasseau -16 g (soit 2,9 % du poids initial) et la pieuvre -15 g (2,6 %).

Le comportement le plus représenté au cours des observations est l'inactivité (37,4 % en moyenne globale). Il varie selon les bandes, les semaines, et le rang des truies, les rangs inférieurs étant les plus actifs (Tableau 2). Les comportements de stéréotypies sont fréquents et représentent 18,2 % de l'ensemble des comportements. Ils augmentent au cours des semaines ($P < 0,001$) et avec le rang ; les rangs inférieurs font moins de stéréotypies (13 %) que les rangs intermédiaires et supérieurs (20 % pour les deux catégories). Les comportements d'alimentation représentent 11,8 % des observations et varient selon les semaines, les bandes et le rang des truies. Les comportements sociaux, de déjection et autres comportements sont très faiblement représentés (respectivement 0,9 %, 0,1 % et 0,8 %).

Les analyses montrent des différences significatives selon le type d'objet pour le comportement d'investigation de la cage. Ce comportement s'exprime significativement plus lorsque les truies sont en présence d'un cylindre (26,4 %) que des trois autres objets (entre 22 % et 23,1 %). En distinguant ces résultats par bande, il n'y a plus de différence statistique entre les objets. Les truies des rangs inférieurs explorent plus la cage que les autres et ce, indépendamment de l'objet.

Il y a des différences significatives d'investigation de l'objet selon l'enrichissement : les truies explorent significativement plus les pieuvres (8,9 %) que les tasseaux (5,7 %) et les cylindres (3,9 %). Les objets en caoutchouc sont significativement plus explorés que les cylindres. La figure 1 indique une plus grande variabilité inter-individuelle sur l'utilisation de cet objet comparativement aux trois autres. Un effet bande a été montré. En distinguant les résultats par bande, l'effet persiste pour les bandes 1 (la pieuvre est significativement plus utilisée que les autres) et 3 (la pieuvre et l'objet en caoutchouc sont significativement plus utilisés que le cylindre).

L'investigation des objets varie selon les semaines. La première semaine, la pieuvre est plus utilisée (8 %) que le cylindre et l'objet en caoutchouc (moins de 2 %). Le tasseau a des résultats intermédiaires (3,5%). La deuxième semaine, la pieuvre est plus utilisée que le cylindre ou le tasseau. L'objet en caoutchouc est beaucoup plus utilisé en semaine 2 qu'en semaine 1 (14,5%) et son écart-type indique une très forte variabilité inter-individuelle : plusieurs truies utilisent l'objet plus de 70 % du temps au cours de toute la séquence d'observation. En semaine 3, l'objet en caoutchouc et la pieuvre sont significativement plus utilisés que le cylindre. Le Tasseau a des résultats intermédiaires. Les objets sont tous peu utilisés la dernière semaine en verraterie : en moyenne 6,3 % des observations. Il n'y a pas de différences significatives entre eux.

Tableau 2 – Taux (%) d’expression des comportements observés au cours de l’essai en verraterie, au global et par objet (moyenne et écart-type)

| | Global | Cylindre | Caoutchouc naturel | Pieuvre | Tasseau | Stat ¹ (Comparaison entre objet) |
|---------------------|-------------|----------------------------|--------------------|---------------|---------------|--|
| Alimentation | 11,8 ± 14,7 | 12,5 ± 15,9 | 12,0 ± 14,1 | 10,7 ± 12,4 | 12,1 ± 16,0 | S***, B***, R* |
| Inactive | 37,4 ± 29,2 | 35,8 ± 28 | 37,1 ± 30,3 | 36,9 ± 28,7 | 39,7 ± 29,9 | S***, B***, R** |
| Investigation cage | 23,5 ± 20,9 | 26,4 ± 21,7 a ² | 23,1 ± 21,8 b | 22,6 ± 19,7 b | 22,0 ± 20,1 b | O*, B***, R*** |
| Investigation objet | 7,2 ± 13,8 | 3,9 ± 7,1 a | 10,3 ± 20,3 bc | 8,9 ± 13,1 b | 5,7 ± 10,3 ac | O***, S***, B*, R*** |
| Social Négatif | 0,1 ± 1,1 | 0,1 ± 1,1 | 0,2 ± 1,0 | 0,2 ± 1,3 | 0,1 ± 0,6 | B**, R** |
| Social positif | 0,8 ± 2,3 | 0,7 ± 2,3 | 0,6 ± 1,9 | 0,9 ± 2,5 | 1,0 ± 2,5 | S**, R** |
| Stéréotypie | 18,2 ± 20,8 | 19,0 ± 20,1 | 16,1 ± 19,6 | 19 ± 22,1 | 18,6 ± 21,5 | S***, R*** |
| Urine | 0,1 ± 0,8 | 0,1 ± 0,8 | 0,1 ± 0,8 | 0,2 ± 1,0 | 0,1 ± 0,6 | R** |
| Autre | 0,8 ± 3,7 | 1,4 ± 5,7 | 0,5 ± 2,1 | 0,6 ± 2,5 | 0,7 ± 3,3 | R*** |

¹Test KW des effets de l’objet (O), de la semaine (S), de la bande (B) et du rang (R) ; signification : t=P<0,10, *=P<0,05, **=P<0,01.

²Deux lettres différentes indiquent une différence significative (p-value < 0,05) au test de Wilcoxon réalisé 2 à 2

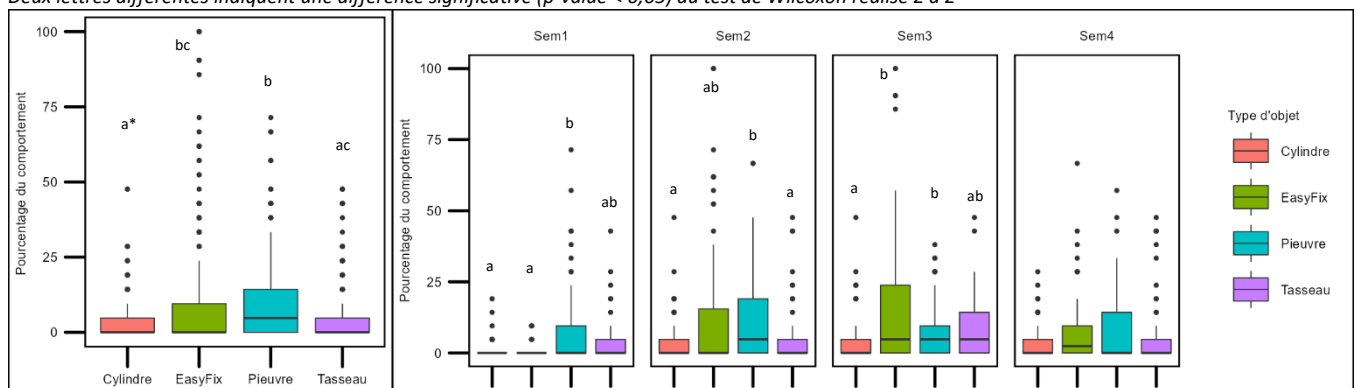


Figure 1 - Distribution des comportements d’investigation de l’objet au global (à gauche) et par semaine (à droite)

* Deux lettres différentes (a, b, c) indiquent une différence significative (P < 0,05) au test de Wilcoxon réalisé 2 à 2

2.2. Essai 2, en gestante

Les truies ont principalement utilisé les objets d’enrichissement debout (95 % du temps), quelle que soit l’essence de bois.

2.2.1. En temps cumulé au cours d’une observation

Les temps moyens d’utilisation des objets par séquence diffèrent en fonction des essences de bois (Tableau 3). En moyenne, les truies passent 7214s (2h 00min 14 s) à utiliser l’objet en pin sylvestre, ce qui est significativement plus que le

temps passé à utiliser les autres essences de bois. Les objets en pin sylvestre sont utilisés 80 % du temps de l’observation. Les autres essences de bois ne sont utilisées qu’un peu moins de 20 % du temps d’observation. Entre les objets en chêne, hêtre et érable il n’y a pas de différence significative. Il n’y a pas d’effet de la position dans la case ni du jour d’observation. Les truies expriment principalement le comportement « mâche » : 1571 s (26min et 18 s) par séquence d’observation. Les objets en pin sylvestre sont significativement plus mâchés que les objets d’autres essences de bois. Le comportement « inconnu » (interaction avec l’objet sans possibilité de définir précisément

Tableau 3 – Durée de comportements (en seconde) en cumulé sur une séquence d’observation et par comportement, et nombre d’occurrence des comportements (moyenne et écart-type)

| | Global | Chêne | Érable | Hêtre | Pin sylvestre | Stat | |
|------------------------------|-------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------|---------------|-------|
| Global (s) | 3074 ± 3175 | 1782 ± 1776 a | 1452 ± 1574 a | 1847 ± 1078 a | 7214 ± 3376 b | E1*** | |
| Taux d’utilisation % | 34,2 | 19,8 | 16,1 | 20,5 | 80,2 | (ETR= 1,001) | |
| Temps cumulé | Flaire | 71 ± 96 | 59 ± 28 | 97 ± 163 | 50 ± 63 | 81 ± 74 | ns |
| | Inconnu | 980 ± 1435 | 475 ± 596 a | 497 ± 630 a | 450 ± 601 a | 2638 ± 2073 b | **2 |
| | Mâche | 1571 ± 1730 | 800 ± 1030 a | 733 ± 738 a | 1156 ± 749 a | 3780 ± 2064 b | *** |
| | Soulève | 163 ± 214 | 225 ± 250 | 104 ± 175 | 121 ± 150 | 206 ± 266 | ns |
| Durée d’un comportement | Flaire | 10,9 ± 34,3 | 7,09 ± 6,87 a ⁴ | 15,3 ± 65,2 a | 8,17 ± 12,3 a | 14,4 ± 15,5 b | E***3 |
| | Inconnu | 64,4 ± 141 | 38,2 ± 57,6 a | 45,2 ± 69,1 a | 43,3 ± 60,4 a | 91,7 ± 195 b | E*** |
| | Mâche | 86,3 ± 140 | 64,2 ± 103 a | 56,8 ± 90,9 a | 56,3 ± 91,9 a | 127 ± 180 b | E*** |
| | Soulève | 31,4 ± 64,9 | 35,4 ± 63,7 | 21 ± 29,3 | 25,6 ± 33,5 | 43,5 ± 106 | ns |
| Occurrence d’un comportement | Flaire | 7,00 ± 3,89 | 8,1 ± 2,85 | 7,1 ± 3,14 | 7,2 ± 5,25 | 5,6 ± 4,06 | ns |
| | Inconnu | 17,3 ± 16,1 | 14,2 ± 14,3 a | 12,1 ± 9,45 a | 11,7 ± 9,03 a | 31,3 ± 21,3 b | E* |
| | Mâche | 19,7 ± 13,8 | 14,6 ± 9,22 a | 11,9 ± 8,33 a | 20,3 ± 17,1 ab | 31,9 ± 10,8 b | E** |
| | Soulève | 5,8 ± 4,06 | 6,9 ± 4,46 | 5,7 ± 4,45 | 5,4 ± 3,47 | 5,2 ± 4,24 | ns |

¹Analyse de variance comparant les essences prenant en compte l’effet essence de bois (E), position dans la case (P) et la date (D). ²Deux lettres différentes indiquent une différence significative entre les essences de bois (P < 0,05). ³Test KW des effets de l’essence de bois (E), position dans la case (P) et la date (D) ; signification : * = P < 0,05, ** = P < 0,01. ⁴Deux lettres différentes indiquent une différence significative (P < 0,05) au test de Wilcoxon réalisé 2 à 2.

la nature de l'interaction) est le deuxième comportement le plus observé. Il est significativement plus noté sur les objets en pin sylvestre que sur les autres. Les analyses ne montrent pas de différence significative entre essence de bois pour l'expression des comportements de flairage et de manipulation avec le groin (« soulève ») des objets.

2.2.2. Durée et fréquence des comportements

Tout objets confondus, chaque comportement flairage, inconnu, mâche et soulève durent en moyenne respectivement 10,9s, 64,4s, 86,3s et 31,4s (Tableau 3). Les comportements flairer, inconnu et mâche sont exprimés plus longtemps sur les objets en pin sylvestre que sur les autres essences de bois.

En moyenne sur 2h30 d'observation les comportements flairer, inconnu, mâche et soulève ont été relevés respectivement 7,00, 17,3, 19,7 et 5,8 fois par truie. Les analyses ne montrent pas de différence significative entre essence de bois pour les comportements flairer et soulève. Cependant le comportement mâche s'exprime plus fréquemment sur des objets en pin sylvestre que sur ceux en chêne et érable. Les objets en hêtre ont des résultats intermédiaires entre ceux du pin sylvestre et ceux de l'érable et du chêne. Le comportement « inconnu » s'exprime significativement plus sur les objets en pin sylvestre que sur les autres essences. Les objets en chêne et érable ont la longévité la plus longue (respectivement 15 j et 18 j, Tableau 4). Seulement deux objets de ces essences ont dû être remplacés au cours d'un cycle de rotation. Les objets en pin sylvestre ont une longévité très limitée face à des truies. En moyenne ils sont totalement détruits ou remplacés au bout de 3 j. En 12 semaines, 24 objets en pin sylvestre ont été utilisés. Les objets en hêtre ont des longévité plus courtes (en moyenne 6 j) que ceux en chêne et érable.

Tableau 4 – Longévité et nombre de remplacement des tasseaux de bois selon l'essence

| Essence de bois | Longévité moyenne d'un tasseau (jours) | Nombre de remplacement sur 21 jours |
|-----------------|--|-------------------------------------|
| Chêne | 15 | 2 |
| Érable | 18 | 2 |
| Hêtre | 6 | 9 |
| Pin sylvestre | 3 | 24 |

3. DISCUSSION

3.1. Matériaux pour truies en contention

Les truies de l'étude sont actives lors de plus de 60 % des observations ce qui correspond aux observations réalisées par Bergeron *et al* (2000). Le choix de réaliser l'observation 30 min après le repas et stimuler l'activité des truies au démarrage des observations a favorisé l'apparition de comportements actifs qui sont habituellement moins présents pour une truie (Bertin et Ramonet, 2015). L'effet rang de portée démontré par Cariolet et Dantzer (1984) et Rushen (1985) s'est confirmé. La fréquence d'apparition de comportements stéréotypiques est élevée : 18,2 %. L'une des principales raisons de leur apparition est la frustration alimentaire (Fraser, 1975 ; Stolba *et al.*, 1983), il s'exprime donc plus fréquemment à la suite des repas. Cette frustration engendre une plus grande exploration de leur environnement (Terlouw *et al.*, 1991), principalement de la cage dans notre essai mais aussi des objets d'enrichissement.

Dans notre étude, l'utilisation des objets d'enrichissement représente en moyenne 7,2 % des observations mais varie en fonction des objets. Le cylindre est l'objet le moins utilisé des

quatre et ce chaque semaine. Sa dureté et son épaisseur (8 cm) ne facilite pas la saisie de l'objet dans la bouche de la truie et sa dégradation ce qui est préférable pour être manipulé (Bracke, 2006 ; Studnitz *et al.*, 2007). N'étant pas fixé sur un tubulaire vertical sur le côté de la cage, il peut partir vers l'arrière et devenir difficilement accessible pour les truies les plus longues qui ne peuvent reculer. Le tasseau positionné devant la truie avait pour objectif d'être facilement accessible pour l'éleveur et la truie. Il ressemble en termes de nature, de forme et d'accessibilité aux madriers en bois verticaux observés en élevage. Les résultats de l'essai montre qu'il est utilisé de façon modérée. Sa nature en bois, dégradable par les truies, aurait pu le rendre plus attractif. Mais son épaisseur (10x10 cm), nécessaire pour pouvoir y passer le tubulaire de la cage, ne facilite pas la saisie de l'objet dans la gueule des truies.

Tableau 5 – Propriétés physiques et mécaniques de différentes essences de bois européennes

| Essence | Dureté Monnin | Densité | Contrainte de rupture en compression axiale |
|--------------------|---------------|---------|---|
| Pin sylvestre | 2,6 | 0,55 | 50 |
| Acacia mangium | 3,1 | 0,52 | 46 |
| Noyer | 3,2 | 0,66 | 64 |
| Mélèze | 3,8 | 0,60 | 52 |
| Chêne | 4,2 | 0,74 | 58 |
| Hêtre | 4,2 | 0,71 | NA |
| Merisier | 4,3 | 0,60 | 50 |
| Erable | 4,7 | 0,64 | 55 |
| Acajou caillédurat | 5,9 | 0,78 | 54 |

Horback *et al* (2016) ont également testé l'attractivité des objets en caoutchouc comparativement à de la corde naturelle et du bois sur des truies mais en gestation libre. Comme dans notre essai, l'objet en caoutchouc naturel est en moyenne très investigué. Dans leur étude, des différences inter cases plus importantes avec cet objet qu'avec l'objet en bois sont notées. Ce résultat appuie les fortes différences inter-individuelles de notre essai. Au cours des observations, le comportement de mordillement de l'objet en caoutchouc était noté comme de l'investigation. Pourtant, il ressemblait également au comportement stéréotypique de « mâchage des tubulaires » mais exprimé sur les tétines de l'objet (Terlouw *et al.*, 1991). Cet objet a peut-être été un support d'expression de stéréotypies pour certaines truies et en particulier celles qui l'utilisent de façon extrême. La Pieuvre est l'objet le plus attractif car elle possède deux propriétés importantes pour faciliter l'expression des comportements d'exploration : elle est en matière déformable et destructible et elle est au sol donc plus facile d'accès même en position allongée (Bracke, 2006 ; Studnitz *et al.*, 2007 ; Courboulay, 2014). Pour autant sa position ne facilite pas sa surveillance et son renouvellement par l'éleveur.

3.2. Objets en bois en gestation

En proposant des objets d'essences de bois différentes, l'attractivité pour ces objets varie. A partir de propriétés physiques et mécaniques proposées par le CIRAD en open source sur Tropix (Gérard *et al.*, 2011), les différentes essences de bois ont pu être catégorisées selon leur dureté de Monnin, leur densité et la contrainte de compression axial (Tableau 5). En considérant ces trois propriétés, le chêne, l'érable et le hêtre semblent avoir des propriétés similaires contrairement au pin sylvestre. Comme pour les porcs en engraissement (Chou *et al.*, 2018 ; Nannoni *et al.*, 2018 ; Chou *et al.*, 2020), le suivi de l'utilisation des objets met de nouveau en lumière que les objets déformables sont préférés car le pin sylvestre est

significativement plus utilisé que les autres essences. Comme observé par Courboulay (2014), l'activité de mâchonnement est prédominante dans l'utilisation des objets, indépendamment de l'essence de bois. Sans considérer le comportement « inconnu », cela représente 87 % du temps cumulé d'utilisation des objets. En détaillant par essence, une truie mâche deux fois plus longtemps un tasseau en pin sylvestre et va répéter ce comportement deux fois plus souvent qu'avec une autre essence. Chou *et al* (2020) ne montrent pas de différences significatives entre le pin sylvestre et le hêtre utilisés dans leur essai, et les objets en épicéa sont les plus utilisés.

La conséquence de cette forte sollicitation et d'être plus tendre entraîne un renouvellement très fréquent des objets en pin sylvestre. Leur longévité moyenne est de 3 jours dans l'essai. Chou *et al* (2020) a également observé que l'épicéa, plus tendre, est renouvelé plus fréquemment. Dans notre étude, les tasseaux de bois étaient usinés de façon identique par un menuisier pour des raisons expérimentales, leur prix n'est donc pas représentatif. Ils coutaient à l'unité : 20 € pour le pin sylvestre, 22 € le hêtre et l'érable, et 30 € le chêne. En prenant en compte le renouvellement des objets, ce sont les objets en pin sylvestre qui sont les plus coûteux, avec un total de 480 €. Cependant, le bois reste une alternative intéressante économiquement car les tasseaux de bois non traités provenant du commerce sont très présents et moins chers sur le marché, l'entretien des haies peut fournir des matériaux à moindre coût et c'est une matière facile à usiner. De plus il n'y avait que quatre objets pour 72 truies dans notre essai, soit un objet pour 18 truies. La multiplication de tasseaux devrait réduire la forte utilisation d'un seul objet pour autant de truies.

L'analyse des propriétés physiques et mécaniques des essences de bois permet d'identifier d'autres essences de bois

disponibles en France (Gérard *et al.*, 2011). Certaines comme le merisier, le mélèze, l'acacia mangium ou le noyer pourraient être des essences de duretés intermédiaires entre les bois durs testés (chêne, érable, hêtre) et tendres (pin sylvestre). Cette hypothèse est cohérente avec les résultats de Chou *et al* (2018) qui montrent une attractivité similaire entre le pin sylvestre et le mélèze utilisé. Pour autant la dureté varie également au sein d'une même espèce en fonction de la zone géographique d'origine et des conditions climatiques (Gérard *et al.*, 2011).

CONCLUSION

La taille de l'objet et sa dureté sont des éléments clés pour l'expression du comportement d'investigation des truies. Les objets en bois de dimensions adaptées sont des solutions efficaces, que les truies soient libres ou en contention. Les essences les plus tendres sont les plus attractives mais doivent être renouvelées plus fréquemment. Les objets en caoutchouc naturel semblent également être une piste intéressante pour proposer un objet déformable et durable pour les truies. Néanmoins, pour qu'un objet d'enrichissement soit utilisé en élevage il doit également être facile d'accès pour les animaux mais aussi pour les éleveurs. Des essais sont à poursuivre pour améliorer le design et les possibilités de fixation des matériaux afin de répondre aux enjeux de praticité de leur mise en place.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par INAPORC. Les auteurs remercient Laurent Catheloux pour son expertise sur les essences de bois et le personnel de la station Expérimentale de l'IFIP.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bergeron R., Bolduca J., Ramonet Y., Meunier-Salaün M.-C., Robert S., 2000. Feeding motivation and stereotypies in pregnant sows fed increasing levels of fibre and/or food. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 70, 27-40.
- Bertin C., Ramonet Y., 2015. Utilisation d'accéléromètres pour mesurer l'activité physique des truies logées en groupes. Développement de la méthode et utilisation dans six élevages. *Journées Rech. Porcine*, 47, 229-234.
- Bracke M., 2006. Expert opinion regarding environmental enrichment materials for pigs. *Anim. Welfare*, 15, 67-70.
- Cariolet R., Dantzer R., 1984. Motor activity of pregnant tethered sows. *Ann. Rech. Vet.*, 15, 257-261.
- Chou J.-Y., D'Eath R., Sandercock D., Waran N., Haigh A., O'Driscoll K., 2018. Use of different wood types as environmental enrichment to manage tail biting in docked pigs in a commercial fully slatted system. *Livest. Sci.*, 213, 19-27.
- Chou J.-Y., Drique C., Sandercock D., D'Eath R., O'Driscoll K., 2019. Rearing undocked pigs on fully slatted floors using multiple types and variations of enrichment. *Animals*, 9, 139.
- Chou J.-Y., D'Eath R., Sandercock D., O'Driscoll K., 2020. Enrichment use in finishing pigs and its relationship with damaging behaviours: comparing three wood species and a rubber floor toy. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 224, 104944.
- Courboulay V., 2014. Intérêt des matériaux manipulables pour les porcs à l'engraissement : bilan des travaux réalisés par l'IFIP. *Les Cahiers de l'IFIP*, 1, 47-56.
- European Commission, 2016. Commission Recommendation (EU) 2016/336 of 8 March 2016 on the application of Council Directive 2008/120/EC laying down minimum standards for the protection of pigs as regards measures to reduce the need for tail-docking, Official J Europ Union.
- Fraser D., 1975. The effect of straw on the behaviour of sows in tether stalls. *Anim. Prod.*, 21, 59-68.
- Gérard J., Guibal D., Paradis S., Vernay M., Beauchêne J., Brancheriau L., Châlon I., Daigremont C., Détienne P., Fouquet D., Langbour P., Lotte S., Thévenon M.-F., Méjean C., Thibaut A., 2011. Tropix 7 (Version 7.5.1) [Computer software]. CIRAD.
- Giulioti L., Benvenuti M.N., Giannarelli A., Mariti C., Gazzano A., 2019. Effect of different environment enrichments on behaviour and social interactions in growing pigs. *Animals*, 9, 101.
- Horback K., Meghann P., Thomas P., 2016. Behavioral preference for different enrichment objects in a commercial sow herd. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 184, 7-15.
- Nannoni E., Sardi L., Vitali M., Trevisi E., Ferrari A., Ferri M., Bacci M., Govoni N., Barbieri S., Martelli G., 2018. Enrichment devices for undocked heavy pigs: effects on animal welfare, blood parameters and production traits. *Ital. J. Anim. Sci.*, 18, 45-56.
- Stolba A., Baker N., Wood-Gush D., 1983. The characterisation of stereotyped behaviour in stalled sows by informational redundancy. *Behaviour*, 87(3-4), 157-182.
- Studnitz M., Jensen M., Pedersen L., 2007. Why do pigs root and in what will they root? *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 107, 183-197.
- Rushen J.-P., 1985. Stereotypies, aggression and the feeding schedules of tethered sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 14, 137-147.
- Telkänranta H., Bracke M.B.M., Valros A., 2014. Fresh wood reduces tail and ear biting and increases exploratory behaviour in finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 161, 51-59.
- Terlouw E., Lawrence A., Illius A., 1991. Influences of feeding level and physical restriction on development of stereotypies in sows. *Anim. Behav.*, 42, 981-991.



Effet de la superficie des cases de mise-bas, des cases ascenseurs et des cases bien-être sur les performances zootechniques en maternité

Gabrielle DUMAS et Sébastien TURCOTTE

Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ), 815 Rte Marie-Victorin, G7A 3S6, Québec, Canada

gdumas@cdpq.ca

Effet de la superficie et du type de case de mise-bas sur les performances zootechniques en maternité

L'objectif de cette étude était d'évaluer différents types de logements sur les performances zootechniques de truies en lactation. Trois types de cases de différentes superficies (sept traitements) ont été testés sur 608 portées à la maternité de recherche et de formation du CDPQ (Québec, Canada), soit la case conventionnelle (CONV : 1,52×2,17 m (A) ; 1,76×2,17 m (B) ; 1,76×2,44 m (C) ; 1,76×2,64 m (D)), la case ascenseur (ASC : 1,52×2,17 m (A) ; 1,76×2,64 m (D)) et la case bien-être (BEA : 2,59×2,59 m (E)). Aucun effet du type de case n'a été observé sur le nombre de nés vivants ou de mort-nés. La mortalité totale des porcelets a été influencée par le type de case (CONV = 11,3 % ; ASC = 12,0 % ; BEA = 17,8 % ; $P < 0,01$), mais n'a pas été affectée par leur superficie. Plus spécifiquement, le pourcentage d'écrasés a été affecté par le type (CONV = 35,0 % ; ASC = 24,6 % ; BEA = 49,2 % ; $P < 0,001$) et par la superficie des cases : une augmentation de la superficie tend à diminuer les écrasements. Le nombre de sevrés est plus faible pour BEA (12,1 sevrés ; $P < 0,01$) comparativement à CONV et ASC (respectivement 12,6 et 12,7 sevrés). Le gain moyen quotidien (GMQ) des porcelets est inférieur pour ASC (CONV = 247 g/jour ; ASC = 221 g/jour ; BEA = 246 g/jour ; $P = 0,001$), tandis que l'augmentation de la superficie dégrade le GMQ. Dans un contexte de recherche, aucun effet n'est noté sur le nombre de sevrés pour les cases ascenseurs comparativement aux cases conventionnelles, tandis que le nombre de sevrés est réduit dans les cases bien-être en raison d'une mortalité par écrasement exacerbée.

Effect of different sizes and types of farrowing crates on lactating sows and piglets

The objective of this study was to assess different housing options for lactating sows. Three types of crates of different sizes (seven treatments) were tested on 608 litters at the CDPQ research and education sow barn in Quebec, Canada. They included a conventional crate (CONV: 1.52×2.17 m (A); 1.76×2.17 m (B); 1.76×2.44 m (C); 1.76×2.64 m (D)), a lift crate (LIFT: 1.52×2.17 m (A); 1.76×2.64 m (D)), and a well-being pen (WELL: 2.59×2.59 m (E)). No difference was observed in the number of live born or stillbirths. Total piglet mortality was influenced by the type of crate (CONV = 11.3 %; LIFT = 12.0 %; WELL = 17.8 %; $P < 0.01$) but not by its size. More specifically, the percentage of crushed piglets was influenced by both the type (CONV = 35.0 %; LIFT = 24.6 %; WELL = 49.2 %; $P < 0.001$) and size of the crate: larger crates tended to have fewer crushing losses. The number of weaned piglets was lower for WELL (12.1 weaned; $P < 0.01$) than for CONV (12.6 weaned) and LIFT (12.7 weaned). The average daily gain (ADG) was lower with LIFT (CONV = 247 g/day; LIFT = 221 g/day; WELL = 246 g/day; $P = 0.001$), while enlarging the crate size decreased the ADG. In a research context, no effect is observed on the number of weaned piglets for lift crate compared to conventional crate, while the number of weaned piglets is reduced in welfare pens due to exacerbated crushing losses.

INTRODUCTION

Ces dernières années, la sélection génétique et les avancées sur la conduite de reproduction ont permis d'améliorer significativement la taille des portées à la naissance. Cependant, une corrélation directe avec le nombre de porcelets sevrés n'est pas remarquée (Huby *et al.*, 2003). Les pertes d'animaux en pré-sevrage sont très élevées, entraînant des répercussions économiques importantes pour les producteurs (Baxter *et al.*, 2011a). En raison de l'augmentation du nombre de nés vivants, les porcelets disposent d'un espace réduit dans la case de mise-bas. La proximité plus élevée entre la truie et les porcelets peut conséquemment accroître le risque de mortalité par écrasement.

Au Québec, la majorité des cases de mise-bas conventionnelles respectent l'ancien standard de 1,52 × 2,17 m. Ayant été installés il y a plusieurs années, ces équipements atteignent leur fin de vie utile et devront être remplacés dans les années à venir. Afin de contrer le manque d'espace à la fois pour la truie et pour les porcelets, ainsi que de tenter de réduire la mortalité de ces derniers, un nouveau standard de case conventionnelle de 1,76 × 2,44 m s'est imposé sur le marché. Cependant, les effets des différentes tailles de cases sur les performances zootechniques et sur la mortalité des porcelets sont méconnus. En effet, comme plusieurs facteurs affectent les performances zootechniques et la mortalité des porcelets (Baxter *et al.*, 2011b), un nombre restreint d'études ont validé spécifiquement l'impact de la grandeur des cases en lactation.

De plus, dans les dernières années, deux nouveaux types de cases de mise-bas ont fait leur apparition en remplacement de la case conventionnelle, soit la case ascenseur et la case bien-être. La structure de la case ascenseur est très similaire à celle de la case conventionnelle, à l'exception du plancher situé directement sous la truie. La case ascenseur s'ajuste en fonction de la position de la truie grâce à un capteur situé sur les barreaux de la cage. Quand la truie s'assoit ou se lève, le plancher situé sous la truie s'élève alors d'environ 20 cm, empêchant les porcelets de huit jours d'âge et moins de se réfugier sous leur mère. Ce système permettrait ainsi de réduire la mortalité par écrasement des porcelets (Poilvet, 2005 ; Labbe, 2012). La case bien-être permet quant à elle de restreindre ou de libérer la truie, selon la période de lactation ou les manipulations à effectuer, afin de lui offrir une plus grande amplitude de mouvement (Goumon *et al.*, 2022). Ce type de logement permet de répondre à une demande grandissante de la part des consommateurs en matière de bien-être animal, ainsi que de respecter les demandes législatives présentes dans certains pays pour l'abandon de la contention des animaux (Lambertz *et al.*, 2015 ; Pairis-Garcia, 2015).

Parmi les techniques d'élevage pouvant être mises en place pour limiter les conséquences négatives de l'hyperprolificité des truies, le remplacement des cases de mise-bas conventionnelles par un autre type de case, ainsi qu'une case de superficie plus élevée doivent donc être analysés.

L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets de trois types de cases de mise-bas (conventionnelle, ascenseur, bien-être) de différentes superficies sur les performances zootechniques des truies en lactation.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Traitements expérimentaux

Sept traitements ont été testés à la maternité de recherche et de formation du CDPQ (Armagh, Québec, Canada), soit trois types de cases de mise-bas de différentes superficies :

- Conventionnelle (CONV) : 1,52 × 2,17 m (A), 1,76 × 2,17 m (B), 1,76 × 2,44 m (C), 1,76 × 2,64 m (D) ;
- Ascenseur (ASC) : 1,52 × 2,17 m (A), 1,76 × 2,64 m (D) ;
- Bien-être (BEA) : 2,59 × 2,59 m (E).

L'espace disponible (cage) pour la truie était identique entre les traitements (0,62 × 2,14 m), sauf dans la case BEA après l'ouverture de celle-ci. Afin de mimer les habitudes de l'industrie, la plateforme des cases ASC était en fonction dès l'entrée en mise-bas, et ce, jusqu'au sevrage. L'ouverture des cages BEA était effectuée cinq jours après la mise-bas.

La maternité de recherche et de formation du CDPQ est conduite en cinq bandes et le sevrage des porcelets est réalisé à 20 j ± 2,2 jours. Les porcelets ont été pesés à la naissance et au sevrage. Les informations concernant le déroulement de la mise-bas ont été notées : date, nés vivants, momifiés, mort-nés, interventions, etc. Les porcelets dont le poids était inférieur à 700 g à la naissance ont été euthanasiés. Pour les mortalités des porcelets, la cause, la date ainsi que le poids ont été notés. Des adoptions ont été réalisées entre tous les traitements dans les 24 premières heures dans le but d'égaliser le nombre de porcelets par portée. Le poids des porcelets morts, adoptés et retirés était considéré dans les calculs de gain de portée. La castration des mâles et la coupe de la queue de tous les porcelets ont été effectuées à trois jours d'âge, en injectant au même moment un mélange de fer soluble et d'un analgésique. Aucun animal n'a reçu d'aliment complémentaire. Aucune truie nourrice n'a été utilisée durant la lactation pour tenter de sauver les porcelets décrocheurs ou amaigris. Les porcelets n'avaient pas de point d'eau dédié, mais l'eau de la truie était accessible via un bol à niveau constant.

Les truies ont été pesées et une mesure de lard dorsal au site P2 (Sonoptek, Chine) a été réalisée à l'entrée en salle de mise-bas ainsi qu'au sevrage. La différence de poids en lactation a été calculée selon l'équation de Dourmad *et al.* (2001), soit le poids de la truie au sevrage moins le poids de la truie à l'entrée en mise-bas, auquel le contenu utérin a été retiré. L'aliment de la truie était distribué par l'automate Gestal Quattro (JYGA Technologies, Saint-Lambert-de-Lauzon, Canada) et ce système mesurait en continu la consommation alimentaire journalière des truies. Au besoin, les animaux malades ont été traités selon le protocole pharmacologique en vigueur.

L'essai s'est déroulé d'avril à septembre 2022, soit sur cinq bandes. Un total de 608 portées (unité expérimentale) a été suivi. Les truies ont été allotées aux différents traitements selon une approche aléatoire appariée.

1.2. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec les packages lme4 (Bates *et al.*, 2015) et emmeans (Lenth, 2023) du logiciel R (R Core Team, 2022). Pour la plupart des variables expliquées testées, un modèle linéaire d'analyse de variance mixte (i.e. avec effets fixes et aléatoires) a été construit. Lorsque la variable expliquée était une proportion (ex : morts écrasés/nés vivants, mort-nés/nés totaux), un modèle linéaire généralisé a été appliqué. Les effets fixes sont les traitements (type et superficie) et le rang de portée ; la bande était considérée

comme un effet aléatoire. La méthode d'ajustement de Tukey a été utilisée pour les comparaisons multiples entre les traitements. Comme il y a un intérêt particulier à évaluer l'effet de la case ascenseur par rapport à la case conventionnelle, le contraste suivant a aussi été testé :

$$\frac{(ASC-A + ASC-D)}{2} - \frac{(CONV-A + CONV-D)}{2} \quad [1]$$

Les valeurs ont été considérées comme significatives à $P < 0,05$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Déroulement de la mise-bas

Le type ainsi que les superficies des cases de mise-bas ont eu peu d'effets sur les différents paramètres liés au déroulement de la mise-bas (Tableau 1). Aucune différence significative n'a été notée pour le nombre de porcelets nés vivants, avec des moyennes respectives de 14,2, 14,4 et 14,6 porcelets pour les cases CONV, ASC, et BEA. Le poids de portée des nés vivants était similaire entre les traitements, quel que soit le type ou la superficie de la case.

La proportion de porcelets mort-nés était également similaire entre les différents types de cases, avec un taux moyen de 7,2 %. Aucune différence significative n'a été notée pour l'influence de la superficie de la case de mise-bas. Cependant, en comparant uniquement les cases ASC et CONV de même superficie (A et D), la proportion de mort-nés est significativement plus élevée avec les cases ASC que CONV (8,5 % et 7,1 % respectivement ; $P = 0,004$). Costa *et al.* (2022)

ont noté une augmentation de la concentration en cortisol capillaire chez les truies en case ASC contrairement aux truies logées en cases CONV. Durant la mise-bas, une augmentation du cortisol cause une diminution des niveaux d'ocytocine en circulation, engendrant une durée de mise-bas plus longue et des intervalles de naissance allongés. Conséquemment, le taux de mort-nés est susceptible d'augmenter lorsque le niveau de stress est plus élevé chez la truie (Oliviero *et al.*, 2008 ; Gourley *et al.*, 2020). L'augmentation du stress durant la mise-bas pour les truies logées en case ASC pourrait ainsi contribuer à l'augmentation de la proportion de mort-nés comparativement aux cases CONV de même superficie.

2.2. Mortalité des porcelets

2.2.1. Taux de mortalité naissance-sevrage

La mortalité totale naissance-sevrage était influencée significativement par le type de case, mais pas par la superficie de la case (Tableau 1). Le taux de mortalité des porcelets durant la lactation était en moyenne de 12,2 % (11,3 % pour CONV, 12,0 % pour ASC et 17,8 % pour BEA). Il est significativement supérieur pour la case BEA ($P < 0,01$), mais similaire entre les autres traitements. La diminution de la protection des porcelets, via une libération de la truie dans la cage BEA, cause ainsi une augmentation de leur mortalité durant la lactation.

La mortalité plus élevée des porcelets dans les cases BEA comparativement aux cases CONV utilisées dans cet essai est similaire aux résultats de l'étude de Chidgey *et al.* (2015), où les auteurs ont noté que le taux de mortalité des porcelets était 40,4 % plus élevé dans les cases BEA que dans les cases CONV.

Tableau 1 – Performances zootechniques des truies et des porcelets durant l'essai¹

| Variables, unité | CONV ² | | | | ASC | | BEA | ETR ³ |
|---|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | A | B | C | D | A | D | E | |
| | (1,52 x 2,17 m) | (1,76 x 2,17 m) | (1,76 x 2,44 m) | (1,76 x 2,64 m) | (1,52 x 2,17 m) | (1,76 x 2,64 m) | (2,59 x 2,59 m) | |
| | N ⁴ = 70 | N = 70 | N = 72 | N = 72 | N = 69 | N = 209 | N = 46 | |
| Déroulement MB | | | | | | | | |
| Nés vivants (Nv), nb/portée | 14,3 | 13,7 | 14,0 | 14,4 | 14,4 | 14,3 | 14,5 | 3,4 |
| Poids portée naissance Nv, kg | 20,8 | 19,2 | 19,6 | 20,2 | 20,6 | 19,8 | 20,7 | 4,0 |
| Mort-nés, %/nés totaux | 5,6* | 5,7 | 7,3 | 6,0* | 7,8* | 7,7* | 6,9 | |
| Mortalités | | | | | | | | |
| Taux de mortalité naissance-sevrage, %/nv | 11,6 ^a | 11,3 ^a | 9,9 ^a | 10,9 ^a | 11,4 ^a | 12,3 ^a | 18,0 ^b | |
| Taux de mortalité par écrasement, %/nv | 4,0 ^{a,b*} | 4,2 ^b | 3,0 ^{a,b} | 3,6 ^{a,b*} | 3,0 ^{a,b*} | 2,4 ^{a*} | 9,2 ^c | |
| Proportion mortalité écrasement, % | 34,8 ^{b,c*} | 38,0 ^{b,c} | 29,9 ^{a,b} | 33,1 ^{b,c*} | 22,2 ^{a,b*} | 19,5 ^{a*} | 51,2 ^c | |
| Sevrés et gain de poids porcelets | | | | | | | | |
| Sevrés, nb/portée | 12,7 ^{a,b} | 12,8 ^{a,b} | 13,1 ^a | 12,9 ^a | 13,0 ^a | 12,8 ^a | 12,0 ^b | 1,4 |
| Gain portée naissance-sevrage, kg | 59,3 | 60,8 | 60,6 | 60,6 | 59,3 | 58,1 | 59,3 | 9,7 |
| Gain moyen quotidien, g/jour | 244 ^{a*} | 246 ^a | 243 ^{a,b} | 240 ^{a,b*} | 232 ^{a,b*} | 230 ^{b*} | 247 ^a | 31 |
| Truies | | | | | | | | |
| Durée de la lactation, j | 19,6 | 20,1 | 19,7 | 20,2 | 20,1 | 19,9 | 19,8 | 2,0 |
| Différence lard dorsal lactation, mm | -2,3 | -2,5 | -2,5 | -2,2 | -2,5 | -2,4 | -2,2 | 1,9 |
| Différence poids lactation, kg | 1,6 | 1,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 9,8 |
| Consommation alimentaire mise-bas-sevrage, kg | 132,7 | 136,5 | 135,0 | 138,9 | 132,6 | 132,9 | 136,7 | 20,8 |
| Proportion intervalle sevrage-saillie > 10 jours, % | 12,3 | 12,5 | 11,6 | 10,1 | 14,0 | 13,6 | 23,6 | |

¹ Les résultats présentés dans ce tableau correspondent aux moyennes ajustées (LS-means) et peuvent différer des moyennes arithmétiques présentées dans le texte. Les lettres a, b, c dans une ligne présentent une différence significative à $P < 0,05$.

² Un astérisque (*) indique une différence significative entre le contraste CONV et ASC, soit en comparant les mêmes superficies (A et D) (Équation [1]).

³ Écart-type résiduel (pas calculé pour les régressions logistiques).

⁴ N correspond au nombre de portées suivies par traitement durant l'essai.

2.2.2. Cause de mortalité des porcelets

Pour tous les traitements, l'écrasement était la principale cause de mortalité des porcelets, soit 30,9 % de la mortalité naissance-sevrage (Figure 1). Dans cette étude, les mortalités par faiblesse ou de porcelets amaigris correspondaient à la deuxième cause de mortalité (28,6 %), tandis que l'euthanasie en raison du faible poids à la naissance (< 700 g) représentait 24,1 % des mortalités. Ainsi, une proportion importante des mortalités, dans le cadre de cet essai, ne sont pas attribuables aux écrasements. La méthodologie utilisée dans cette étude (ex : absence d'aliment complémentaire, nourrice, etc.) a pu contribuer à exacerber les autres causes de mortalité.

Les mortalités de porcelets par écrasement ont été influencées par le type de case, mais également par leur superficie (Tableau 1). Elles sont significativement supérieures pour les cases BEA, comparativement aux cases CONV ou ASC ($P < 0,01$). Pour les cases BEA, 49,2 % des porcelets morts ont été écrasés, comparativement à une moyenne de 35,0 % pour les cases CONV et 24,6 % pour les cases ASC. La majorité des mortalités dans les cases CONV et ASC sont ainsi attribuables à une cause différente de l'écrasement. KilBride *et al.* (2012) ont aussi montré que les porcelets en case BEA sont plus susceptibles de mourir écrasés tandis que dans les cases CONV et ASC les porcelets sont plus à risques de mourir d'une autre cause.

En ce qui concerne la taille des cases plus spécifiquement, il semble qu'une augmentation de la superficie des cases permette de diminuer numériquement le taux de mortalité par écrasement des porcelets, sans toutefois que cette différence soit statistiquement significative (Tableau 1).

Pour ce qui est de l'effet des cases ASC sur les mortalités par écrasement, une réduction significative peut être notée par rapport aux cases CONV ($P = 0,015$). L'utilisation de la case ascenseur peut ainsi permettre de diminuer la mortalité par écrasement, sans toutefois que ce résultat soit reflété sur le taux de mortalité total dans cette étude. Les techniques d'élevage utilisées à la maternité de recherche et de formation du CDPQ, telles que l'absence d'aliment complémentaire ou de truie nourrice, ont pu influencer ces résultats. Des techniques commerciales permettant de sauver les porcelets faibles pourraient contribuer à diminuer également le taux de mortalité total. À titre d'exemple, l'étude de Ter Beek et Burgin (2015) a démontré que l'utilisation des cases ASC en mise-bas permettait de sevrer entre 0,4 et 1,0 porcelet de plus par portée en diminuant les mortalités par écrasement.

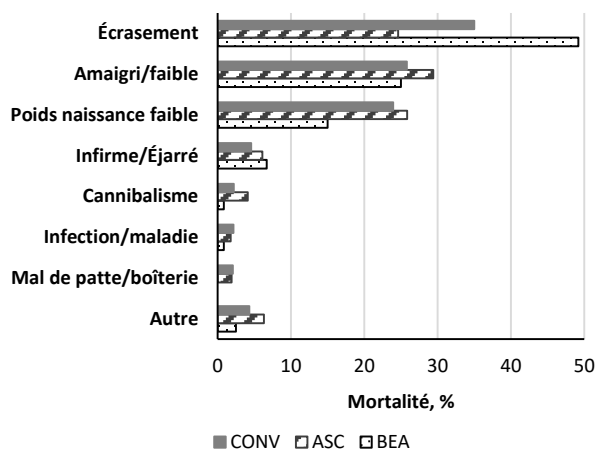


Figure 1 – Répartition des causes de mortalité naissance-sevrage des porcelets (%) selon le type de case de mise-bas (CONV : conventionnelle, ASC : ascenseur, BEA : bien-être). Les différentes superficies des CONV et ASC ont été regroupées.

2.2.3. Mortalité des porcelets selon le jour de lactation

Le jour de lactation influence de manière importante le taux de mortalité des porcelets (Figure 2). Globalement, 69,0 % de la mortalité est survenue entre la mise-bas (J0) et les trois premiers jours de vie (J0 à J3), tandis que 49,7 % de la mortalité est survenue avant le deuxième jour de lactation (J0 et J1). Pour les trois types de cases de mise-bas, la majorité de la mortalité des porcelets est ainsi survenue durant les trois premiers jours de lactation.

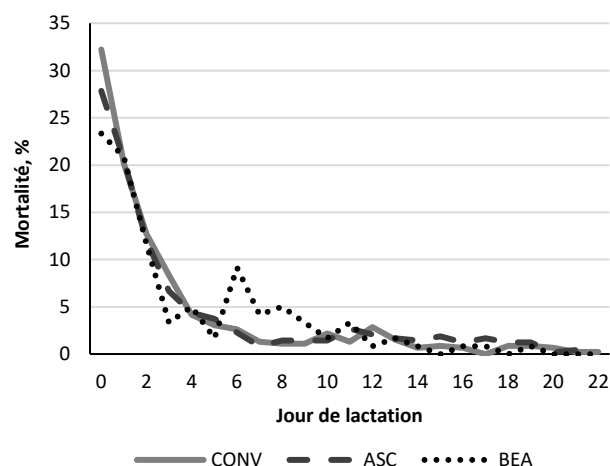


Figure 2 – Pourcentage de mortalité (%) des porcelets par jour de lactation selon les différents types de case de mise-bas (CONV : conventionnelle, ASC : ascenseur, BEA : bien-être). Les différentes superficies des CONV et ASC ont été regroupées.

La case BEA connaît toutefois une recrudescence de la mortalité au 6^e jour de lactation, soit au moment de l'ouverture de la cage et de la libération de la truie. Cette augmentation de la mortalité des porcelets est d'ailleurs mentionnée dans la littérature. L'ouverture de la cage et la libération de la truie causent une augmentation de la mortalité des porcelets par écrasement en raison du comportement de roulade de la truie (Goumon *et al.*, 2018 ; King *et al.*, 2019). Il s'agit d'ailleurs du seul système de logement en mise-bas lié à une mortalité plus élevée des porcelets par écrasement dans les jours suivant la mise-bas plutôt que le jour même (KilBride *et al.*, 2012 ; Hales *et al.*, 2015). Ceci a d'ailleurs été observé dans cette étude, où 23,7 % des porcelets morts par écrasement dans les cases BEA l'ont été au J0, 11,9 % au J1, 10,2 % au J2 et 15,3 % au J6.

2.3. Porcelets sevrés et gain de poids durant la lactation

2.3.1. Nombre de porcelets sevrés

Le type de case de mise-bas influence significativement le nombre de porcelets au sevrage (CONV = 12,6 sevrés ; ASC = 12,7 sevrés ; BEA = 12,1 sevrés ; $P < 0,01$). Le nombre de sevrés dans les cases BEA est inférieur aux cases ASC, ainsi que celui des cases CONV de grande superficie (CONV-C et CONV-D). Aucune différence n'est notée entre les cases CONV et ASC. Ce résultat concorde avec les taux de mortalités inférieurs pour les cases CONV de superficie plus grande ainsi que pour les cases ASC.

2.3.2. Gain de poids des porcelets durant la lactation

Aucune différence significative n'a été notée pour le gain de poids total de la portée durant la lactation (naissance-sevrage) entre les sept logements testés (Tableau 1). Le gain de poids total de la portée a été en moyenne de 60,5 kg pour les cases CONV, 58,4 kg pour les cases ASC et 59,1 kg pour les cases BEA.

Contrairement au gain de poids total de la portée, où aucun effet significatif n'a été noté, le gain moyen quotidien (GMQ) des porcelets entre la naissance et le sevrage était influencé significativement par le type et la superficie des cases (Tableau 1). Les porcelets des cases CONV-A, CONV-B ainsi que ceux de la case BEA ont un GMQ significativement supérieur aux porcelets des cases ASC-D. Les performances des porcelets des cases CONV-C, CONV-D et ASC-A sont similaires à celles des cases ASC-D. Toutes superficies confondues, les porcelets des cases ASC ont un GMQ inférieur d'environ 26 g/jour par rapport à celui des porcelets des cases CONV (CONV = 247 g/jour ; ASC = 221 g/jour ; BEA = 246 g/jour ; $P = 0,001$).

La diminution du nombre de sevrés pour les cases BEA pourrait contribuer à expliquer la différence concernant le gain des porcelets. De plus, selon Pedersen *et al.* (2011), le comportement d'allaitement est différent entre les truies confinées en cage et les truies libres en case BEA. La durée d'excrétion du lait est augmentée pour les truies des cases BEA lorsqu'elles sont libérées, en raison d'une période de calme prolongée chez la truie et les porcelets durant l'allaitement. Une réduction des batailles pour l'accès aux tétines est également notée, en plus d'une durée augmentée pour le massage de la mamelle après l'allaitement (Pedersen *et al.*, 2011). Les truies libérées ont davantage de contacts avec leurs porcelets, pouvant favoriser positivement les interactions maternelles et augmenter le nombre d'allaitements (Chidgey *et al.*, 2016). Ces différentes modifications au comportement d'allaitement pourraient aussi contribuer à expliquer l'augmentation du GMQ chez les porcelets en case BEA. Pour les cases ASC, l'élévation de la plateforme pourrait nuire au comportement d'allaitement. Des éleveurs ont d'ailleurs noté que l'accès à la deuxième rangée de tétines peut être compliqué lors de l'utilisation des cases ASC (Rousselière, 2021). L'ingestion de lait pourrait donc être plus limitée par la configuration de la case ASC, influençant directement le gain de poids des porcelets durant la lactation.

2.4. Performances des truies

2.4.1. Poids et lard dorsal de la truie

Pour les différents types de logement, aucune différence significative n'a été notée pour la différence d'épaisseur de lard dorsal au site P2 des truies, entre leur entrée en mise-bas et le sevrage (Tableau 1). Elle était en moyenne de -2,1 mm pour les cases CONV, -2,2 mm pour les cases ASC et -2,2 mm pour les cases BEA.

La différence de poids de la truie entre l'entrée en mise-bas et le sevrage a également été similaire pour les différents traitements, sans influence du type de case ou de la superficie (Tableau 1). La différence de poids en lactation était en moyenne de 2,1 kg pour les cases CONV, 1,9 kg pour les cases ASC et -0,8 kg pour les cases BEA.

2.4.2. Consommation alimentaire

La consommation alimentaire totale de la truie, soit de l'entrée en salle de mise-bas jusqu'au sevrage, ainsi que la consommation alimentaire durant la lactation (mise-bas jusqu'au sevrage) ont été évaluées. Aucune différence significative n'a été notée entre les types ou les superficies des cases de mise-bas pour ces deux variables (Tableau 1). La consommation moyenne en lactation était de 140,2 kg pour les cases CONV, 136,4 kg pour ASC et 136,7 kg pour BEA.

2.4.3. Intervalle sevrage-saillie (ISS)

Aucune différence significative n'a été notée entre les traitements concernant le nombre de jours requis pour le retour en chaleur des truies (Tableau 1). Cependant, bien que cette valeur ne soit pas statistiquement significative, il existe une forte variation numérique entre les types de cases pour la proportion de truies non saillies dans les 10 jours suivant le sevrage. Ainsi, en moyenne, 20,5 % des truies en case BEA n'ont pas été saillies dans les 10 jours suivant le sevrage. Cette proportion est plutôt de 12,6 % pour CONV et de 13,7 % pour ASC. Chidgey *et al.* (2015) ont toutefois trouvé que le type de logement de la truie, soit en case BEA ou en case CONV, n'a pas d'influence sur son cycle reproductif subséquent.

CONCLUSION

Le déroulement de la mise-bas est peu affecté par le type ou la superficie de la case, à l'exception du nombre de mort-nés, lequel est significativement plus élevé pour la case ascenseur comparativement à la case conventionnelle. La majorité des mortalités survient dans les trois premiers jours de lactation, et ce, pour tous les types de logement. La mortalité totale des porcelets entre la naissance et le sevrage est augmentée pour les cases bien-être, principalement en raison d'une proportion élevée de mortalités par écrasement lors de la libération de la truie au 6^e jour de lactation. Les cases ascenseurs permettent de diminuer significativement les écrasés comparativement aux cases conventionnelles.

Le nombre de sevrés dans les cases BEA est inférieur aux cases ascenseurs, ainsi qu'aux cases CONV-C et CONV-D. Le gain de poids total de la portée n'a pas été affecté significativement par les différents logements. Cependant, les porcelets des cases ascenseurs ont un GMQ inférieur de 25,7 g/jour par rapport aux cases conventionnelles. L'élévation de la plateforme pourrait nuire au comportement d'allaitement, causant un effet nuisible sur le GMQ. Ainsi, l'utilisation des cases ascenseurs en remplacement des cases conventionnelles et l'accroissement de la superficie disponible pour les porcelets permettent de diminuer la mortalité par écrasement. Cependant, un effet nuisible sur le gain moyen quotidien des porcelets durant la lactation est noté.

Peu d'effets ont été notés sur les performances zootechniques de la truie. La différence d'épaisseur de lard dorsal en lactation (entrée mise-bas – sevrage), la différence de poids en lactation (entrée mise-bas – sevrage – contenu utérin) et la consommation alimentaire ont tous été similaires entre les différents traitements.

Bien que cela n'ait pas été observé en contexte de recherche, la réduction de la mortalité par écrasement obtenue grâce à l'utilisation des cases ascenseurs comparativement aux cases conventionnelles pourrait se traduire par une augmentation du nombre de porcelets sevrés dans un contexte commercial.

REMERCIEMENTS

Ce projet est financé par l'entremise du Programme de développement sectoriel, en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec. Les auteurs remercient I-TEK, Jyga Technologies, Jolco Équipements inc, Les Éleveurs de porcs du Québec et S.E.C. repro inc. pour leur contribution financière.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bates D., Mächler M., Bolker B., Walker S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Soft.*, 67, 1-48.
- Baxter E.M., Jarvis S., Sherwood L., Farish M., Roehe R., Lawrence A.B., Edwards S.A., 2011a. Genetic and environmental effects on piglet survival and maternal behaviour of the farrowing sow. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 130, 28-41.
- Baxter E.M., Lawrence A.B., Edwards S.A., 2011b. Alternative farrowing systems: design criteria for farrowing systems based on the biological needs of sows and piglets. *Animal*, 5, 580-600.
- Chidgey K.L., Morel P.C.H., Stafford K.J., Barugh I.W., 2015. Sow and piglet productivity and sow reproductive performance in farrowing pens with temporary crating or farrowing crates on a commercial New Zealand pig farm. *Livest. Sci.*, 173, 87-94.
- Chidgey K.L., Morel P.C.H., Stafford K.J., Barugh I.W., 2016. Observations of sows and piglets housed in farrowing pens with temporary crating or farrowing crates on a commercial farm. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 176, 12-18.
- Costa A., Salvagnini C., Buoio E., Palmeri F., Salvagnini A., Mazzola S.M., 2022. The Effect of Lift Crates on Piglet Survival Rate and Sow Stress Level during Farrowing. *Animals*, 12, 1-13.
- Dourmad J.Y., Étienne M., Noblet J., 2001. Mesurer l'épaisseur de lard dorsal des truies pour définir leurs programmes alimentaires. *INRA. Prod. Anim.*, 14, 41-50.
- Goumon S., Leszkowová I., Šimečková M., Illmann G., 2018. Sow stress levels and behavior and piglet performances in farrowing crates and farrowing pens with temporary crating. *J. Anim. Sci.*, 96, 4571-4578.
- Goumon S., Illmann G., Moustsen V.A., Baxter E.M., Edwards S.A., 2022. Review of Temporary Crating of Farrowing and Lactating Sows. *Front. Vet. Sci.*, 9, 1-25.
- Gourley K.M., Calderon H.I., Woodworth J.C., DeRouchey J.M., Tokach M.D., Dritz S.S., Goodband R.D., 2020. Sow and piglet traits associated with piglet survival at birth and to weaning. *J. Anim. Sci.*, 98, 1-9.
- Hales J., Moustsen V.A., Nielsen M.B.F., Hansen C.F., 2015. Temporary confinement of loose-housed hyper-prolific sows reduces piglet mortality. *J. Anim. Sci.*, 93, 4079-4088.
- Huby M., Gogué J., Maignel L., Bidanel J.P., 2003. Corrélations génétiques entre les caractéristiques numériques et pondérales de la portée, la variabilité du poids des porcelets et leur survie entre la naissance et le sevrage. *Journées Rech. Porcine*, 35, 293-300.
- KilBride A.L., Mendl M., Statham P., Held S., Harris M., Cooper S., Green L.E., 2012. A cohort study of preweaning piglet mortality and farrowing accommodation on 112 commercial pig farms in England. *Prev. Vet. Med.*, 104, 281-291.
- King R.L., Baxter E.M., Matheson S.M., Edwards S.A., 2019. Temporary crate opening procedure affects immediate post-opening piglet mortality and sow behaviour. *Animal*, 13, 189-197.
- Labbe D., 2012 Les cages à bascule Nooyen. *Porc Magazine*, 462, 46-47.
- Lambert C., Petig M., Elkmann A., Gauly M., 2015. Confinement of sows for different periods during lactation: effects on behaviour and lesions of sows and performance of piglets. *Animal*, 9, 1373-1378.
- Lenth R., 2023. Package "emmeans". Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.4-1.
- Oliviero C., Heinonen M., Valros A., Hälli O., Peltoniemi O.A.T., 2008. Effect of the environment on the physiology of the sow during late pregnancy, farrowing and early lactation. *Anim. Reprod. Sci.* 105, 365-377.
- Pairis-Garcia M., 2015. Alternative farrowing options in the swine industry. *Pork Information Gateway*, 1-6.
- Pedersen M.L., Moustsen V.A., Nielsen M.B.F., Kristensen A.R., 2011. Improved udder access prolongs duration of milk letdown and increases piglet weight gain. *Livest. Sci.*, 140, 253-261.
- Poilvet D., 2005. Maternité. La case-balance épargne les porcelets nouveau-nés. *Réussir Porc*, 122, 44-45.
- R Core Team., 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [En ligne]. <https://www.R-project.org/>.
- Rousselière Y., 2021. La station porcine de Romillé passe aux maternités liberté. *Réussir porc*, 293, 28-29.
- Ter Beek V., Burgin R., 2015. Winning one piglet per sow pre-weaning. *Pig Progress*, 31, 16-18.



Combiner larmes brunes et lésions corporelles pour une appréciation du bien-être des porcs ?

Armande DUPUIS (1,2), Christelle FABLET (2), Florent EONO (2), Éric EVENO (2), Gilles POULAIN (2), Gaëlane RAUX (2), Gaëlle SIMON (3), Nicolas ROSE (2), Séverine PAROIS (2)

(1) Institut Agro Rennes-Angers, 35000 Rennes, France

(2) Anses Ploufragan-Plouzané-Niort, Unité Épidémiologie, Santé et Bien-Être, 22440 Ploufragan, France

(3) Anses Ploufragan-Plouzané-Niort, Unité Virologie Immunologie Porcines, 22440 Ploufragan, France

severine.parois@anses.fr

Combiner larmes brunes et lésions corporelles pour une appréciation du bien-être des porcs ?

L'évaluation du bien-être des animaux (BEA) dans les élevages est difficile et chronophage. La majorité des indicateurs mesurés qualifient l'environnement alors que les indicateurs mesurés sur l'animal lui-même, plus pertinents, restent minoritaires. Parmi ces derniers, la mesure des larmes brunes (traces sombres à partir du coin interne de l'œil) et le dénombrement des lésions corporelles pourraient être complémentaires pour qualifier les aspects sociaux et environnementaux du BEA. Le premier, indicateur très peu étudié, semble être corrélé avec l'appauvrissement du milieu et le stress social ; tandis que le second renseigne sur l'agressivité. Leurs variations temporelles et les facteurs pouvant les moduler restent à identifier. L'évaluation de ces deux indicateurs a été réalisée sur 330 porcs lors d'un suivi longitudinal dans deux élevages conventionnels ; à 1, 4, 7, 10 et 13 semaines d'âge. La surface des larmes a été mesurée par deux méthodes (score de 0 à 5 DeBoer-Marchant-Forde ; délimitation de surface *via* un logiciel d'analyse d'images). Une étude comparative a permis de montrer leur cohérence. Une étude de la symétrie montre un possible allègement des protocoles de mesure en évaluant un seul des deux côtés de l'animal. Les larmes brunes présentent une surface croissante tout au long de la vie de l'animal. Le nombre de lésions corporelles est croissant jusqu'à 10 semaines puis décroissant, et varie en fonction du Gain Moyen Quotidien et de la taille du groupe. Enfin, une analyse factorielle multiple suivie d'une classification hiérarchique montre qu'il existe des « profils de BEA » différents dans l'échantillon, mais la majorité des porcs ont un grand nombre de lésions et/ou des larmes brunes étendues probablement en lien avec un stress social et un milieu peu enrichi.

Can tear staining and skin lesions be used to assess pig welfare?

Assessing animal welfare on commercial farms is difficult to perform and time-consuming. Most of the indicators used describe the animal environment, whereas animal-based indicators, which are the most relevant, are limited. Among these indicators, the assessment of tear staining (a dark stain below the inner corner of the eye) and the number of skin lesions may be complementary to describe social and environmental aspects of animal welfare. The first indicator, although rarely studied, seems to be correlated with poorly enriched environments and high levels of social stress, whereas the second indicator provides information about aggressiveness. Their dynamics and the factors that influence them still need to be identified. These two indicators were assessed for 330 pigs during longitudinal monitoring on two conventional farms at 1, 4, 7, 10 and 13 weeks of age. Tear staining was assessed using two methods: the DeBoer-Marchant-Forde scale (range: 0-5) or delineating the area using image analysis software. Comparing the two methods showed that the scale reflected well the effective areas of tears. Studying the symmetry of scores showed the potential to shorten the protocol by scoring only one side of the pig. Tear staining area increased throughout the lifetime of each pig. The number of skin lesions increased until 10 weeks of age, then decreased, and depended on the average daily gain and group size. Finally, multiple factor analysis and hierarchical clustering revealed the existence of different "welfare profiles," with most pigs that had many skin lesions and/or extensive tear staining in a group that suggested social stress and lack of enrichment.

INTRODUCTION

La demande sociétale grandissante en faveur d'un élevage plus respectueux du bien-être des animaux (BEA) nécessite de disposer de protocoles d'évaluation complets et facilement utilisables (Renggaman *et al.*, 2015). Le BEA demeure difficile à évaluer simplement. Il est multifactoriel et évolutif, ce qui implique de mesurer un grand nombre de paramètres à plusieurs reprises. Ce processus est particulièrement chronophage, et peut être onéreux (Telkänranta *et al.*, 2016). Des grilles d'évaluation du BEA existent, comme le programme Welfare Quality® utilisé comme référence en Europe (2009).

Les indicateurs majoritairement utilisés pour évaluer le BEA recensent les ressources à disposition des animaux et les pratiques d'élevage mises en place ; ils sont appelés RBM pour « resource-based measurement » (ex : nombre de place à l'auge, surface disponible ; Renggaman *et al.*, 2015). Ces indicateurs renseignent uniquement sur la disponibilité d'un élément dans l'environnement. Ils permettent d'évaluer les opportunités pour l'animal d'expérimenter un état positif mais ne reflètent pas un tel état (Rowe et Mullan, 2022) et relèvent donc de la bientraitance (Avis de l'Anses relatif au « Bien-être animal », 2018). Les indicateurs mesurés sur les animaux (comportementaux et physiologiques), aussi appelés ABM pour « animal-based measurement », sont à privilégier pour évaluer le BEA, car ils donnent directement une information sur l'animal (ex : dosage dans le sang ou la salive, postures de l'animal) (EFSA PAHW, 2022). Les lésions corporelles et les larmes brunes sont deux ABM, pouvant être utilisés dans les protocoles d'évaluation, dont l'utilisation et la complémentarité concernant les aspects sociaux nécessitent toutefois des études supplémentaires. Le dénombrement des lésions sur le corps de l'animal peut être utilisé comme un indicateur indirect de l'agressivité. Ce score prend en compte le type de lésions (sévérité) et leur localisation. Ces informations permettent d'identifier plusieurs profils d'animaux (Vitali *et al.*, 2020). Un animal dominant, engagé régulièrement dans des combats, présente plus de lésions à l'avant alors qu'un animal subordonné présente plus de lésions à l'arrière (Turner *et al.*, 2006). Les larmes brunes, aussi appelée chromodacryorrhée, se formalisent par une trace sombre à partir du coin interne de l'œil due à une sécrétion de porphyrine depuis la glande de Harder (Telkänranta *et al.*, 2016). Il a été démontré que la surface des larmes est plus importante lorsque les porcs sont dans des situations de stress social (isolement et position d'intimidé dans un combat) et d'environnement appauvri (Telkänranta *et al.*, 2016). Le score de DeBoer-Marchant-Forde est une grille de notation de la surface des larmes de 0 à 5 (DeBoer *et al.*, 2015). La mesure des larmes pourrait s'avérer être un indicateur simple à utiliser et non-invasif. Cette mesure pourrait permettre de détecter un facteur de stress commun dans un groupe (Gustafsson, 2020) ou encore des situations de stress intense chez un individu (Telkänranta *et al.*, 2016). L'objectif de cette étude est d'envisager des possibles simplifications dans les protocoles d'évaluation des lésions corporelles et des larmes brunes, de suivre leurs variations temporelles, et d'étudier l'effet de certains paramètres physiologiques et de gestion des animaux sur ces indicateurs.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Porcs de l'échantillon

Les animaux suivis provenaient de deux élevages naisseurs-engraisseurs conventionnels (F01 et F02, choisis sur la base d'un

historique de contamination par le virus influenza A porcin) localisés en Bretagne, avec une conduite en 10 bandes, un sevrage à 21 jours, un post-sevrage au sein de l'élevage (allotement par rang de parité et/ou poids) et un ou des sites extérieurs d'engraissement en plus du site principal. Tous les porcs étaient élevés sur caillebotis intégral et nourris avec un aliment standard fourni *ad libitum* au premier âge et au deuxième âge, et en soupe selon un plan de rationnement en engraissement. Les deux élevages élevaient des porcs mâles entiers et la coupe des queues était réalisée de façon systématique (sauf essais sur l'arrêt de la caudectomie en cours de suivi représentant moins de 5 % des porcelets). Seul l'élevage F01 pratiquait un détassage deux semaines après le début du post-sevrage.

Dans chaque élevage, cinq bandes ont été suivies, soit 10 bandes au total, et au sein de chaque bande, 33 porcelets provenant de 10 truies. Pour sélectionner les truies, des catégories de parité ont été définies en amont et un tirage au sort a eu lieu dans chaque catégorie, pour obtenir deux truies primipares, deux truies de rang 2 à 3, trois truies de rang 4 ou 5 et, trois truies de rang supérieur ou égal à 6. La variable Parité définit le rang de parité de la truie mère du porc suivi.

Les 330 porcelets (166 mâles, 163 femelles et 1 non déterminé) ont été suivis durant cinq visites (notées V1, V2, V3, V4 et V5) respectivement à 6 ± 2 jours (moy. \pm EC), 27 ± 2 jours, 48 ± 2 jours, 70 ± 2 jours et 91 ± 2 jours d'âge. Tous les animaux ont été pesés en V1 et V5. Dans l'élevage F01, le GMQ (Gain Moyen Quotidien, calculé sur la période V1-V5) était de $473,2 \pm 73,1$ g/jour ; dans l'élevage F02, il était de $422,6 \pm 71,6$ g/jour.

1.2. Comptage des lésions corporelles

Le dénombrement des lésions a été réalisé sur tout le corps de l'animal en V1, V2, V3, V4 et V5, en distinguant : les côtés droit et gauche et cinq zones (oreilles, avant, milieu, arrière et pattes). La sévérité des lésions a été prise en compte selon le système de notation Welfare Quality® (2009). L'état de la queue et des oreilles a aussi été évalué en notant la présence de surface lésée ou manquante, de nécrose, de sang, de croûtes, de gonflements ou de squames. Le comptage a été réalisé par cinq personnes différentes formées en amont en élevage.

Les variables présentées et analysées dans cet article sont : le score total de lésions (noté Lésions), les scores de lésions à droite (LésionsD) et gauche (LésionsG), les pourcentages de lésions situées à l'avant (PrctgAV) et à l'arrière de l'animal (PrctgAR), une variable de présence/absence d'au moins une lésion sur la queue ou les oreilles (EtatOQ).

1.3. Évaluation des larmes brunes

La mesure des larmes brunes a été réalisée à toutes les visites selon deux méthodes : un score de larmes variant de 0 à 5 pour chaque œil attribué en suivant la grille de notation de DeBoer-Marchant-Forde (ScoreD, ScoreG) et une surface de larmes déterminée *via* le logiciel d'analyse d'image ImageJ® à partir d'une photo de l'œil gauche uniquement (SurfaceLarme). Les photos ont été prises à une distance d'environ 20 cm et perpendiculaire à l'œil. La surface déterminée avec le logiciel est exprimée en unité², la référence (1 unité) étant le diamètre de l'iris. Sur 1577 photos, 57 n'ont pas pu être exploitées en raison d'une qualité insuffisante et 55 étaient manquantes lors des analyses.

Les scores de larmes ont été attribués par cinq observateurs différents (score unique par animal). Toutefois, 50,8 % des

observations ont été notées par une seule personne. La variabilité intra-observateur a été évaluée par la méthode de concordance de Bland et Altman (Grenier *et al.*, 2000) sur un échantillon de 100 photos, et a révélé un biais de -0,008 unité² soit 1 % de l'iris et une précision de 0,074 unité² soit 9 % de l'iris. Pour la détermination des surfaces de larmes *via* le logiciel, un seul observateur a réalisé toutes les analyses d'image.

1.4. Disposition spatiale des porcs

Les numéros de salles et de case des porcs suivis ont été enregistrées pour fournir des informations sur la disposition spatiale des animaux. Parmi les animaux suivis, les mouvements de porcs entre cases d'une visite à l'autre ont été renseignés. La variable StabilitéCase prend la valeur « changement », si un ou plusieurs porcs ont été introduits ou retirés de la case et « stable » si aucun mouvement n'a été effectué depuis la visite précédente. La variable PorcConnu traduit le fait que le porc considéré connaisse ou non au moins un porc parmi les porcs suivis dans sa case. Un porc est connu s'il fait partie de la même portée que le porc considéré ou s'il a déjà été enregistré comme étant dans la même case a une visite précédente. La variable TailleGroupe détermine si un porc est situé dans une case au sein d'un petit groupe (entre 5 et 20 porcs), un groupe de taille moyenne (entre 20 et 40 porcs) ou un grand groupe (plus de 40 porcs).

1.5. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées sur le logiciel R 4.2.3. L'unité expérimentale est le porc. Les variables Lésions, ScoreD et ScoreG, et SurfaceLarme ont été normalisées *via* des transformations, respectivement par les fonctions racine carré, puissance 2 et puissance 1/3. Les p-values (*P*) inférieures à 0,05 sont considérées comme significatives et celles inférieures à 0,1 comme des tendances. Lorsqu'un effet présente une p-value supérieure à 0,1, il est retiré du modèle final. Quand un effet significatif est trouvé, des comparaisons deux à deux sont réalisées avec la fonction emmeans (package emmeans), qui inclut une correction de Tukey.

1.5.1. Comparaison des méthodes pour évaluer les larmes

Le modèle linéaire ci-dessous a été établi pour comparer les surfaces obtenues *via* le logiciel d'analyse d'image et les scores donnés par les observateurs selon la grille :

$$\text{SurfaceLarme}^{(1/3)} \sim \text{ScoreLarme} + \text{Observateur} + \text{Elevage} + \text{ScoreLarme} * \text{Observateur} + \text{ScoreLarme} * \text{Elevage}$$

Les cinq observateurs des notations de larmes étant intervenus sur des visites différentes et n'ayant par conséquent pas attribué tous les scores, le modèle a été exécuté sur deux sous-jeux de données : l'un avec tous les observateurs et des scores de larmes de 0 à 2 uniquement et, l'autre avec tous les scores de 0 à 5 mais uniquement deux observateurs.

1.5.2. Symétrie des indicateurs

Les scores de lésions et de larme brune présentaient une répétition sur les côtés droit et gauche. Afin de déterminer si la

mesure des deux côtés est nécessaire, une analyse de la symétrie a été faite. Deux modèles linéaires ont été créés :

$$\text{sqrt}(\text{Lésions}) \sim \text{Côté} + \text{Côté} * \text{Sexe} + \text{Côté} * \text{Visite} \\ \text{Score}^2 \sim \text{Côté} + \text{Côté} * \text{Sexe} + \text{Côté} * \text{Visite}$$

1.5.3. Variations des indicateurs en fonction du temps et de paramètres physiologiques et environnementaux

Des modèles linéaires généralisés mixtes (package lme4) avec une distribution normale ont été construits pour les lésions et les larmes afin de décrire l'évolution de ces deux variables dans le temps en intégrant les variables Porc et Bande (incluant l'effet Elevage) en effet aléatoire. Plusieurs effets fixes ont été testés et retirés si non-significatifs : pour les deux modèles, ce sont les variables Visite, Sexe, TailleGroupe, StabilitéCase, PorcConnu, StatutInfectieux et les interactions Sexe*Visite et Sexe*StatutInfectieux. Les effets fixes Parité et GMQ ont aussi été testés dans le modèle des lésions. Les variables Lésions, PrctgAV et PrctgAR (testés séparément) et EtatOQ ont été intégrés dans le modèle des larmes brunes. Les modèles finaux retenus sont :

$$\text{sqrt}(\text{Lésions}) \sim \text{Visite} + \text{GMQ} + \text{TailleGroupe} \\ + \text{StatutInfectieux} + (1 | \text{Porc}) + (1 | \text{Bande}) \\ \text{SurfaceLarme}^{(1/3)} \sim \text{Visite} + (1 | \text{Porc}) + (1 | \text{Bande})$$

La variable StatutInfectieux a été conservée dans le modèle pour corriger de ce facteur car elle affecte le nombre de lésions mais son effet ne sera pas détaillé dans la suite de cet article.

1.5.4. Détermination de « profils de BEA »

Une Analyse Factorielle Multiple (AFM ; package FactoMineR) a été réalisée sur 302 individus (porcs) avec les données de BEA pour chacune des visites, en définissant trois groupes de variables (lésions, score et surface de larme à gauche). Les lésions n'ayant pas été évaluées en V3 et V5 pour les bandes 5 à 10, les variables LésionsV3 et LésionsV5 n'ont pas été retenues dans l'AFM (des analyses préliminaires ont montré que les caractéristiques de l'AFM n'étaient pas modifiées en enlevant ces deux variables, résultats non présentés). Des imputations ont été réalisées en affectant la valeur moyenne des porcs de la bande à la même visite pour une donnée manquante sur la variable ScoreLarme, ou la valeur moyenne des porcs de l'élevage correspondant au score attribué à l'œil gauche à la même visite pour 111 données manquantes sur la variable SurfaceLarme. Les deux premières dimensions sont analysées dans l'AFM (résumant 52,3 % de l'information). Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée en conservant les quatre premières dimensions (représentant 73,7 % de l'information). Le choix des dimensions a été fixé par les pourcentages cumulés de représentation de l'information et l'analyse de l'histogramme des valeurs propres de l'AFM.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 synthétise l'évolution des principales variables étudiées au cours des cinq visites effectuées dans les élevages.

Tableau 1 – Moyennes et écarts-types des indicateurs BEA mesurés

| | Visite 1 (1 sem.) | Visite 2 (4 sem.) | Visite 3 (7 sem.) | Visite 4 (10 sem.) | Visite 5 (13 sem.) |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Porcs, n | 330 | 318 | 314 | 312 | 302 |
| Lésions totales, n | 4,7±5,7 | 17,0±17,6 | 27,9±23,4 | 65,5±36,9 | 27,6±23,3 |
| Score larme brune ¹ | 1,1±0,7 | 1,2±0,7 | 1,8±0,6 | 2,0±0,9 | 2,1±1,1 |
| Surface larme brune, unité ² | 0,041±0,036 | 0,036±0,032 | 0,13±0,12 | 0,26±0,27 | 0,42±0,39 |

¹Les valeurs indiquées correspondent aux moyennes et écarts types obtenus entre les deux yeux.

2.1. Comparaison des méthodes pour évaluer les larmes

Lorsque l'on compare les scores de larmes de 0 à 2 pour les cinq observateurs, l'interaction Score*Observateur est significative ($P < 0,001$). Pour un même score, on distingue deux groupes d'observateurs pour lesquels les surfaces sont identiques.

L'un des deux groupes présente systématiquement des surfaces de larme correspondantes plus élevées. Pour trois observateurs, les surfaces associées aux scores 0-1 et 1-2 ne sont pas significativement différentes. Pour les autres, les plus grandes surfaces sont associées au plus grand score (surface score 0 < surface score 1 < surface score 2). L'interaction Score*Élevage présente une tendance ($P = 0,091$), sans aucune différence entre les élevages à score égal.

Lorsque l'on compare les scores de 0 à 5 pour deux observateurs, l'interaction Score*Observateur est significative ($P = 0,003$). Les scores faibles (0, 1 et 2) uniquement sont différents entre les deux observateurs, avec l'un des observateurs présentant systématiquement des surfaces supérieures ($P < 0,001$). Pour un même observateur, les plus grandes surfaces sont toujours associées au plus grand score, lorsque les couples de scores sont significativement différents. L'interaction Score*Élevage est significative ($P = 0,005$), sans qu'aucune des comparaisons deux à deux ne présentent de différence (score 0 entre les deux élevages : $P = 0,34$; score 1 : $P = 1,0$; score 2 : $P = 0,93$; score 3 : $P = 0,14$; score 4 : $P = 0,85$).

Les valeurs obtenues par le traitement d'image sont considérées comme étant le Gold Standard. Les scores de larme croissants de 0 à 5 correspondent à des surfaces délimitées *via* l'analyse d'image croissantes, ce qui appuie la fiabilité de la mesure par la méthode de notation par score. Toutefois, une réserve est émise quant aux petits scores (0 et 1) dont les surfaces associées ne sont pas distinctes. Les critères d'évaluation correspondant à ces scores sont très proches, dépendants de la luminosité, de la distance d'observation et de la sensibilité de l'observateur. Ce sont majoritairement les porcelets (jusqu'à 4 semaines d'âge) qui reçoivent ces scores (Telkänranta *et al.*, 2016). Une adaptation de l'échelle est à envisager pour ce stade physiologique (ex : divisions entre 0 et 50 % de l'iris, ajout de critères sur l'aspect de la larme). On note aussi des différences de notation d'un observateur à l'autre, d'où l'intérêt d'utiliser un nombre restreint d'observateurs ou d'affiner les critères de notation afin de les rendre plus sélectifs (ex : couleur de la larme qui crée de la confusion).

2.2. Symétrie des indicateurs

Sur les 1215 données, 77,1 % des porcs ont un écart de lésions corporelles inférieur à 10 lésions entre les deux côtés (Figure 1).

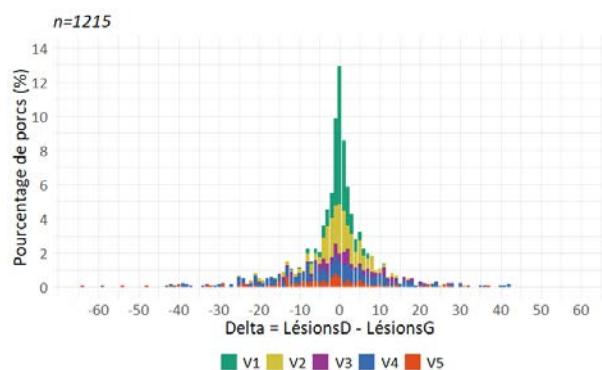


Figure 1 – Ecart entre le score de lésions droit et gauche selon les visites.

Les écarts les plus grands entre les scores de lésions droit et gauche se retrouvent en V5. En V1 et V2, ces écarts sont centrés et restreints autour de zéro. L'interaction Côté*Sexe est non significative ($P = 0,55$). L'interaction Côté*Visite est significative ($P < 0,001$). Pour une même visite, les différences entre les côtés droit et gauche ne sont pas significatives excepté pour la V5 où le côté gauche présente un nombre de lésions plus élevé ($P = 0,045$). Le Côté n'est pas significatif dans le modèle ($P = 0,97$). La symétrie des lésions était attendue. Les comportements sociaux antagonistes répertoriés chez les porcs (ex : coup de tête) ne sont pas associés à un côté spécifique de l'animal (Meese et Ewbank, 1973). La différence notée en V5 est portée par un très faible nombre d'observations (3 sur 126), ce qui en fait une observation mineure difficile à exploiter. Il semble donc possible de ne mesurer cet indicateur que sur l'un des deux côtés de l'animal pour alléger les protocoles.

De très rares cas d'asymétrie forte sont observés entre les larmes brunes deux yeux et 63,6 % des porcs ne présentent aucune différence entre les scores droit et gauche. Les interactions Côté*Sexe et Côté*Visite sont non significatives (respectivement $P = 0,53$ et $P = 0,94$). L'effet Côté est non significatif également ($P = 0,76$). L'œil observé ne modifie donc pas le score obtenu par l'animal. Plusieurs études ont démontré une différence minime entre les deux côtés (< 0,2 sur l'échelle DeBoer-Marchant-Forde ; Telkänranta *et al.* 2016, Larsen *et al.*, 2019). Dans ces études, le nombre de porcs observés dépassaient les 1000 individus. Au vu de nos résultats et de la très faible asymétrie reportée dans la littérature, il semble possible de ne noter qu'un seul côté de l'animal.

2.3. Evolution du nombre de lésions au cours du temps

L'effet fixe Visite est significatif ($P < 0,001$). Les porcs présentent un nombre croissant de lésions entre les V1, V2, V3 et V4 ($P < 0,001$). La V5 présente des valeurs similaires à la V3 ($P = 0,63$) (Figure 2). L'effet fixe TailleGroupe est significatif ($P < 0,001$) et montre que les porcs au sein de grands groupes ont plus de lésions que ceux au sein de groupes petits et moyens ($P < 0,001$). Cependant, il n'existe aucune différence entre les porcs des groupes de taille moyenne et de petites tailles ($P = 0,20$). L'effet GMQ est significatif ($P < 0,001$), les porcs avec un GMQ plus important présentent plus de lésions (odds ratio = 0,005).

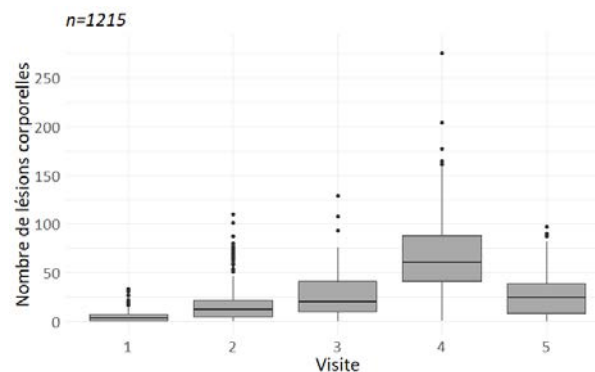


Figure 2 – Evolution du nombre de lésions selon les visites.

Le nombre de lésions dépend du temps. On observe deux phases : (a) un nombre de lésions croissant jusqu'à 10 semaines d'âge puis, (b) décroissant à partir de la 13^{ème} semaine. La phase (a) peut s'expliquer par des combats fréquents, notamment en début de post-sevrage, pour établir la hiérarchie puis plus tard lors des périodes d'alimentation ou en lien avec l'impossibilité d'exprimer des comportements d'évitement (Meese et Ewbank, 1973). La phase (b) peut s'expliquer par une réduction

de l'agressivité dans les groupes stables, et une plus grande part d'inactivité dans le budget temps en engraissement (O'Malley *et al.*, 2021). L'augmentation des lésions chez les porcs avec des GMQ élevés pourrait provenir du fait qu'ils sont habituellement engagés dans des combats plus longs (Turner *et al.*, 2006). Enfin, la présence de davantage de lésions dans les groupes de plus de 40 porcs en comparaison aux groupes de plus petites tailles pourrait s'expliquer par un nombre de relations de dominance plus important, entraînant plus de combats (Thomsen *et al.*, 2016). Toutefois, les variables PrctgAV et PrctgAR se sont révélées non-significatives. Compte tenu de l'évolution progressive du nombre de lésions corporelles au cours temps, une notation fréquente ne semble pas nécessaire.

2.4. Variations de la surface des larmes au cours du temps

La surface des larmes varie en fonction des visites ($P < 0,001$). On observe une augmentation significative de la surface des larmes à partir de la V3. Les V1 et V2 présentent des surfaces équivalentes ($P = 0,61$) (Figure 3).

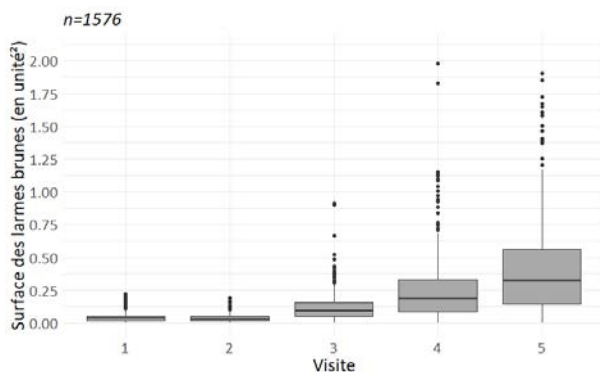


Figure 3 – Evolution des surfaces de larmes selon les visites.

L'augmentation des surfaces de larmes brunes au cours du temps a déjà été démontrée (Telkänranta *et al.*, 2016). Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cet accroissement : (1) la glande de Harder, à l'origine des larmes, aurait des caractéristiques et un fonctionnement différents selon l'âge du porc ; et/ou (2) l'accumulation de stress social dans les élevages commerciaux entraînerait des larmes plus importantes chez les porcs les plus âgés. Aucune de ces hypothèses n'est actuellement vérifiée ou invalidée (Gustafsson, 2020). Les surfaces de larmes obtenues pour les V1 et V2 sont très faibles et pas différentes l'une de l'autre. Seule l'étude de Telkänranta *et al.* (2016) a aussi été réalisée sur des porcelets en maternité. Elle confirme l'attribution de scores très faibles (toujours entre 0 et 2) pour des porcelets de moins d'un mois d'âge. D'après nos résultats, ces scores restent très faibles jusqu'au début du post-sevrage (4 semaines d'âge). Cela pourrait provenir d'une maturité de la glande insuffisante pour produire des larmes importantes et/ou un stress social encore limité (vie avec la truie et la portée d'origine ou tout début de transition en post-sevrage). La notation des scores de larmes brunes sur de très jeunes animaux avec l'échelle de DeBoer-Marchant-Forde présente donc un intérêt limité pour l'évaluation du BEA.

2.5. Combinaison des lésions corporelles et des larmes brunes pour définir des « profils de BEA »

Les dimensions 1 et 2 représentent respectivement 31,1 % et 21,3 % de l'inertie totale. La dimension 1 est corrélée à de fortes valeurs de surface et score de larme en V4 et V5 (et dans une moindre mesure en V1, V2 et V3). La dimension 2 est corrélée à un grand nombre de lésions principalement en V4 (Figure 4). Compte tenu du fait que les variables relatives aux lésions et aux

larmes sont projetées sur des dimensions différentes, ces deux ABM sont donc relativement indépendants l'un de l'autre.

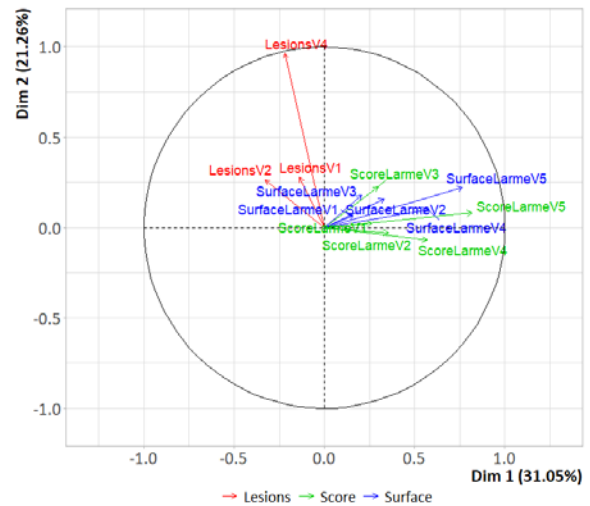


Figure 4 – Graphique des variables représenté sur les dimensions 1 et 2

La CAH permet de délimiter trois clusters. Les clusters 1, 2 et 3 regroupent respectivement 22,8 % ; 47,7 % et 29,5 % des individus. Les clusters divisent les individus selon plusieurs critères : (1) le cluster 1 correspond à un ensemble de porcs ayant plus de lésions que la moyenne sur toutes les visites, mais des scores et surface de larmes plus faibles que la moyenne sur toutes les visites, (2) le cluster 2 correspond à un ensemble de porcs ayant des valeurs plus basses que la moyenne sur tous les indicateurs (larmes et lésions) et pour toutes les visites et, (3) le cluster 3 correspond à un ensemble de porcs ayant des valeurs plus hautes que la moyenne sur tous les indicateurs (larmes et lésions) et pour toutes les visites (Figure 5).

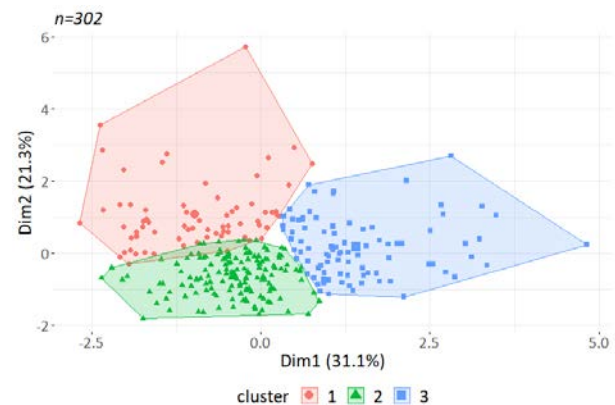


Figure 5 – Graphique des individus délimitant les 3 clusters sur les dimensions 1 et 2.

L'AFM met en évidence la complémentarité des indicateurs de larmes brunes et de lésions (variables projetées sur des dimensions différentes). Les deux variables se complètent, et il est d'ailleurs possible pour un porc d'avoir une faible surface de larmes brunes et un grand nombre de lésions ou inversement. La classification a permis de mettre en évidence deux profils opposés. D'un côté, des individus avec peu de lésions et de larmes brunes, de l'autre, des individus avec un nombre de lésions et des larmes brunes importants en comparaison à l'échantillon total. Le dernier cluster délimite un profil intermédiaire, où les individus ont beaucoup de lésions mais peu de larmes brunes par rapport au groupe total. Dans notre échantillon, très peu de porcs en post-sevrage ou à l'engraissement présentaient des scores de larmes de 4 ou 5 sur l'échelle DeBoer-Marchant-Forde : 3,3 % en V4 et 9,9 % en V5.

Ces faibles pourcentages semblent correspondre avec les conditions de logement des porcs suivis dans cette étude, c'est-à-dire avec peu de mélange des portées et en groupe stable après la période du post-sevrage. Dans ces conditions, les porcs ne sont pas soumis à de l'isolement et rarement à des combats très déséquilibrés et de forte intensité, reportés comme causant une production plus importante de larmes (Telkänranta *et al.*, 2016). En revanche, dans notre échantillon, on remarque que 84,1 % des porcs ont plus de 30 lésions alors que seul 8,3 % des porcs en possèdent moins de 20 à la V4 (correspondant à un peu moins de 3 mois). A cet âge, il était plutôt attendu un nombre moyen de lésions aux alentours de 25 lésions (Prunier *et al.*, 2013) contre 65,5 dans notre population d'étude. Le nombre important de porcs présentant plus de 30 lésions témoigne d'un BEA suboptimal concernant les aspects sociaux. Il pourrait s'expliquer par des densités élevées, bien que conforme à la réglementation, pouvant amener à un stress social et des combats importants. De plus, l'enrichissement limité dans les cases (strict respect de la réglementation), pourrait participer à l'ennui des animaux et ne pas satisfaire pleinement l'expression de comportements essentiels pour leur bien-être. Dans ces situations, il est alors souvent reporté une redirection des comportements exploratoires vers les congénères à l'origine de lésions. On notera l'existence de singularités (présence de trois clusters distincts, dissociés des élevages d'origine) au sein d'une population pourtant soumise à des conditions similaires d'élevage, qui souligne la nécessité de mesurer des ABM pour une évaluation plus objective du BEA au sein d'un troupeau.

CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer que le dénombrement des lésions corporelles et la mesure de la surface des larmes brunes

apportent des informations complémentaires sur l'évaluation du bien-être des porcs. Toutefois, notamment concernant les larmes brunes, il existe un manque crucial de connaissances sur ce que cet ABM reflète précisément et les différents facteurs entraînant des conséquences sur ces variations. Il serait en particulier intéressant de vérifier qu'il n'y a pas un lien avec le statut pathologique des porcs, les conditions d'ambiance physico-chimiques (ex : concentration en poussières).

Il semble possible d'envisager un allègement de la mesure de ces indicateurs (notamment par la notation d'un seul des deux côtés de l'animal). En effet, ces ABM présentent une bonne symétrie ainsi que des évolutions progressives et principalement croissantes au cours de la vie de l'animal. Les larmes brunes correspondent à un indicateur simple mais encore peu utilisé. Les mécanismes de formation des larmes ne sont encore pas bien connus. Plus de recherches sur cet indicateur ainsi que des mesures comparatives avec d'autres indicateurs permettraient de mieux comprendre ses relations avec le stress des porcs et pourraient, à terme, permettre de discerner de façon rapide et facile l'existence d'une perturbation dans l'environnement. Le nombre de lésions, indicateur lié à l'agressivité, est beaucoup plus étudié, bien que ses variations dans le temps restent encore peu connues. Cette étude a permis de montrer que leur nombre est croissant au cours de la vie de l'animal puis en diminution lorsque l'activité des porcs diminue. Il semble aussi être lié à d'autres paramètres comme la taille du groupe social et le GMQ. Enfin, des profils de BEA pourraient être définis en fonction de ces deux indicateurs, ce qui montre une hétérogénéité du BEA au sein d'un échantillon de porcs élevés dans des conditions similaires. Dans cette étude, le nombre de lésions important est probablement lié à un stress social et à un milieu peu enrichi.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anses, 2018. Avis de l'Anses relatif au « Bien-être animal : contexte, définition et évaluation ». Saisine n° 2016-SA-0288.
- Deboer S.P., Garner J.P., McCain R.R., Lay D.C., Eicher S.D., Marchant-Forde J.N., 2015. An initial investigation into the effects of isolation and enrichment on the welfare of laboratory pigs housed in the PigTurn® system, assessed using tear staining, behaviour, physiology and haematology. *Anim. Welfare*, 24, 15-27.
- European Food Safety Authority. Panel on Animal Health and Welfare, 2022. Scientific Opinion on the welfare of pigs on farm. *EFSA J.*, 20-7421.
- Grenier B., Renier B., Dubreuil M., Journois D., 2000. Comparaison de deux méthodes de mesure d'une même grandeur : méthode de Bland et Altman. *Ann. Fr. Anesth.*, 19, 128-135.
- Gustafsson A., 2020. The relation of tear staining to growth, sex and potential stress factors in finisher pigs. Thèse de master. University of Helsinki, 36 p.
- Larsen M. L. V., Gustafsson A., Marchant-Forde J. N., Valros A., 2019. Tear staining in finisher pigs and its relation to age, growth, sex and potential pen level stressors. *Animal*, 13, 1704-1711.
- Meese G.B., Ewbank R., 1973. Exploratory behaviour and leadership in the domesticated pig. *Br. Vet. J.*, 129, 251-259.
- O'Malley C.I., Steibel J.P., Bates R.O., Ernst C.W., Siegford J.M., 2021. Time budgets of group-housed pigs in relation to social aggression and production. *J. Anim. Sci.*, 99, 110.
- Prunier A., Brillouët A., Merlot E., Meunier-Salaün M.-C., Tallet, C., 2013. Influence of housing and season on pubertal development, boar taint compounds and skin lesions of male pigs. *Animal*, 7, 2035-2053.
- Rengaman A., Choi H.L., Sudiarto S.I., Alasaarela L., Nam O.S., 2015. Development of pig welfare assessment protocol integrating animal, environment, and management-based measures. *J Anim Sci Technol*, 57, 1-11.
- Rowe E., Mullan S., 2022. Advancing a « Good Life » for farm animals: development of resource tier frameworks for on-farm assessment of positive welfare for beef cattle, broiler chicken and pigs. *Animals*, 12, 565.
- Telkänranta H., Marchant-Forde J.N., Valros A., 2016. Tear staining in pigs: a potential tool for welfare assessment on commercial farms. *Animal*, 10, 318-325.
- Thomsen R., Edwards S.A., Rousing T., Labouriau R., Sørensen J.T., 2016. Influence of social mixing and group size on skin lesions and mounting in organic entire male pigs. *Animal*, 10, 1225-1233.
- Turner S.P., Farnworth M.J., White I.M.S., Brotherton S., Mendl M., Knap P., Penny P., Lawrence A.B., 2006. The accumulation of skin lesions and their use as a predictor of individual aggressiveness in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 96, 245-259.
- Vitali M., Santacroce E., Correa F., Salvarani C., Maramotti F.P., Padalino B., Trevisi P., 2020. On-farm welfare assessment protocol for suckling piglets: a pilot study. *Animals*, 10, 1016.
- Welfare Quality®, 2009. Welfare Quality® assessment for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Welfare Quality® consortium, Lelystad, The Netherlands.



Facteurs précédant la première mise bas associés aux performances sur la carrière d'une truie

Pierre LEVRARD (1), Vivien SAMSON (2), Bastien RIERA (2), Yohan PIEL (3), Mathieu GLOAGUEN (1), Arnaud BUCHET (1)

(1) Cooperl Innovation SAS, 1 Rue de la gare, 22640 Plestan, France

(2) Cooperl Data Science, ZAC du Liffre 64 Rue Mouëxigné, 22403 Lamballe-Armor, France

(3) Cooperl Suite, 18 Avenue Henri Fréville Bâtiment B, 35200 Rennes, France

pierre.levrard@cooperl.com

Facteurs précédant la première mise bas associés aux performances sur la carrière d'une truie

La gestion du renouvellement du troupeau de truies consiste à trouver un compromis entre amélioration génétique, maximisation de la prolificité du troupeau et optimisation de l'amortissement de l'investissement des cochettes. L'augmentation récente de la prolificité et la baisse de l'état d'engraissement des futurs reproducteurs nécessitent d'ajuster la préparation des cochettes. L'objectif de cette étude est d'analyser les facteurs influençant les performances en rang 1 et la carrière de la truie. Une première analyse s'appuie sur les données de 215 372 cochettes issues d'une application de suivi des performances et de la reproduction. La prolificité au rang 1 est supérieure pour les cochettes ayant la durée de quarantaine la plus longue par rapport à la durée la plus courte (+ 0,35 nés totaux, + 0,28 nés vivants et + 0,23 sevrés, $P < 0,001$). Une seconde partie porte sur l'analyse des performances de 668 truies réformées issues d'un élevage expérimental. En sortie de quarantaine, les truies les plus maigres (10,6 mm) ont le nombre de nés vivants le plus élevé à la première mise bas (15,6, $p < 0,05$) tandis que les truies les plus grasses (19,2 mm) ont les carrières les plus longues (rang de réforme 5,4, $P < 0,001$). Cette étude nous permet d'identifier que les facteurs pour préparer les cochettes à une carrière longue et productive sont une durée de quarantaine comprise entre 65 et 94 jours, un âge à la première insémination fécondante inférieur à 278 jours. Nos données seules ne permettent pas de déterminer un optimum d'épaisseur de lard dorsal (ELD) en sortie de quarantaine, néanmoins des ELD supérieurs à 14,3 mm sont associés à davantage de retours en chaleur au rang 1 ($P < 0,01$).

Pre-farrowing factors associated with sow lifetime performances

Managing sow herd renewal consists of finding a compromise between improving genetic progress, maximizing herd prolificacy, and optimizing the amortization of the gilt investment. The recent increase in prolificacy and the decrease in body condition of future productive sows require adjustments of gilt management. This study aimed to analyse the factors that influence sow performances during the first parity and over their career. One analysis was based on data from 215,372 gilts from an application that monitors performance and reproduction. Prolificacy during parity 1 was higher for gilts with the longest quarantine duration than for those with the shortest duration (+ 0.35 total born, +0.28 live born, and +0.23 weaned piglets, $P < 0.001$). A second analysis focused on the performances of 668 culled sows from an experimental farm. At the end of quarantine, the leanest gilts (10.6 mm) had the most live born at first farrowing (15.6, $P < 0.05$), while the fattest ones (19.2 mm) had the longest careers (culling rank of 5.4, $P < 0.001$). This study allowed us to identify that the optimal factors for preparing gilts for a long and productive career are a quarantine duration of 65 to 94 days, an age at first successful artificial insemination of less than 278 days. Our data did not allow the determination of an optimal backfat thickness (BT) at the end of quarantine, however, BT greater than 14.3 mm were associated with a higher incidence of first-rank returns to estrus ($P < 0.01$).

INTRODUCTION

Le progrès génétique offre à chaque génération de cochettes un potentiel de prolificité plus important que la génération précédente. Ainsi, entre 1975 et 2015, l'évolution génétique annuelle a été en moyenne de 0,13 porcelet né vivant par portée (Bidanel *et al.*, 2018). D'autre part, le nombre de porcelets nés vivants d'une portée atteint un maximum entre les rangs 3 et 5 de la truie avant de diminuer avec l'avancement de la carrière de la truie (Samson *et al.*, 2023). Enfin, l'arrivée de jeunes reproducteurs dans l'élevage constitue un investissement important pour l'éleveur d'autant plus amorti que la carrière de la truie est longue. En conséquence, la gestion du renouvellement du troupeau de truies consiste à trouver un compromis entre amélioration génétique, maximisation de la prolificité du troupeau et optimisation de l'amortissement de l'investissement des cochettes.

Samson *et al.* (2023) ont montré que le nombre de porcelets nés vivants à la première portée conditionne la prolificité sur l'ensemble de la carrière de la truie. Si le potentiel génétique de l'animal explique en partie le niveau de performance au rang 1 (Bidanel *et al.*, 2018), la préparation de la cochette dans sa phase de croissance chez le multiplicateur ainsi qu'entre l'arrivée en quarantaine chez l'éleveur et la première mise-bas a une importance particulière afin d'optimiser les performances et la longévité des truies. Plusieurs études traitant de la préparation des cochettes, datant pour la plupart d'une vingtaine d'années, ont été publiées (Guéblez *et al.*, 1985, Cauguant *et al.*, 1999, Tummaruk *et al.*, 2001, Le Cozler *et al.*, 2004), explorant essentiellement l'impact des réserves corporelles sur les performances. Cependant, depuis la publication de ces études, la prolificité moyenne des truies a fortement progressé et les futurs reproducteurs sont de plus en plus maigres (Bidanel *et al.*, 2018). En conséquence, l'objectif de cette étude est d'analyser les facteurs précédant la première mise-bas associés à la performance des truies, lors de la première mise-bas et sur la carrière, en s'appuyant sur des données d'un réseau d'élevages de production complétées par des données issues d'un élevage expérimental.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude repose sur l'analyse de deux bases de données complémentaires. D'une part, des utilisateurs de l'application "Pass'Cheptel", développée par CSuite, regroupant un grand nombre d'élevages, mais avec un nombre de variables limité. D'autre part, les données issues de l'élevage expérimental de Cooperl, la "Ville Poissin", enregistrant en routine davantage de données et en particulier des données relatives à l'état corporel des truies. Celles-ci sont en effet relativement peu présentes dans l'application.

1.1. Données issues de l'ensemble des élevages

A l'arrivée en quarantaine, chaque cochette est équipée d'une boucle électronique permettant de tracer toutes les informations relatives à l'animal dans l'application mentionnée précédemment. Cette dernière permet notamment d'enregistrer les dates de naissance, livraison, sortie quarantaine, insémination (IA), mise-bas, sevrage et enfin réforme de ces animaux. A la réforme, le motif est également renseigné.

Les données issues de 215 372 cochettes provenant de 272 élevages entre 2000 à 2023 ont été étudiées. Les données de

prolificité et de fertilité sont renseignées pour la totalité des animaux concernés (Tableau 1). La saisie de l'Épaisseur de Lard Dorsal (ELD) est devenue possible dans l'application à partir de septembre 2021. Par conséquent, cette information n'est accessible que pour un groupe restreint d'animaux. Plus précisément, elle est disponible pour 1 475 cochettes au moment de leur sortie de quarantaine, ainsi que pour 8,3 % et 6,4 % des animaux lors de leur première mise-bas et sa variation durant la première lactation (respectivement 18 010 et 14 105 données).

Tableau 1 – Description des données

| | Pass'Cheptel ¹ | | Ville Poissin | |
|-------------------------|---------------------------|--------|----------------------|-----|
| | Moyenne ² | n | Moyenne ² | n |
| Quarantaine | | | | |
| ELD sortie, mm | 13,1 ± 2,5 | 1475 | 14,5 ± 3,4 | 386 |
| Poids vif sortie, kg | - | | 146 ± 11 | 386 |
| Premier cycle | | | | |
| Age à l'insémination, j | 271 ± 29 | 215372 | 281 ± 29 | 668 |
| ELD à la mise-bas, mm | 18,0 ± 3,1 | 18010 | 18,7 ± 2,8 | 502 |
| Perte en lactation, mm | 3,8 ± 2,5 | 14105 | 4,0 ± 2,6 | 496 |
| Poids vif initial, kg | - | | 221 ± 13 | 496 |
| Perte en lactation, kg | - | | 23,5 ± 11,8 | 476 |
| Nés totaux | 15,0 ± 3,7 | 191774 | 15,4 ± 3,2 | 668 |
| Carrière | | | | |
| Rang à la réforme | 4,9 ± 2,5 | 136947 | 4,4 ± 2,4 | 668 |
| Nés totaux cumulés | 75 ± 41 | 127565 | 69 ± 40 | 668 |

¹272 élevages utilisateurs de l'application, ²Moyenne ± écart-type

1.2. Données issues de la "Ville Poissin"

Ces données proviennent de 668 truies de génétique Nucléus (Large White x Landrace), réformées entre juin 2016 et août 2022. Les cochettes sont livrées périodiquement par un élevage multiplicateur. Avant mise-bas, les cochettes sont logées collectivement sur paille durant la période de quarantaine, puis sur caillebotis. Elles sont alimentées collectivement en quarantaine. Ensuite, elles sont nourries individuellement au DAC pendant la gestation, avec un plan d'alimentation rationné, défini selon le rang de portée et l'état d'engraissement. En maternité, elles sont logées et alimentées individuellement et disposent d'un accès à volonté à l'aliment dès 5 jours après mise-bas.

A chaque transfert d'un animal d'une salle vers une autre, excepté la naissance et la réforme, son ELD et son poids vif (PV) sont mesurés et enregistrés. L'ELD est mesurée à l'aide d'un échographe au niveau de la dernière côte (site P2). Le poids vif après la mise bas est calculé à partir du poids vif à l'entrée en maternité moins les contenus utérins, qui sont estimés à l'aide de l'équation de Dourmad *et al.* (1997). Enfin, à chaque mise-bas, les porcelets nés totaux (NT) et nés vivants (NV) sont comptés et pesés.

Les paramètres mesurés ne sont pas disponibles pour toutes les truies (changement de pratiques, panne matériel, etc., Tableau 1). Ceci concerne en particulier la période de quarantaine, pour laquelle les données d'état corporel de sortie ne sont disponibles que pour 58 % des cochettes. L'état corporel à l'entrée en maternité ainsi que sa variation en lactation est quant à lui disponible à hauteur de 71 à 75 % selon le paramètre concerné.

1.3. Traitements des valeurs aberrantes

Les valeurs d'ELD, de perte d'ELD et d'âge à la 1ère saillie qui s'écartent de plus de 3 écarts types de la moyenne n'ont pas

été prises en compte dans l'interprétation. A l'exception de l'élevage expérimental, certaines données d'ELD (en sortie de quarantaine par exemple) ont été enregistrées plus tardivement et ne permettent pas d'étudier toute la carrière des cochettes faute de disposer de suffisamment de données.

1.4. Analyses statistiques

Les statistiques sont réalisées à l'aide de R Studio version 2021.09.2 (2022). Chaque variable d'intérêt des bases de données (ELD ou poids vif en sortie quarantaine, durée de quarantaine, âge à la première insémination) a été divisée en quartiles. Les deux quartiles intermédiaires ont été regroupés de manière à former 3 classes. Les différences entre classes sont évaluées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA). Afin de tenir compte du progrès génétique, les modèles appliqués aux données de prolificité (NT et NT cumulés) tiennent compte de l'effet de l'année de mise-bas, ajoutée en covariable. Compte tenu de la forte influence des pratiques d'élevage sur les performances, les modèles élaborés pour l'analyse des données des utilisateurs de Pass'Cheptel intègrent également l'effet élevage. Des comparaisons de moyennes sont effectuées à l'aide de tests de Tukey sur les variables présentant un effet significatif ($P < 0,05$) de la classe de la variable explicative.

2. RÉSULTATS

2.1. Données issues de l'ensemble des élevages

2.1.1. Motifs de réforme

Sur l'ensemble des élevages, le motif "gestion de bande", correspondant au retrait des truies les plus âgées, est le plus représenté (51 %). Il est suivi par les troubles de la reproduction et les pathologies qui représentent respectivement 21 % et 10 % des réformes.

2.1.2. Incidence de l'ELD en sortie quarantaine

Tableau 2 - Performances de truies en quarantaine, à la première mise bas et sur la carrière selon leur ELD en sortie quarantaine au sein des élevages utilisateurs de l'application

| | Quartile | | | p - value ¹ |
|-----------------------------------|----------|-------|-------|---------------------------|
| | 1 | 2 + 3 | 4 | |
| ELD sortie quarantaine, mm | 10,3a | 12,9b | 16,2c | < 0,001 |
| Effectif | 384 | 794 | 396 | |
| Age à l'IA fécondante 1, j | 272 | 271 | 273 | 0,14 |
| ELD à la mise-bas 1, mm | 16,6a | 18,4b | 19,8c | < 0,001 |
| Perte ELD en lactation 1, mm | 3,9 | 4,1 | 4,0 | 0,91 |
| Nés totaux au rang 1 | 16,1 | 15,9 | 15,5 | 0,43 |
| Nés vivants au rang 1 | 15,2 | 14,9 | 14,8 | 0,70 |
| Sevrés au rang 1 | 13,4 | 13,1 | 13,2 | 0,59 |
| Retour au rang 1, % | 4,3a | 4,1a | 8,6b | < 0,01 |

¹Pour une même ligne, les moyennes qui ne partagent pas de lettre commune (a, b ou c) sont statistiquement différentes au seuil de $P < 0,05$.

L'écart entre la moyenne des ELD sortie quarantaine des quartiles inférieurs et supérieurs est de 5,9 mm (respectivement 10,3 mm vs 16,2 mm, Tableau 2). Les valeurs du premier et du troisième quartile sont respectivement de 12 et 14,3 mm. L'ELD mesurée avant la première mise-bas est positivement corrélée à celle mesurée en sortie de quarantaine. Les écarts entre quartiles extrêmes sont de 3,2 mm ($P < 0,001$). Ces écarts d'ELD n'affectent pas la prolificité et la productivité au sevrage des rangs 1. En revanche, avec une ELD moyenne en sortie de quarantaine de 16,2 mm, les cochettes les plus grasses ont un pourcentage de retour au

rang 1 significativement supérieur de respectivement 4,3 % et 4,5 % par rapport aux 2 classes de cochettes les plus maigres en sortie de quarantaine ($P < 0,01$).

2.1.3. Incidence de la durée de quarantaine

La classe intermédiaire regroupe les animaux ayant passés entre 65 et 94 jours en quarantaine. Les cochettes ayant une durée de présence en quarantaine plus longue ont une ELD supérieure en sortie de quarantaine ($P < 0,001$, Tableau 3) et à la première mise bas, et elles mobilisent moins de gras durant la première lactation ($P < 0,001$). Par ailleurs, une durée de quarantaine prolongée est associée à un âge à la première IA fécondante plus élevé de 33 jours entre le premier et le dernier quartile ($P < 0,001$). En lactation, les primipares ayant la durée de quarantaine la plus courte (premier quartile) mobilisent également plus de lard que les autres (perte de 0,4 mm supplémentaire, $P < 0,001$).

La prolificité au rang 1 est supérieure pour les cochettes ayant la durée de quarantaine la plus longue par rapport à la plus courte (avec 0,35 NT, 0,28 NV et 0,23 sevrés supplémentaires, $P < 0,001$). A l'inverse, les cochettes qui restent le moins longtemps en quarantaine ont un taux de retour au rang 1 et sur l'ensemble de leur carrière plus élevé ($P < 0,001$).

Tableau 3 - Performances de truies en quarantaine, à la première mise bas et sur la carrière selon la durée de quarantaine au sein des élevages utilisateurs de l'application

| | Quartile | | | p - value ¹ |
|------------------------------------|----------|--------|-------|---------------------------|
| | 1 | 2 + 3 | 4 | |
| Durée de quarantaine, jours | 32a | 80b | 115c | < 0,001 |
| Effectif | 20884 | 126619 | 68958 | |
| ELD sortie quarantaine, mm | 13,8a | 14,9b | 14,8c | < 0,001 |
| Age à l'IA fécondante 1, j | 263a | 273b | 296c | < 0,001 |
| ELD à la mise-bas 1, mm | 18,0ab | 17,9a | 18,2b | < 0,001 |
| Perte ELD en lactation 1, mm | 4,1a | 3,7b | 3,7b | < 0,001 |
| Nés totaux au rang 1 | 15,1a | 15,1a | 15,4b | < 0,001 |
| Nés vivants au rang 1 | 14,3a | 14,3a | 14,6b | < 0,001 |
| Sevrés au rang 1 | 12,5a | 12,6b | 12,7c | < 0,001 |
| Retour au rang 1, % | 8,0b | 7,9b | 7,4a | < 0,001 |
| Rang à la réforme | 4,6b | 4,7b | 4,2a | < 0,001 |
| Nés totaux sur la carrière | 69,1b | 71,4c | 66,9a | < 0,001 |
| Nés vivants sur la carrière | 63,8b | 66,2c | 61,8a | < 0,001 |
| Sevrés sur la carrière | 52,7b | 54,4c | 50,5a | < 0,001 |
| Retour sur la carrière, % | 8,0b | 7,7b | 7,5a | < 0,001 |

¹Pour une même ligne, les moyennes qui ne partagent pas de lettre commune (a, b ou c) sont statistiquement différentes au seuil de $P < 0,05$.

Le rang de portée à la réforme est en moyenne plus faible pour les cochettes avec un temps de quarantaine moyen le plus long comparés aux temps de quarantaine courts ou moyens (respectivement -0,4 et -0,5 rang, $P < 0,001$). En lien avec ces observations, un temps de quarantaine moyen est associé avec des nombres de NT, NV et sevrés sur la carrière plus élevés comparés aux temps de quarantaines courts ou longs ($P < 0,001$).

2.1.4. Age à la première insémination fécondante

La classe 2 comporte les cochettes inséminées entre 256 et 278 jours d'âge. Les cochettes avec un âge moyen à la première IA le plus élevé (304 j) sont plus grasses en sortie de quarantaine et lors de la mise bas ($P < 0,001$, Tableau 4). Les cochettes dont l'âge à l'insémination fécondante est de 267 j ont le nombre de NT le plus élevé au rang 1, avec 15,3 porcelets en moyenne. La prolificité baisse de 0,4 NT chez les truies inséminées plus jeunes ($P < 0,001$). La baisse est moins marquée chez celles avec l'âge à la première IA le plus élevé.

Cependant, ces dernières ont un taux de retour au rang 1 et sur l'ensemble de la carrière supérieur d'environ 12 % aux autres truies.

Tableau 4 - Performances de truies en quarantaine, à la première mise bas et sur la carrière selon l'âge à la première IA fécondante au sein des élevages utilisateurs de l'application

| | Quartile | | | p - value ¹ |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
| | 1 | 2 + 3 | 4 | |
| Age à l'IA fécondante 1, j | 246a | 267b | 304c | <0,001 |
| Effectif | 51924 | 105030 | 58867 | |
| ELD sortie quarantaine, mm | 13,6a | 13,4a | 13,9b | <0,001 |
| ELD à la mise-bas 1, mm | 17,8a | 17,9a | 18,5b | <0,001 |
| Perte ELD en lactation 1, mm | 3,7 | 3,7 | 3,8 | 0,19 |
| Nés totaux au rang 1 | 14,9a | 15,3c | 15,2b | <0,001 |
| Nés vivants au rang 1 | 14,2a | 14,5c | 14,4b | <0,001 |
| Sevrés au rang 1 | 12,5a | 12,7c | 12,6b | <0,001 |
| Retour au rang 1, % | 3,0a | 3,7b | 17,7c | <0,001 |
| Rang à la réforme | 5,0c | 4,5b | 4,2a | <0,001 |
| Nés totaux sur la carrière | 74,6c | 69,2b | 67,8a | <0,001 |
| Nés vivants sur la carrière | 69,1c | 64,1b | 62,6a | <0,001 |
| Sevrés sur la carrière | 56,8c | 52,6b | 51,4a | <0,001 |
| Retour sur la carrière, % | 5,1a | 5,4b | 13,3c | <0,001 |

¹Pour une même ligne, les moyennes qui ne partagent pas de lettre commune (a, b ou c) sont statistiquement différentes au seuil de $P < 0,05$.

Enfin, le rang à la réforme est en moyenne plus élevé pour les cochettes avec une mise à la reproduction plus précoce par rapport aux cochettes mises à la reproduction avec un âge dans la moyenne ou un âge élevé (respectivement + 0,3 rang et + 0,8 rang, $P < 0,001$). Finalement, les cochettes qui ont un âge moyen à la première insémination le plus faible ont les nombres de NT, NV et sevrés sur la carrière les plus élevés des 3 classes (respectivement 74,6, 69,1 et 56,8).

2.2. Données issues de la "Ville Poissin"

2.2.1. Motifs de réforme

Les troubles de la reproduction et les pathologies représentent respectivement 27 % et 25 % des motifs de réforme. Le motif "gestion de bande" qui correspond principalement au retrait des truies les plus âgées représente 22 % des réformes. Enfin, le reste des réformes, 26 %, est réparti sur différents motifs.

2.2.2. Incidence de l'ELD en sortie quarantaine

Tableau 5 - Performances de truies en quarantaine, à la première mise bas et sur la carrière selon leur ELD en sortie quarantaine au sein de l'élevage de la Ville Poissin

| | Quartile | | | p - value ¹ |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| | 1 | 2 + 3 | 4 | |
| ELD sortie quarantaine, mm | 10,6a | 14,2b | 19,2c | <0,001 |
| Effectif | 97 | 196 | 93 | |
| PV sortie quarantaine, kg | 142a | 147b | 149b | <0,001 |
| Age à l'IA fécondante 1, j | 279a | 283a | 295b | <0,001 |
| ELD à la mise-bas 1, mm | 16,8a | 18,8b | 20,8c | <0,001 |
| Perte ELD en lactation 1, mm | 4,1 | 3,9 | 4,5 | 0,30 |
| PV à la mise-bas 1, kg | 221 | 220 | 220 | 0,97 |
| Perte de PV en lactation 1, kg | 25,6 | 22,5 | 22,4 | 0,18 |
| Nés totaux au rang 1 | 15,6a | 15,1ab | 14,6b | 0,05 |
| Rang à la réforme | 4,3a | 4,3a | 5,4b | <0,01 |
| Nés totaux sur la carrière | 68,4ab | 68,8a | 81,0b | 0,02 |

¹Pour une même ligne, les moyennes qui ne partagent pas de lettre commune (a, b ou c) sont statistiquement différentes au seuil de $P < 0,05$.

L'ELD moyenne en sortie de quarantaine varie de 10,6 mm pour le premier quartile à 19,2 pour le dernier (tableau 5).

La classe 2 comprend les animaux dont l'ELD en sortie quarantaine est supérieur à 12,1 mm et inférieur à 16,3 mm. Les cochettes du premier quartile sont en moyenne de 5 à 7 kg plus légères que les cochettes plus grasses ($P < 0,001$). L'ELD mesurée avant la première mise-bas est aussi corrélée positivement à celle mesurée en sortie quarantaine. Les écarts entre quartiles extrêmes sont de 4,0 mm ($P < 0,001$). Il y a en moyenne un porcelet de moins à la première mise bas sur le dernier quartile, par rapport aux 25 % de cochettes les plus maigres en sortie quarantaine. Le rang à la réforme est en moyenne plus élevé pour les 25 % des cochettes ayant l'épaisseur de lard la plus importante en sortie quarantaine. En lien avec ces observations, les cochettes les plus grasses se démarquent par un nombre de NT cumulés sur la carrière supérieur aux autres ($P = 0,02$).

2.2.3. Incidence du poids vif en sortie quarantaine

Le poids vif moyen en sortie de quarantaine est respectivement de 133, 146 et 160 kg pour les classes 1, 2 et 3. Il est positivement corrélé à l'ELD au même stade (+ 2,9 mm entre quartiles extrêmes, $P < 0,001$), à l'âge à l'IA (+ 16 jours entre classes 1 et 3, $P < 0,001$) ainsi qu'au poids vif à la mise-bas (+ 15 kg entre quartiles extrêmes, $P < 0,001$). La perte de poids en première lactation est supérieure pour le premier quartile comparativement au dernier (26,2 vs 21,5 kg, $P = 0,04$). Il n'y a en revanche aucune association significative avec les autres paramètres mesurés. En particulier, la prolificité au rang 1 (+ 0,9 NT, $P = 0,15$), sur la carrière (+ 6,9 NT, $P = 0,35$) et la longévité (+ 0,4 cycle, $P = 0,59$) ne sont pas significativement affectées, bien que ces variables semblent s'améliorer numériquement avec le poids en sortie de quarantaine.

2.2.4. Age à la première insémination fécondante

La mise à la reproduction plus tardive est associée à des cochettes quittant la quarantaine avec un poids et une épaisseur de lard supérieurs (Tableau 6). L'ELD du dernier quartile est ainsi significativement plus élevée que le reste de la population ($P < 0,001$) et pour le poids vif, le premier quartile est inférieur aux autres ($P < 0,001$). En lactation, les primipares du premier quartile, les plus jeunes inséminées, mobilisent également moins de lard que les autres ($P < 0,01$). La prolificité n'est pas statistiquement affectée. Au final le rang à la réforme et le cumul des NT sur la carrière sont supérieurs chez les truies plus âgées à l'IA ($P < 0,001$).

Tableau 6 - Performances de truies en quarantaine, à la première mise bas et sur la carrière selon l'âge à la première insémination fécondante au sein de l'élevage de la Ville Poissin

| | Quartile | | | p - value ¹ |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
| | 1 | 2 + 3 | 4 | |
| Age à l'IA fécondante 1, j | 254a | 276b | 321c | <0,001 |
| Effectif | 171 | 330 | 166 | |
| ELD sortie quarantaine, mm | 13,4a | 14,3a | 15,4b | <0,001 |
| PV sortie quarantaine, kg | 138a | 148b | 148b | <0,001 |
| ELD à la mise-bas 1, mm | 18,4 | 18,6 | 19,1 | 0,12 |
| Perte ELD en lactation 1, mm | 3,3b | 4,2a | 4,3a | <0,01 |
| PV à la mise-bas 1, kg | 217a | 221b | 226c | <0,001 |
| Perte de PV en lactation 1, kg | 22,9 | 24,7 | 21,7 | 0,07 |
| Nés totaux au rang 1 | 14,9 | 15,5 | 15,8 | 0,26 |
| Rang à la réforme | 4,2a | 4,2a | 5,0b | <0,01 |
| Nés totaux sur la carrière | 67,4a | 67,6a | 76,5b | <0,01 |

¹Pour une même ligne, les moyennes qui ne partagent pas de lettre commune (a, b ou c) sont statistiquement différentes au seuil de $P < 0,05$.

3. DISCUSSION

Le jeu de données de l'élevage expérimental de la Ville Poissin n'est pas tout à fait représentatif des performances moyennes obtenues dans cet élevage. En effet, seules les truies dont les données sont complètes sur l'ensemble de leur carrière ont été conservées. Le risque de données incomplètes étant accru avec le nombre de cycles composant la carrière, les truies réformées précocement sont par conséquent surreprésentées dans notre échantillon. C'est pourquoi le rang moyen à la réforme atteint 4,4 quand il est plus proche de 5,0 dans les documents de Gestion Technique de Troupeau de Truies (GTTT) de l'élevage sur la période étudiée. La prolificité suit une tendance similaire, étant en moyenne de 15,4 NT dans l'étude et 16,1 en moyenne d'après la GTTT de l'élevage. Le jeu de données des élevages utilisateurs de Pass'Cheptel s'affranchit de cette limite grâce à un nombre plus élevé d'individus. Ceci est confirmé par la moyenne du rang de réforme (4,9) et du nombre de nés totaux (16,1) qui se rapprochent des données GTTT moyennes. En revanche, les ELD n'étant saisies que récemment et de manière facultative dans Pass'Cheptel, seules les cochettes réformées précocement sont prises en compte. C'est pourquoi l'analyse des données carrière n'a pas été réalisée sur ces données.

En accord avec la littérature, le poids en sortie de quarantaine des cochettes n'affecte pas sensiblement le rang de portée à la réforme (Caugant *et al.*, 1999, Le Cozler *et al.*, 2004). L'ELD moyenne en sortie de quarantaine des éleveurs utilisateurs de l'application est inférieure de 1,4 mm à celle relevée sur les cochettes de l'élevage expérimental de la Ville Poissin. L'écart d'ELD en sortie de quarantaine entre les classes extrêmes est moins prononcé chez les cochettes de l'ensemble des éleveurs par rapport aux cochettes de la Ville Poissin (6,1 mm vs 8,6 mm), probablement en raison d'un plus grand nombre d'animaux. L'effet positif de l'ELD en sortie de quarantaine sur la longévité va dans le sens des observations de Le Cozler *et al.* (2004) et de ceux antérieurs de Gueblez *et al.* (1985). Des réserves corporelles suffisantes sont fondamentales pour faire face aux dépenses énergétiques consécutives à la lactation. Ces dépenses sont souvent supérieures à l'ingestion, en particulier chez les primipares (Dourmad *et al.*, 2008), ce qui conduit la truie à puiser dans ses réserves pour maintenir sa production laitière. En production, il est difficile d'engraisser des truies maigres, ce qui conduit alors à des performances de reproduction altérées (Whittemore et Morgan, 1990, Tummaruk *et al.*, 2001) et à la réforme précoce de l'animal (Young *et al.*, 1991, Hugues *et al.*, 2010). Ainsi, l'écart d'ELD observé entre la classe la plus élevée et la moyenne dans les données de l'application en sortie quarantaine (+ 3,3 mm) se réduit à la première mise bas (+ 1,4 mm) tandis que les écarts entre la classe la plus maigre et la moyenne reste plus conséquent (respectivement + 2,6 mm et + 1,8 mm). Ceci illustre bien la plus grande difficulté à atteindre un état corporel optimal pour des cochettes maigres par rapport à des cochettes en état.

Un état d'engraissement trop important semble cependant avoir un impact négatif sur la prolificité des cochettes, comme l'indiquent les données de la Ville Poissin. De plus, les cochettes de l'ensemble des éleveurs ayant une ELD en sortie quarantaine élevée ont un taux de retour au rang 1 significativement supérieur suggérant un potentiel effet négatif d'un état d'engraissement trop important sur la reproduction. Ces résultats sont également observés par

Gueblez *et al.* (1985) et par Lavery *et al.* (2019). Une des pistes pour l'expliquer est l'effet négatif du stress oxydatif au sevrage sur la qualité folliculaire et *in extenso* sur la prolificité à la mise-bas consécutive. Hu et Yan (2022) montrent en effet que ce stress oxydatif est accru chez les femelles les plus grasses à l'entrée en maternité. Cet effet est potentiellement contrebalancé par des porcelets plus lourds au sevrage. Plusieurs études suggèrent en effet une meilleure croissance des porcelets issus des truies grasses à l'entrée en maternité (Amdi *et al.*, 2014, Lavery *et al.*, 2022). En particulier, des réserves corporelles suffisantes en début de lactation soutiennent la production laitière et la croissance de portée (Amdi *et al.*, 2013, Farmer *et al.*, 2017, Thongkhuy *et al.*, 2020). L'étude du poids et de la croissance des porcelets issus de nos truies pourrait faire l'objet de recherches ultérieures. Aussi, l'ELD en sortie de quarantaine est partiellement lié à l'âge des animaux, les cochettes plus âgées ayant tendance à être plus grasses. Nos statistiques ne tiennent pas compte de ce biais, il serait donc intéressant de poursuivre cette étude en intégrant ces biais.

Les cochettes des élevages étudiés ayant les durées de quarantaine les plus longues ont une meilleure prolificité que les autres classes mais un rang de réforme significativement plus faible. Une période de quarantaine prolongée favorise l'adaptation et le développement optimal des cochettes. Selon Le Cozler *et al.* (2004), une période de quarantaine prolongée a un effet positif sur la prolificité et sur la fécondité lors de la première saillie. Cependant, il est important de noter que si la période de quarantaine devient excessivement longue, une augmentation de l'âge à la première insémination est observée, induisant un retard dans la mise en reproduction des truies, une réforme précoce et, par conséquent, une carrière plus courte. Ceci peut alors réduire les performances en termes de prolificité sur l'ensemble de la carrière. Ainsi, dans les données de l'ensemble des éleveurs, les cochettes ayant l'âge à la première IA le plus élevé sont plus grasses à la première mise bas, ont une prolificité plus faible, un rang de réforme plus faible et un taux de retour plus élevé sur l'ensemble de leur carrière. Aussi, dans notre étude, une période de quarantaine comprise entre 65 et 94 jours semble représenter un compromis optimal, bien qu'elle puisse entraîner une prolificité moindre au rang 1 par rapport aux truies ayant subi des quarantaines très longues. Cependant, cet effet initial est largement compensé sur la durée de la carrière, où les performances de prolificité seront optimisées. Par ailleurs, la quarantaine ayant notamment vocation à acclimater les animaux au microbisme de l'élevage, il est recommandé de respecter une durée minimale de 3 à 4 semaines (Pritchard *et al.*, 2005).

Les cochettes avec une durée de présence en quarantaine courte ont un nombre de sevrés plus faible au rang 1 et une prolificité plus faible sur l'ensemble de la carrière. Par contre, les cochettes les plus jeunes à la première IA sont réformées plus tardivement, induisant une prolificité supérieure sur l'ensemble de la carrière. Sur le seul périmètre de la Ville Poissin, les cochettes inséminées tardivement sont celles qui ont les carrières les plus longues, en contradiction avec les résultats de l'ensemble des élevages et de la majorité de la littérature. Néanmoins, les écarts d'âge sont aussi associés à des écarts importants d'ELD, en faveur des cochettes les plus âgées à l'IA. Cet écart d'ELD est peu marqué sur l'ensemble des élevages et pourrait expliquer cette divergence de résultats. Dans la littérature, Le Cozler *et al.* (2004) relèvent également un âge de mise à la reproduction significativement

moindre chez les truies ayant complété au moins 5 portées comparativement aux primipares réformées. D'autres travaux, tels que ceux de Badouard *et al.* (2019), obtiennent aussi des conclusions similaires. En lien avec un rang à la réforme supérieur, une truie mise tôt à la reproduction produira donc un nombre total de porcelets plus élevé sur l'ensemble de sa carrière qu'une cochette inséminée tardivement. Il est cependant à noter qu'une mise à la reproduction précoce implique des performances de prolificité au rang 1 plus faibles. En effet, la cochette n'a pas finalisé le développement de son système de reproduction, toujours en accord avec l'étude de Le Cozler *et al.* (2004) : ces auteurs ont montré que les cochettes inséminées au troisième œstrus ont plus de NT en première portée que les cochettes inséminées au premier œstrus (respectivement 11,2 et 9,7).

CONCLUSION

En conclusion, l'analyse complémentaire des données des éleveurs utilisateurs de l'application et des données de

l'élevage de la Ville Poissin nous permettent de souligner l'importance de la phase de préparation des cochettes, depuis l'arrivée en quarantaine jusqu'à la première mise bas, pour assurer des carrières longues et productives. Le suivi de l'état d'engraissement, la durée de quarantaine et l'âge à la première insémination fécondante sont les trois facteurs sur lesquels l'éleveur peut agir tant dans sa conduite quotidienne des animaux que dans sa stratégie d'approvisionnement en cochettes auprès de son multiplicateur. Cette étude nous permet d'identifier que les facteurs optimaux pour préparer les cochettes à une carrière longue et productive sont une durée de quarantaine comprise entre 65 et 94 jours, un âge à la première IA fécondante inférieur à 278 jours. Donner un ELD optimal en sortie de quarantaine est plus complexe, nos résultats ayant montré que les cochettes les plus grasses ont à la fois davantage de retours en chaleur, mais des carrières plus longues associées à plus de porcelets produits sur la carrière. Ces valeurs pourraient être affinées par le biais d'analyses portant sur davantage de classes, couplées à l'intégration de certains facteurs confondants comme l'âge des animaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amdi C., Giblin L., Hennessy A.A., Ryan T., Stanton C., Stickland N.C., Lawlor P.G., 2013. Feed allowance and maternal backfat levels during gestation influence maternal cortisol levels, milk fat composition and offspring growth. *J. Nutr. Sci.*, 2, 1-10.
- Amdi C., Giblin L., Ryan T., Stickland N.C., Lawlor, P.G., 2014. Maternal backfat depth in gestating sows has a greater influence on offspring growth and carcass lean yield than maternal feed allocation during gestation. *Animal*, 8, 236-244.
- Badouard B., Guittier M., Boulot S., 2019. Analyse des facteurs de variation de la longévité des truies en élevage à partir de quatre nouveaux critères. *Journées Rech. Porcine*, 51, 47-48.
- Bidanel J.P., Silalahi P., Tribout T., Canario L., Ducos A., Garreau H., Gilbert H., Larzul C., Milan D., Riquet J., Schwob S., Mercat M.J., Hassenfratz C., Bouquet A., Bazin C., Bidanel J., 2018. Cinquante années d'amélioration génétique du porc en France : bilan et perspectives. *Journées Rech. Porcine*, 50, 61-74.
- Caugant A., Roy H., Dourmad J.Y., 1999. Évolution des réserves corporelles chez la jeune truie et performances à la première mise bas. *Journées Rech. Porcine*, 31, 1-7.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., Causeur D., 1997. Prédiction de la composition chimique des truies reproductrices à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. *Journées Rech. Porcine*, 29, 255-262.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Valancogne A., Dubois S., Van Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 143, 372-386.
- Farmer C., Martineau J.P., Méthot S., Bussièrès D., 2017. Comparative study on the relations between backfat thickness in late-pregnant gilts, mammary development and piglet growth. *Transl. Anim. Sci.*, 1, 154-159.
- Gueblez R., Gestin J.M., Le Hénaff G., 1985. Incidence de l'âge et de l'épaisseur de lard dorsal à 100 kg sur la carrière reproductive des truies Large White. *Journées Rech. Porcine*, 17, 113-120.
- Hughes P.E., Smits R.J., Xie Y., Kirkwood R.N., 2010. Relationships among gilt and sow live weight, P2 backfat depth, and culling rates. *J. Swine Health Prod.*, 18, 301-305.
- Lavery A., Lawlor P.G., Magowan E., Miller H.M., O'Driscoll K., Berry D.P., 2019. An association analysis of sow parity, live-weight and back-fat depth as indicators of sow productivity. *Animal*, 13, 622-630.
- Le Cozler Y., Caugant A., Roy H., Le Borgne M., Boulot S., Dourmad J.Y., 2004. Influence des réserves corporelles de la jeune truie sur sa carrière future. *Journées Rech. Porcine*, 36, 423-428.
- Pritchard, G., Dennis, I., Waddilove, J., 2005. Biosecurity: reducing disease risks to pig breeding herds. *In Practice*, 27(5), 230-237.
- Samson V., Riera B., Legaud J.Y., Piel Y., Buchet A. 2023. Construction d'un outil d'aide à la décision visant à optimiser les réformes des truies par les éleveurs. *Journées Rech. Porcine*, 55, 115-120.
- Thongkhuy S., Chuaychu S.B., Burarnrak P., Ruangjoy P., Juthamanee P., Nuntapaitoon M., Tummaruk P., 2020. Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. *Livest. Sci.*, 234, 103983.
- Tummaruk P., Lundeheim N., Einarsson S., Dalin A.M., 2001. Effect of birth litter size, birth parity number, growth rate, backfat thickness and age at first mating of gilts on their reproductive performance as sows. *Anim. Reprod. Sci.*, 66, 225-237.
- Whittemore C.T., Morgan C.A., 1990. Model components for the determination of energy and protein requirements for breeding sows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 26, 1-37.
- Young L., King G., Shaw J., Quinton M., Walton J., McMillan I., 1991. Interrelationships among age, body weight, backfat and lactation feed intake with reproductive performance and longevity of sows. *Can. J. Anim. Sci.* 71, 567-575.



Maîtriser l'état corporel des cochettes à la première mise-bas : un gage de longévité

Charlotte TEIXEIRA COSTA (1), Céline CHEVANCE (1,2), Théo NICOLAZO (1), Justine JEUSSELIN (1,2), Céline CHEVANCE (1,2),
Valérie NORMAND (1,2), Mathieu BRISSONNIER (2), Gwenaël BOULBRIA (1,2), Arnaud LEBRET (1,2)

(1) SAS Rezoolution, ZA de Gohéléve, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56920 Noyal-Pontivy, France

(2) Porc.Spective, ZA de Gohéléve, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56920 Noyal-Pontivy, France

Maîtriser l'état corporel des cochettes à la première mise-bas : un gage de longévité

La longévité des truies est un paramètre important de rentabilité des élevages porcins et dépend, en particulier, de la qualité de la préparation des cochettes. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'épaisseur de lard dorsal (ELD) des cochettes à leur 1^{ère} mise-bas sur leur longévité. Au total, 574 cochettes issues d'un élevage naisseur (Landrace x Large White) ont été prises en compte dans notre étude. Le rang de portée à la réforme a été comparé selon trois catégories d'ELD : cochettes maigres (ELD \leq 14 mm), en état (ELD comprise entre 15 et 20 mm) et grasses (ELD \geq 21mm). Pour chaque cochette, les performances à chaque rang de portée jusqu'à leur réforme ont été enregistrées. Des comparaisons de moyennes ont été réalisées entre chaque groupe suivi de tests post-hoc (Test de Tukey). On constate une augmentation significative de la longévité des cochettes en état et grasses à la première mise-bas par rapport aux cochettes maigres (rang de portée moyen à la réforme : 4,4 et 4,2 contre 3,5 respectivement, $P=0,026$). Aucune différence significative n'est observée entre les cochettes correctes et grasses. En moyenne, le nombre cumulé de porcelets sevrés par truie de la 1^{ère} portée à la réforme était plus élevé pour les cochettes en état à la 1^{ère} mise-bas (39,3 pour les cochettes en état contre 33,7 pour les maigres et 36,5 pour les grasses). Cette étude met en évidence une longévité réduite des cochettes maigres à leur première mise-bas. Par ailleurs, le nombre total de porcelets sevrés jusqu'à la réforme est plus élevé pour les cochettes en état à la 1^{ère} mise-bas. Ces résultats soulignent l'importance d'un monitoring de l'état corporel dans la préparation des cochettes.

Backfat thickness of gilts at first farrowing: a key point to improve longevity

Longevity is an important parameter of profitability on sow farms and depends on the quality of gilt preparation. Body condition at first farrowing is a key point. Thus, the objective of this study was to assess impacts of backfat thickness (BFT) on gilt longevity and reproductive performances. A total of 574 gilts from a farrowing farm (Large White x Landrace) were included in the study. BFT was measured using an ultrasonic tool (P2 location) one week before expected farrowing. The culling rank was compared for three groups of gilts defined by their BFT: thin (BFT \leq 14 mm), correct (BFT 14-21 mm) and fat (BFT \geq 21 mm). In parallel, all reproductive performances were recorded for each gilt at each parity until culling. The culling rate in each group was compared using a non-parametric test followed by a post-hoc comparison test. The results showed that longevity was significantly longer for correct and fat gilts at first farrowing than for thin gilts (mean parity rank at culling of 4.4 and 4.2 vs. 3.5, respectively; $P=0.026$). On average, the cumulative number of weaned piglets per sow from first farrowing to culling was higher for correct gilts at first farrowing than for thin or fat gilts (39.3 vs. 33.7 or 36.5, respectively). This study highlights those thin gilts at farrowing had shorter longevity, while correct gilts at first farrowing had more weaned piglets until culling. These results demonstrate the importance of considering body reserves when preparing gilts in order to increase longevity and reproductive performances.

INTRODUCTION

La longévité des truies est un paramètre important de rentabilité dans les élevages, qui dépend notamment de la qualité de leur préparation avant la première mise-bas. Réduire les réformes prématurées relève d'enjeux sanitaires, sociétaux et économiques (Boulot *et al.*, 2012).

En France, une étude récente a montré qu'en moyenne, les truies sont réformées au bout de $4,84 \pm 2,96$ portées (Badouard *et al.*, 2019). Il est important d'adapter l'alimentation à chaque truie, de façon à maintenir pendant toute la carrière les réserves corporelles de manière optimale, afin de maximiser la longévité.

En pratique, l'estimation des réserves corporelles de la truie peut être réalisée à partir de la mesure de l'épaisseur de lard dorsal, mais d'autres moyens peuvent être utilisés comme la notation visuelle, la pesée ou, depuis peu, l'utilisation d'un étrier de calibration. Quoi qu'il en soit, il a été démontré à plusieurs reprises qu'une truie avec un faible niveau d'épaisseur de lard dorsal en début de carrière est associée à un risque de réforme précoce plus élevé (Le Colzer *et al.*, 2004). Carrión-López *et al.* (2022) ont également montré que les cochettes maigres durant la gestation avaient moins de porcelets nés et avaient tendance à avoir un taux de réforme plus élevé. Ceci a été confirmé par Faccin *et al.* (2019), qui montraient que le groupe composé de cochettes maigres avait un taux de réforme après le sevrage supérieur de 8,5 % par rapport aux cochettes grasses après la première mise-bas. A l'inverse, il a également été montré que les cochettes qui étaient plus lourdes lors de la première saillie avaient un taux de mise-bas plus faible à la deuxième portée, ce qui augmentait le risque de réforme au cours des trois premières portées (Bortolozzo *et al.*, 2009).

Dans une autre étude, menée par Badouard *et al.* (2019), l'influence de plusieurs autres critères sur la longévité des truies a été mise en évidence, dont le type génétique, avec un avantage pour les lignées sino-européennes. Un effet significatif du mode de renouvellement a également été démontré ; on relève environ 76,6 % de femelles achetées qui atteignent la 3^{ème} portée contre seulement 67,1 % en auto-renouvellement. Enfin, l'effet de l'âge à la 1^{ère} mise bas est également ressorti comme un facteur important : en moyenne, les cochettes mises précocement à la reproduction (soit à moins de 350 jours d'âge) ont une carrière plus longue et sevrant plus de porcelets. Ces éléments confirment les résultats de plusieurs études sur les effets propices d'une mise à la reproduction précoce des cochettes pour une longévité accrue (Legault *et al.*, 1996 ; Le Colzer *et al.*, 2004).

Optimiser la longévité des truies est un objectif dans chaque élevage dans le but d'améliorer les résultats économiques. En effet, plus la réforme de la truie est tardive, plus le nombre de nés et donc, de sevrés est important, ce qui permet de mieux amortir le coût du renouvellement. En moyenne, sur la carrière d'une truie, les nombres de porcelets nés totaux, nés vivants et sevrés sont, respectivement, de $70,3 \pm 45,3$, $65,2 \pm 41,9$ et $55,3 \pm 34,2$, avec une variabilité inter-truie importante (Badouard *et al.*, 2019). Il est d'autant plus avantageux de réussir la première mise-bas puisqu'elle influence le nombre de nés vivants sur l'ensemble de la carrière (Lida et Koketsu, 2015). Dans ce contexte et dans le but de fournir des données tangibles sur lesquelles s'appuyer, l'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact des mesures d'épaisseurs de lard dorsal à la première mise-bas sur la longévité des truies en conditions d'élevage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données analysées

Cette étude rétrospective a été conduite à partir des données individuelles de truies issues d'une maternité collective située en Bretagne (France). Il s'agit d'un élevage de 1000 truies (Large White x Landrace) conduit en 10 bandes toutes les deux semaines avec un sevrage à 21 jours. Les données analysées ont été extraites de la base de données GTTT de l'élevage. Les mesures d'épaisseur de lard dorsal (ELD) ont été effectuées par un seul intervenant sur les cochettes à leur arrivée lors du peuplement en 2014.

Les ELD ont été mesurées à l'insémination, à l'échographie et une semaine avant mise-bas au niveau de la dernière côte, à sept centimètres de part et d'autre de la ligne médiane (site P2) via l'utilisation d'un appareil à ultrasons (Renco Lean-Meater®). Un arrondi au supérieur est réalisé à partir des deux mesures. Seules les deux premières couches de lard ont été prises en compte dans nos mesures. Les manques ponctuels de mesures réalisées à l'insémination et à l'échographie sur l'ensemble de la carrière nous ont conduit à ne conserver dans le jeu de données que les ELD avant mise-bas. Une fois les ELD mesurées, les cochettes ont été classées en trois catégories : *maigre* (ELD ≤ 14 mm), *en état* (ELD compris entre 15 et 20 mm) et *grasse* (ELD ≥ 21 mm). Concernant les performances à la mise-bas, le nombre de porcelets nés totaux (NT), le nombre de nés vivants (NV), le pourcentage de mort-nés (%MN) et le nombre de sevrés (Sev) ont été enregistrés à chaque rang de portée jusqu'à la réforme. Toutes les truies, pour lesquelles l'ensemble des performances à la mise-bas et/ou des mesures d'état corporel n'étaient pas disponibles sur la totalité de la carrière, ont été exclues. Seules ont été conservées les truies dont on disposait de la carrière entière.

1.2. Analyses statistiques

La gestion des données a été effectuée avec Excel 2019 (Microsoft Corporation, Redmond, États-Unis) et les analyses statistiques ont été effectuées au moyen du logiciel R (v 4.2.2, R Core Team, 2022). L'ensemble des analyses a été réalisé en considérant la truie comme unité statistique. Le seuil de risque de 5 % a été considéré comme seuil de significativité. Les rangs moyens de réforme ont été comparés entre les trois classes d'état corporel au moyen d'un test non paramétrique en raison de la distribution non-normale des données (Test de Kruskal-Wallis). Les performances cumulées (sevrés et NT) sur l'ensemble de la carrière selon l'état des cochettes à la première mise-bas ont été comparées par analyse de variance (ANOVA) suivi d'un test de Tukey.

2. RESULTATS

Après suppression des truies avec données manquantes, les résultats de 573 cochettes ont été analysés. Sur l'ensemble de ces données, 33 % des cochettes (n=191) étaient maigres à la première mise-bas, 60 % étaient en état (n=342) et 7 % étaient grasses (n=40). Le rang moyen de réforme de l'ensemble de l'échantillon était de 3,96 (Ecart-type : 2,30).

2.1. Caractéristiques générales de l'échantillon

Les caractéristiques et les performances des truies sont présentées dans le tableau 1 en fonction de leur rang de réforme.

Tableau 1 – Caractéristiques moyennes des truies selon le rang de portée à la réforme

| Rang de portée à la réforme | 1 | 2 | 3-4 | 5 + |
|--------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|
| Effectifs (%) | 100 (17,4) | 94 (16,4) | 150 (26,1) | 230 (40,1) |
| ELD à la 1 ^{ère} mise-bas | 15,5 | 15,5 | 16,0 | 16,1 |
| NT (1 ^{ère} portée) | 14,3 | 13,6 | 14,1 | 14,9 |
| NT (2 ^{ème} portée) | - | 13,2 | 14,2 | 14,1 |
| NT (3 et 4 ^{ème} portées) | - | - | 14,6 | 14,9 |
| NT (5 ^{ème} portée et plus) | - | - | - | 15,8 |
| Total sevrés | 12,4 | 25,9 | 50,3 | 107 |

Dans le jeu de données final, plus de 40 % des truies ont démarré une cinquième portée avant d'être réformées. On constate que le nombre de nés totaux est, en moyenne, relativement stable au cours des cycles successifs et varie peu jusqu'aux rangs 3 ou 4. En revanche, à partir du rang 5, le nombre de nés totaux augmente de manière importante. On

note que les truies réformées en portée 2 présentent une plus faible prolificité en portée 1 et 2 que celles réformées plus tardivement. Ainsi, accroître la longévité des truies permet aux animaux d'exprimer au mieux leur potentiel de prolificité. Compte tenu de la pratique des adoptions dans cet élevage, on ne peut pas évaluer l'impact d'une meilleure longévité sur le taux de pertes sur nés vivants. Cependant, pour une carrière donnée le cumul des sevrés paraît opportun à analyser quelles que soient les pratiques puisqu'il traduit la capacité des truies à élever un nombre important de porcelets avant leur réforme.

2.2. Influence de l'épaisseur de lard dorsal sur la longévité

Les cochettes les plus maigres à l'entrée en maternité pour leur première mise-bas ont été réformées plus précocement que les autres. En effet, les cochettes maigres à la première mise-bas sont réformées significativement plus jeunes que les cochettes en état ou grasses (3,5 cycles contre 4,2 et 4,4, respectivement, $P = 0,026$) (Figure 1a). Pour rappel, une truie est considérée maigre lorsqu'elle a une ELD inférieure à 15 mm.

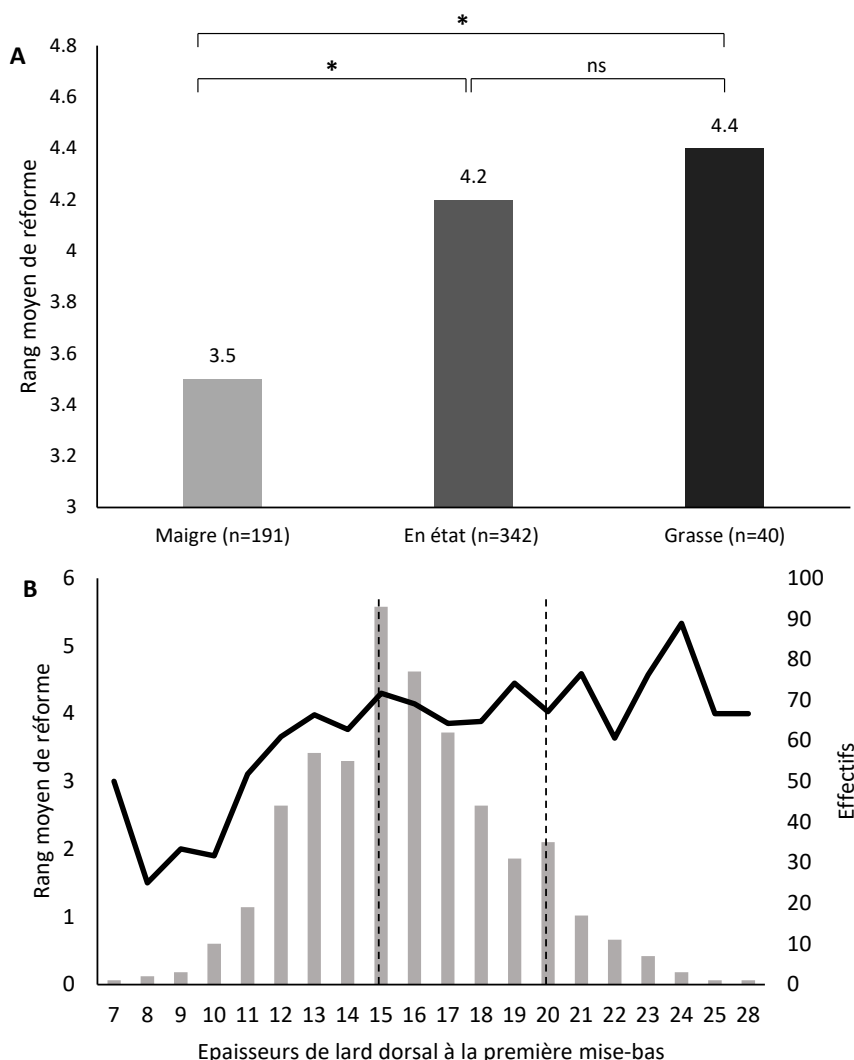


Figure 1 – Impact de l'épaisseur de lard dorsal à la première mise-bas sur le rang moyen de réforme des truies par classe d'adiposité (A : maigre, en état ou grasse) ou selon la mesure de l'épaisseur de lard dorsal (B, mm)

Les barres en pointillé permettent de visualiser les valeurs limites d'ELD servant à catégoriser les truies selon leur état avant mise-bas.

* P -value < 0,05 ; ns = non significatif

Aucune différence significative n'a été observée entre les cochettes en état et grasses au moment de la mise-bas. La différence mise en évidence sur les rangs moyens de réforme est liée, en particulier, au taux de réforme observé après la première mise-bas. En effet, 21 % des cochettes maigres à leur première mise-bas ont été réformées dès leur premier sevrage contre 16 % chez les cochettes en état et 13 % chez les cochettes grasses. Enfin, on remarque avec la figure 1b que le risque d'être réformée précocement est plus élevé pour des cochettes ayant une épaisseur de lard dorsal inférieure à 12 mm avant leur première mise-bas (rang moyen de réforme : 2,5), alors qu'au-delà de 13-14 mm le rang moyen de réforme se stabilise.

2.3. ELD et performances sur la carrière

Malgré des résultats en faveur des truies en état à la première mise-bas, le nombre porcelets nés totaux sur la carrière ne

diffère pas de celui des truies grasses (Figure 2). Ceci est probablement en partie lié au faible nombre de truies dans la classe extrême des truies grasses. En revanche, les cochettes maigres à la première mise-bas font significativement moins de porcelets nés totaux que les cochettes en état (42,08 vs 49,37, $P = 0,02$) et grasses (42,08 vs 47,76, $P = 0,007$). En moyenne, les cochettes en état à leur première mise-bas donnent donc naissance sur leur carrière à 4,5 porcelets de plus que les cochettes maigres et grasses confondues. Comme expliqué précédemment, ceci est à mettre en lien avec une longévité significativement plus courte de ces mêmes cochettes. En ce qui concerne le nombre moyen de porcelets sevrés sur l'ensemble de la carrière, les cochettes en état à l'entrée en maternité sèvent 39,30 porcelets contre 33,72 et 36,50 porcelets sevrés pour les cochettes maigres et grasses respectivement, sans que ces différences ne soient significatives...

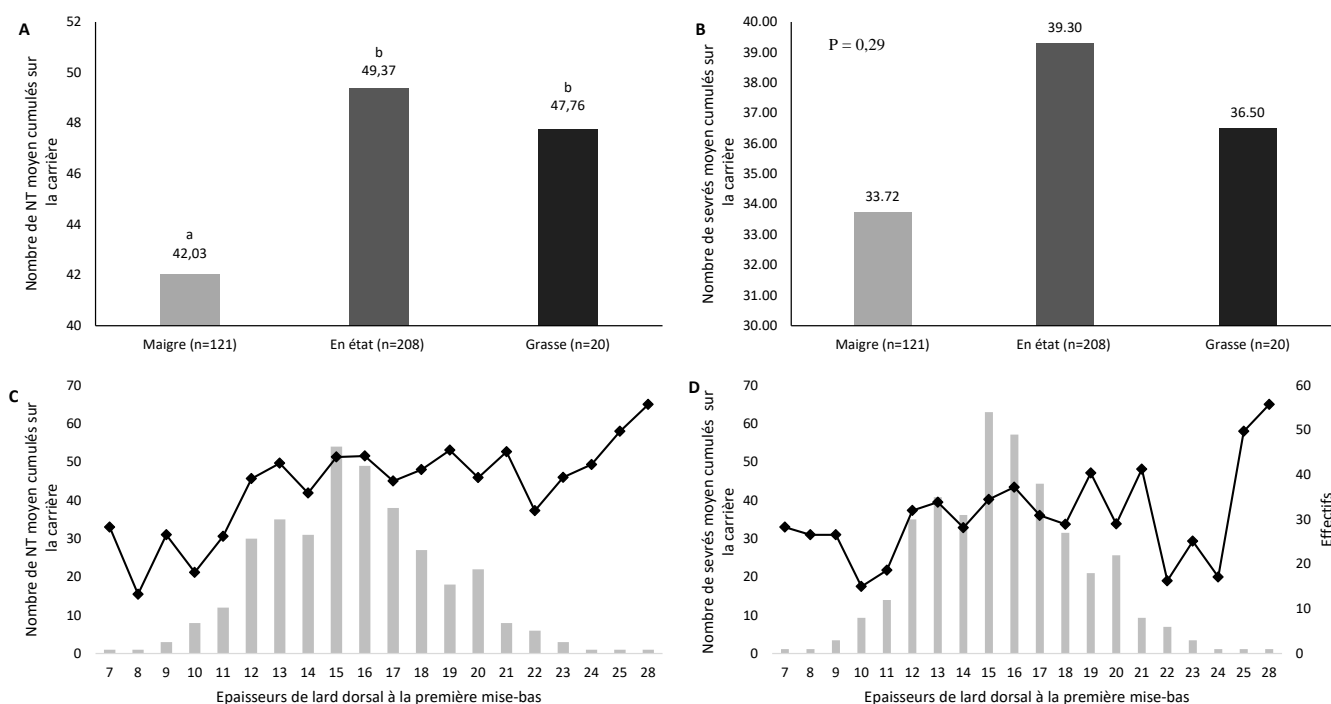


Figure 2 – Impact de l'épaisseur de lard dorsal à la première mise-bas sur le nombre de nés totaux et le nombre de porcelets sevrés par classe d'adiposité (A, B : maigre, en état ou grasse) ou selon la mesure de l'épaisseur de lard dorsal (C et D, mm).

Les lettres a, b représentent les différences significatives entre les moyennes ($p < 0,05$)

3. DISCUSSION

L'objectif de cette étude rétrospective était d'évaluer l'influence de l'épaisseur de lard dorsal des cochettes à leur première mise-bas sur leur rang de réforme et les performances au cours de leur carrière. Cette étude de cohorte a été menée sur un grand échantillon de cochettes dans des conditions de terrain dans un élevage naisseur de production. Malheureusement, nous n'avons pas pu renseigner les causes précises de réforme des animaux. Par exemple, il a souvent été cité dans la littérature que les problèmes de reproduction, surtout en première portée, et d'aplombs étaient une cause fréquente de réforme des truies (López-Serrano *et al.*, 2000). Ainsi, notre analyse a reposé seulement sur l'observation des ELD sans pouvoir mettre en évidence une relation de cause à effet entre l'état à la première mise-bas et le motif de réforme.

Les cochettes incluses dans cette étude ont été suivies rigoureusement tout au long de leur carrière, les mesures ELD ont été réalisées à plusieurs stades. Toutefois en raison de données manquantes, seule l'ELD mesurée une semaine avant la mise-bas a été analysée et s'est avérée être un facteur impactant la longévité des truies. Nos résultats suggèrent que l'arrivée des cochettes en maternité doit se faire avec une ELD au moins égale à 13 mm pour garantir une carrière optimale. Le seuil de 15 mm utilisé fréquemment pour qualifier une truie de « maigre » à la mise-bas n'est pas pour autant discuté compte-tenu du fait que dans cette étude, il ne s'agissait que de cochettes (Lee *et al.*, 2019). Ce constat est en accord avec plusieurs autres études récentes, ce qui vient conforter nos résultats (Muro *et al.*, 2022; Faccin *et al.*, 2022). De plus, nos résultats viennent compléter ceux de l'étude française de Badouard *et al.* (2019) qui avait permis d'évaluer l'impact de

plusieurs facteurs sur la longévité des truies, mais qui ne prenait pas en compte l'état corporel des truies.

Cet élevage étant suivi régulièrement depuis le peuplement dans l'objectif de garantir un maximum de truies en état à chaque stade, les truies sont classées et associées à une courbe d'alimentation spécifique en fonction de leur état corporel une fois la mesure d'épaisseur de lard réalisée. Ceci peut expliquer en partie le pourcentage important de truie en état dans notre jeu de données. Pour autant, les résultats de ces travaux sont intéressants à considérer puisque, dans la pratique, il est probable qu'un élevage ne prenant pas en compte l'ELD dans la conduite alimentaire soit plus à risque du fait d'un échantillon de truies maigres plus important. Ainsi, il serait intéressant d'évaluer l'impact de la mise en place d'un tel suivi dans un élevage où l'âge à la réforme est précoce afin de vérifier si la mise en place d'une meilleure gestion de l'épaisseur de lard dorsal avant mise bas peut être à lui-seul un facteur d'amélioration.

Il aurait également été pertinent d'ajouter d'autres critères souvent associés à la survie des porcelets comme la durée de mise-bas, la durée des intervalles sevrage-oestrus et sevrage-saillie-fécondante afin d'évaluer leurs potentielles relations avec les épaisseurs de lard. Cependant, rétrospectivement nous n'avons pas pu collecter ces données pour l'ensemble des cochettes suivies. Enfin, le manque de données relatives aux épaisseurs de lard dorsal pour une même truie sur l'ensemble de sa carrière ne nous a pas permis d'estimer rigoureusement les pertes et gains d'ELD entre chaque stade. Néanmoins, sur la base de résultats antérieurs, il a été montré qu'une mobilisation excessive des réserves corporelles durant la lactation était associée à une détérioration des performances de reproduction au cycle suivant (allongement de l'intervalle sevrage-oestrus, diminution de la taille de la portée et du taux de mise-bas), avec pour conséquence une réforme précoce de ces truies (Muro *et al.*, 2022).

Les résultats moyens de performances à la mise-bas de notre étude sont en accord avec la littérature malgré une sélection génétique en faveur de l'augmentation de la taille des portées considérable ces dernières années (Badouard *et al.*, 2019). La prolificité résulte le plus souvent de déterminants plurifactoriels, par exemple le type génétique, les conditions et la gestion des mises bas (Koketsu *et al.*, 2017). Nous n'avons pas observé de différence significative entre les différentes catégories d'ELD concernant le nombre de sevrés cumulés sur la carrière, néanmoins, numériquement l'épaisseur de lard dorsal avant mise-bas semble affecter le nombre de sevrés total. Concernant le nombre de NT cumulé moyen, une différence significative existe entre les cochettes maigres à leur première mise-bas et les cochettes en état ou grasses, ce qui est en adéquation avec la littérature Thongkhuy De plus amples recherches (différents types de conduite en bande et âge au sevrage, différents types génétiques par exemple) à ce sujet s'avèrent nécessaires pour confirmer ce constat.

CONCLUSION

Nos résultats confirment plusieurs travaux de la bibliographie et démontrent l'importance de la qualité de préparation des cochettes avant leur première mise-bas, particulièrement en ce qui concerne leur état corporel. Un effet significatif sur la longévité, en défaveur des cochettes maigres à la première mise-bas a été constaté. Cet effet de l'ELD est encore plus marqué lorsque l'ELD est inférieure à 12 mm. Dans cette étude réalisée dans un élevage conventionnel, un minimum de 13 mm semble donc souhaitable pour garantir une longévité et une productivité optimale au cours de la carrière. Pour autant, ces résultats ne sont pas forcément extrapolables en l'état à d'autres situations d'élevage et méritent d'être approfondis.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Badouard B., Guittier M., Boulot S., 2019. Analyse des facteurs de variation de la longévité des truies en élevage à partir de quatre nouveaux critères. Journées Rech. Porcine, 51, 47-48.
- Bortolozzo F. P., Bernardi M. L., Kummer R., Wentz I., 2009. Growth, body state and breeding performance in gilts and primiparous sows. Soc. Reprod. Fertil. suppl., 66, 281-291.
- Boulot S., Badouard B., Schetelat E., 2012. Quel est l'impact de la longévité des truies sur les performances techniques et économiques des élevages ? Journées Rech. Porcine, 44, 267-268.
- Carrión-López M.J., Orengo J., Madrid J., Vargas A., Martínez-Miró S., 2022. Effect of sow body weight at first service on body status and performance during first parity and lifetime. Animals, 12, 23-3399.
- Faccin J.E.G., Tokach M., Goodband R.D., DeRouchev J.M., Woodworth J.C., Gebhardt J.T., 2022. Gilt development to improve offspring performance and survivability. J. Anim. Sci., 100, 128.
- Koketsu Y., Tani S., Lida R., 2017. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. Porc Health Manag., 3, 1.
- Le Cozler Y., Caugant A., Roy H., Le Borgne M., Boulot S., Dourmad J.Y., 2004. Influence des réserves corporelles de la jeune truie sur sa carrière future. Journées Rech. Porcine, 44, 267-268.
- Lee S., Hosseindoust A., Choi Y., Kim M., Kim K., Lee J., Kim Y., Chae B., 2019. Age and weight at first mating affects plasma leptin concentration but no effects on reproductive performance of gilts. J. of Anim. Sci. Technol., 61, 285-293.
- Legault C., Gauthier M.C., Caritez J.C., Lagant H., 1996. Analyse expérimentale de l'influence de l'âge à la première mise bas et du type génétique sur la productivité de la truie. Ann. Zootech., 45 (1), pp.63-73.
- Lida R., Koketsu Y., 2015. Number of pigs born alive in parity 1 sows associated with lifetime performance and removal hazard in high- or low-performing herds in Japan. Prev. Vet. Med., 121, 108-114.
- López-Serrano M., Reinsch N., Looft H., Kalm E., 2000. Genetic correlations of growth, backfat thickness and exterior with stayability in Large White and Landrace sows. Livest. Prod. Sci. 64(2): 121-131.
- Muro B. B., Carnevale R. F., Leal D.F., Almond G.W., Monteiro M.S., Poor A. P., Schinckel A.P., Garbossa C.A., 2022. The importance of optimal body condition to maximise reproductive health and perinatal outcomes in pigs. Nutr. Res. Rev., 1-21.
- Thongkhuy S., Chuaychu S.H.B., Burarnrak P., Ruangjoy P., Juthamanee P., Nuntapaitoon M., Tummaruk P., 2020. Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. Livest. Sci., 234, 1871-1413.



Peut-on concilier prolificité, survie en maternité et nombre de sevrés ? Typologie et résultats des élevages français

Sylviane BOULOT, Alexia AUBRY, Solène HONOR

IFIP – Institut du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35104 35651 Le Rheu cedex, France

sylviane.boulot@ifip.asso.fr

Peut-on concilier prolificité, survie en maternité et nombre de sevrés ? Typologie et résultats des élevages français

Avec des taux de mortalité qui restent encore en moyenne supérieurs à 20%, la survie des porcelets en maternité est un enjeu technique, économique et sociétal majeur. L'impact négatif de prolificités élevées au regard des capacités d'allaitement des truies est régulièrement pointé du doigt et le développement de « maternités liberté » fait craindre une aggravation du problème. L'objectif de l'étude est d'analyser la forte variabilité des résultats des élevages français et de caractériser les profils qui concilient le mieux performances de sevrage et survie en maternité selon leurs niveaux de prolificité. Une typologie des élevages (classification ascendante hiérarchique) a été réalisée à partir des résultats GTTT moyens annuels de 1013 élevages ayant participé au dispositif national de références GT-PORC en 2022. Leurs résultats moyens, $16,4 \pm 1,3$ nés totaux, $15,2 \pm 1,0$ nés vivants et $12,7 \pm 1,0$ sevrés, sont associés à des mortalités variables et en augmentation : $22,3 \pm 5,3$ % et $15,8 \pm 4,8$ % de pertes sur nés totaux et nés vivants respectivement. Les caractéristiques générales des élevages sont prises en compte (taille, région, production biologique vs conventionnelle), ainsi que leurs types de logement (plein air, maternités liberté, cages ascenseurs). Cinq groupes d'élevages aux performances au sevrage croissantes ont été identifiés par la typologie et caractérisés. Leur analyse confirme la difficulté à optimiser résultats de sevrage, prolificité et survie. La maîtrise de la survie peut être difficile à tous les niveaux de prolificité, mais dans certaines limites, il existe des profils d'élevages qui réussissent à concilier ces 3 critères. Cette étude contribue à une réflexion sur une approche multicritères des performances en élevage.

Is it possible to reconcile prolificacy, pre-weaning survival and weaned litter sizes? Typology and results of French herds.

A mean pre-weaning mortality rate of at least 20% remains a key issue in pig production for economic, technical and societal reasons. Negative impacts of large litters and poor adjustment to the number teats available are regularly blamed, with potentially higher risks associated with free-farrowing systems. The objective of this study was to analyse the high variability in herd results and identify farm profiles that had an optimum combination of weaning performance, piglet survival and litter sizes. Data were extracted from the French database Technical Management of Sow Herds, managed by IFIP. Mean results of 1013 farms in 2022 were used, along with their main characteristics (region, size, conventional vs. organic production) and certain housing characteristics (e.g. outdoor farrowing, free-farrowing, farrowing lift cages). Their results, 16.4 ± 1.3 total born, 15.2 ± 1.0 live born and 12.7 ± 1.0 weaned per litter, are associated with variable and increasing mortality rates: 22.3 ± 5.3 % and 15.8 ± 4.8 % mortality for total born and live born respectively. A herd typology was developed using hierarchical ascendant classification. Five distinct groups were identified that had contrasting numbers of weaned piglets, with different characteristics and combinations of results. Analysis of these groups shows that despite unfavorable correlation between large litters and pre-weaning survival, high mortality can occur with all litter sizes. However, some farms were able to reconcile good weaning performance, large litter sizes and low pre-weaning mortality. These results highlight possible benefits of a multicriterial approach for setting farm targets.

INTRODUCTION

Avec un taux de mortalité totale qui reste encore en moyenne supérieur à 20 %, la survie des porcelets en maternité est un enjeu technique, économique et sociétal majeur (Baxter *et al.*, 2020). Les facteurs de risque de mortalité en maternité sont bien connus (Alonso-Spilsbury *et al.*, 2007) et sont en lien avec les tailles des portées (Aubry *et al.*, 2021). Ils dépendent aussi des caractéristiques des porcelets (poids de naissance, maturité, prise colostrale, santé ...), des truies (durée de gestation, âge, alimentation, état corporel, santé, comportement, génétique...), du déroulement de la mise bas, du confort thermique, du type de logement et des interventions réalisées (Tucker *et al.*, 2020 ; Baxter *et al.*, 2020). Leur nature multifactorielle les rend difficiles à maîtriser (Lemoine *et al.*, 2018). Ceci, associé à une diversité de caractéristiques d'élevages, explique largement la variabilité des résultats (Aubry *et al.*, 2021). Le développement de « maternités liberté » fait craindre une aggravation des risques d'écrasement en partie maîtrisables par une contention partielle (Goumon *et al.*, 2022). Les résultats publiés en France dans ce type de logement sont encore rares, et concernent surtout des élevages biologiques (Prunier *et al.*, 2014). Dans une démarche de progrès, la diversité des profils de mortalité identifiée par Pandolfi *et al.* (2018), sur un échantillon d'élevages limité, pourrait être utile pour mieux définir les priorités. L'objectif de l'étude est d'analyser la forte variabilité des résultats des élevages français et de caractériser les profils qui concilient le mieux performances de sevrage et survie en maternité selon leurs niveaux de prolificité.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données utilisées

L'étude est réalisée à partir des performances des élevages ayant participé en 2022 au calcul de références de Gestion Technique des Troupeaux de Truies (GTTT) du dispositif GT-PORC géré par l'Ifip. La typologie porte ainsi sur les résultats GTTT de 1 013 élevages, auxquels ont été ajoutés les variables 'Nourrices %', 'Allaitement artificiel %' et 'Nourrice + allait. artif %', lesquelles représentent respectivement les taux de recours aux truies nourrices, aux allaitements artificiels, et à l'ensemble de ces sevrages alternatifs. Les élevages sont caractérisés par différentes codifications précisant en particulier le mode d'élevage (conventionnel ou biologique, plein air ou bâtiment, Label Rouge Fermier), la région, la taille ou l'organisation en maternité collective. Le mode de logement des truies en maternité est également caractérisé, avec mise en liberté ou non, et présence ou absence de cages ascenseurs. Récemment intégrées au dispositif, ces codifications ne sont pas connues pour l'ensemble des élevages suivis.

1.2. Analyses statistiques

Les performances (variables quantitatives) de l'ensemble des 1 013 élevages ont fait l'objet d'une analyse des corrélations et d'une ACP (Analyse en Composantes Principales). Les variables actives ont été analysées en combinaison avec une sélection de variables qualitatives grâce à une AFDM (Analyse Factorielle de Données Mixtes) (R Core Team, 2020). Les variables correspondant à des modalités faiblement représentées (cages ascenseurs et maternités liberté) sont utilisées comme variables supplémentaires, sans contribution propre. Les résultats ont été analysés pour réaliser une classification

hiérarchique ascendante consolidée (avec une classification k-means). Le nombre de groupes retenus a été déterminé à partir de l'analyse des variances intra et inter groupes. Dans le cas où la différence était minime entre les nombres de groupes possibles, alors le choix du nombre de groupes s'est porté sur la facilité d'interprétabilité des groupes, c'est-à-dire le niveau de contribution de nos variables d'intérêt : tailles de portées nées, sevrées, et critères de mortalité. Les caractéristiques des groupes ont été précisées en analysant le degré de contribution des variables pour chaque groupe de la classification. Ils ont été comparés entre eux avec des tests de Welch, Student ou Wilcoxon (variables quantitatives) et de Khi deux ou Fisher (variables qualitatives). Après classement des éleveurs selon les tailles de portées sevrées, la même méthode a été appliquée au 1/3 supérieur des élevages.

2. RESULTATS

2.1. Résultats moyens et évolutions

La taille de portée des truies au sevrage est en constante augmentation, et atteint 13,0 porcelets sevrés par portée (SV) en 2022 chez les élevages conventionnels (IFIP, GTTT GT-PORC, non publié). La figure 1 souligne l'augmentation régulière de la prolificité des truies, qui s'élève à 15,4 porcelets nés vivants par portée (NV) en 2022 (+3,2 porcelets en 20 ans). Le gain annuel est passé de +0,1 NV avant 2017, à +0,3 NV depuis. Cette accélération s'est accompagnée d'une hausse concomitante des pertes en maternité, avec un taux de pertes sur nés vivants (PNV) de 15,1 % en 2022, lequel contribue à réduire le gain de prolificité au sevrage.

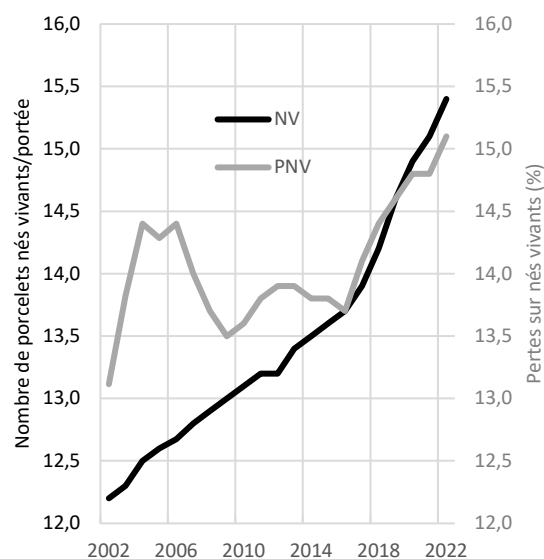


Figure 1 – Evolution conjointe du nombre de porcelets nés vivants par portée (NV) et du taux de pertes sur nés vivants (PNV) de 2002 à 2022

La variabilité des performances reste importante, avec 13,8 et 14,4 SV pour respectivement les 33% et 10% meilleurs élevages triés selon la productivité annuelle. Ces élevages bénéficient de tailles de portées à la naissance plus élevées que la moyenne (respectivement + 0,5 et + 1,1 NV), tout en maîtrisant mieux les pertes en maternité (- 2,6 et - 1,8 points).

L'écart entre les 33 % meilleurs et moins bons élevages triés spécifiquement sur la taille de portée au sevrage était similaire en 2002 et en 2012, de l'ordre de + 1,6 SV, et s'est creusé ces dix dernières années pour atteindre + 2,1 porcelets en 2022, signe d'une moins bonne maîtrise en maternité pour de plus en plus d'éleveurs.

2.2. Typologie des élevages

2.2.1. Ensemble des élevages

Les six premières dimensions de l'AFDM réalisée sur les résultats de 2022 à partir de 15 variables quantitatives et cinq variables qualitatives, permettent d'expliquer 63% de l'information contenue dans notre jeu de données. Après classification, cinq groupes d'élevages distincts sont identifiés. Les huit variables quantitatives ayant les plus fortes contributions sont par ordre décroissant : le taux de recours total aux nourrices et à l'allaitement artificiel (0,58), la taille de portée sevrée (0,45), la fréquence des nourrices (0,38), le taux de pertes sur nés vivants (0,38), les nombres de nés totaux (0,37) et nés vivants (0,34) par portée et l'âge au sevrage (0,30). Concernant les variables qualitatives, la contribution est plus forte pour le mode d'élevage (biologique vs conventionnel), puis pour la région, la taille (nombre de truies présentes), le mode de logement et l'organisation en maternités collectives. Les contributions significatives les plus faibles (<0,10) concernent le taux de momifiés, l'âge à la mise bas et le taux de premières portées. La taille de portée sevrée, les taux de mort-nés et de momifiés, le taux de fertilité, la région et la taille contribuent à définir tous les groupes, mais le nombre de variables significatives varie entre 8 (groupe 1) et 13 (groupes 2 et 3). Les résultats et caractéristiques des groupes sont détaillés dans le tableau 1. L'analyse aboutit à un classement des groupes selon les performances au sevrage croissantes, mais avec des combinaisons de tailles de portées et de mortalités différentes. Les groupes 1 et 2 (1 % et 12 % des élevages respectivement) ont des performances au sevrage identiques et les plus faibles (< 12 SV), mais leurs caractéristiques sont très différentes. Le groupe 1 correspond à la production biologique en bâtiment ou plein air et de petite taille. Leur prolificité est similaire à celle des groupes qui sevrant plus. La mortalité y est maximale : 30,9 % de pertes sur nés totaux (PNT) et 22,6 % sur nés vivants, et taux de mort-nés (TMN) de 10,6 %, pour un taux de momifiés faible. Le taux de premières portées y est plus élevé que dans les autres groupes et la fertilité moins bonne (86,2 %). En lien avec le cahier des charges biologique, les maternités sont en liberté et l'âge au sevrage plus élevé. Dans le groupe 2, le faible nombre de sevrés est associé aux prolificités les plus faibles (14,8 NT et 13,8 NV) et à des mortalités moyennes, mais impactantes : 21,2 % de PNT. Truies nourrices et allaitement artificiel sont présents mais à des fréquences plus faibles que dans les autres groupes. La fertilité est également faible (86,8 %) et les truies plus âgées que la moyenne (26,6 vs 25,9 mois). On y trouve 96 % des élevages Ultramarins (DOM) et des troupeaux de petite taille. Les cages ascenseurs sont présentes à un taux élevé (16 %), et les maternités en liberté rares (2 %).

Les performances au sevrage du groupe 3 (42 % des élevages) sont moyennes (12,4 SV), malgré des tailles de portées légèrement supérieures à la moyenne (16,7 NT et 15,3 NV vs 16,4 NT et 15,2 NV). C'est le groupe aux mortalités les plus élevées après le groupe 1 : 25,6 % de PNT, 18,7 % de PNV et 8,5 % de TMN. Il s'agit d'élevages métropolitains conventionnels en bâtiment, de taille moyenne et situés pour moitié hors Bretagne. Leur fertilité est moyenne, avec un peu plus de recours aux nourrices et à l'allaitement artificiel, peu de cages ascenseurs (5 %) et de maternités liberté (4 %).

Le groupe 4 (34 % de l'échantillon) dispose de meilleurs résultats au sevrage que les groupes précédents (13,2 SV), avec les mortalités les plus faibles : 18,1 % de PNT, 12,3 % de PNV et 6,7 % de TMN. Les prolificités y sont un peu plus basses que dans les groupes 1, 3 et 5, avec 16,2 NT et 15,1 NV.

La fertilité y est bonne et le recours aux nourrices et à l'allaitement artificiel plus fréquent. Ces élevages sont à plus de 70 % en Bretagne, de grande taille, avec 12 % de maternités collectives. Les cages ascenseurs sont plus fréquentes (13 %), avec parfois des maternités liberté (7 %).

Le groupe 5 (9 % de l'échantillon), correspond aux élevages qui sevrant le maximum de porcelets (14,1 SV), avec les prolificités les plus élevées (18,1 NT et 16,6 NV). Les mortalités sont supérieures à celles du groupe 4 (21,9 % vs 18,1 % PNT et 15,0 vs 12,3 % PNV), mais inférieures à celles du groupe 3 (21,9 vs 25,6 % PNT et 15,0 vs 18,7 % PNV). La durée de gestation est plus longue (115,8 vs 114,9 jours sur l'ensemble des élevages) et le recours aux nourrices et à l'allaitement artificiel est maximum (8% vs 1,4% sur l'ensemble des élevages). Les fertilité, âge au sevrage, taille, région et type de logement sont comparables à ceux du groupe 4, avec moins de cages ascenseurs (7 %) et pas de maternités liberté.

Les principales variables contributives à la constitution des groupes sont aussi les plus fortement corrélées au nombre de sevrés : positivement pour les NT, NV, taux de recours aux sevrages alternatifs, et négativement pour les taux de pertes (Tableau 2).

Tableau 2 - Corrélations de Pearson significatives ($P < 0,05$) entre les résultats moyens d'élevages en 2022 (N=1013 élevages)

| | SV | NT | NV | PNT | PNV | TMN | TMM |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| NT | 0,63 | | | | | | |
| NV | 0,72 | | | | | | |
| PNT | -0,42 | 0,44 | 0,37 | | | | |
| PNV | -0,45 | 0,38 | 0,29 | 0,94 | | | |
| TMN | -0,14 | 0,38 | 0,10 | 0,61 | 0,32 | | |
| TMM | 0,24 | 0,19 | 0,20 | NS | -0,07 | NS | |
| DG | 0,30 | 0,34 | 0,29 | NS | NS | 0,21 | NS |
| NAA | 0,45 | 0,37 | 0,38 | -0,09 | -0,12 | NS | NS |
| TFS1 | 0,38 | 0,18 | 0,25 | -0,24 | -0,21 | -0,18 | 0,09 |
| AMB | -0,29 | -0,24 | -0,30 | NS | NS | 0,12 | NS |
| TP1 | NS | 0,09 | 0,09 | NS | NS | NS | NS |
| NTP | 0,31 | 0,20 | 0,23 | -0,13 | -0,14 | NS | 0,27 |
| ASV | -0,24 | NS | -0,08 | 0,23 | 0,23 | 0,10 | -0,08 |

SV : sevrés/portée ; NT : nés totaux/portée ; NV : nés vivants/portée ; PNT : pertes sur nés totaux ; PNV : pertes sur nés vivants ; TMN : taux de mort-nés ; TMM : taux de momifiés ; DG : durée gestation ; NAA : Nourrices et allaitement artificiel ; TFS1 : Taux fécondation saillie 1^{ère} ; AMB : Age mise bas ; TP1 : Taux 1^{ères} portées ; NTP : nombre de truies présentes ; ASV : âge sevrage

Gras : Corrélations > 0,40. *Ital.* : Corrélations < 0,20

La relation positive entre le nombre de sevrés et de nés vivants est visible sur le premier graphique de la figure 2. Il permet de visualiser à la fois la variabilité des résultats et les spécificités des élevages des groupes identifiés. Les groupes 3 et 4 en particulier, se situent dans une même plage de NV mais avec des tailles de portées sevrées différentes et des PNV bien mieux maîtrisées dans le groupe 4.

La figure 3 montre que les élevages équipés de cages ascenseurs (N=63) sont présents dans tous les groupes d'élevages conventionnels en particulier dans le groupe 4, mais avec des effets variables sur la mortalité et le nombre de sevrés. Les données relatives aux maternités liberté (N=39) sont encore insuffisantes pour analyser leurs résultats. Elles sont néanmoins présentes dans tous les groupes avec des taux de survies et nombres de sevrés variables, comparables à de nombreux élevages « classiques ».

2.2.2. *Elevages les plus performants au sevrage*

L'analyse typologique a été appliquée au sous-échantillon des 332 élevages ayant les meilleurs résultats au sevrage : 13,8 SV et 17,2 NT en moyenne. Dans ce tiers supérieur ne figure aucun élevage biologique ou plein air, mais 10% des élevages DOM. On obtient 4 groupes décrits par 8 à 15 variables contributives, dont les mortalités sont moyennes (A), minimales (B), ou élevées (C et D). Le groupe D (14 % des élevages) s'apparente au groupe 5 de la typologie générale, avec des performances de sevrage les plus élevées (14,4 SV), et les tailles de portées (19,3 NT et 17,5 NV) et mortalités les plus fortes, malgré un recours élevé aux nourrices ou allaitements artificiels.

La durée de gestation est maximum (116,5 jours), mais la fertilité est la moins bonne (90,4%). Il s'agit d'élevages de très grande taille, avec des maternités collectives, peu de cages ascenseur (7 %) ou de maternités liberté (3 %). Les trois autres groupes ont des performances au sevrage moindres mais similaires (13,5 à 13,8 SV), avec de très bonnes fertilités. Le groupe B (47 % de l'effectif) allie prolificité modérée (16,5 NT) et pertes minimales (10,7 % de PNV et 6,4 % de TMN). Les sevrages alternatifs caractérisent moins ce groupe. Il s'agit aussi de très grands troupeaux, majoritairement bretons, sans maternités collectives, avec peu de cages ascenseur ou de maternités liberté.

Tableau 1 - Typologie et caractéristiques générales de l'ensemble des élevages sur la base des résultats obtenus en 2022.

| | Ensemble | Groupe 1 | Groupe 2 | Groupe 3 | Groupe 4 | Groupe 5 | |
|--|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Nombre d'élevages | 1013 | 14 | 121 | 427 | 342 | 93 | |
| Variables actives¹ | | | | | | | p-value |
| Sevrés/portée | 12,7 (1,0) | 11,4 (0,9) ^a | 11,7 (1,0) ^a | 12,4 (0,7) | 13,2 (0,7) | 14,1 (0,8) | <0,001 |
| Nés totaux/portée | 16,4 (1,3) | 16,6 (1,1) ^a | 14,8 (1,3) | 16,7 (1,0) ^a | 16,2 (0,8) | 18,1 (1,3) | <0,001 |
| Nés vivants /portée | 15,2 (1,1) | 14,8 (0,9) ^a | 13,8 (1,1) | 15,3 (0,9) ^{ab} | 15,1 (0,8) ^{ac} | 16,6 (1,0) | <0,001 |
| Pertes sur nés totaux, % | 22,3 (5,3) | 30,9 (7,1) | 21,2 (6,0) ^a | 25,6 (3,5) | 18,1 (3,4) | 21,9 (4,6) ^a | <0,001 |
| Pertes sur nés vivants, % | 15,8 (4,8) | 22,6 (8,1) | 15,4 (4,8) ^a | 18,7 (3,7) | 12,3 (3,1) | 15,0 (3,7) ^a | <0,001 |
| Taux de mort-nés, % | 7,7 (2,2) | 10,6 (4,7) ^a | 6,9 (3,0) ^b | 8,5 (1,7) ^{ac} | 6,7 (1,6) ^b | 8,2 (2,1) ^{ac} | <0,001 |
| Taux de momifiés, % | 1,6 (1,1) | 0,8 (1,0) | 1,4 (1,3) ^a | 1,5 (1,0) ^a | 1,8 (1,1) ^b | 2,1 (1,2) ^b | <0,001 |
| Durée gestation, j | 114,9 (0,9) | 115,2 (1,3) ^a | 114,2 (0,6) | 114,8 (0,8) ^{ab} | 114,9 (0,7) ^{ac} | 115,8 (1,0) ^{ad} | <0,001 |
| Age au sevrage, j | 24,8 (3,8) | 39,9 (3,9) | 26,3 (2,6) | 25,2 (3,2) | 23,4 (3,3) ^a | 24,2 (3,1) ^a | <0,001 |
| Fécondation Saillie 1 ^{ère} , % | 89,9 (5,3) | 86,2 (8,0) ^a | 86,8 (8,0) ^{ab} | 89,0 (4,6) ^{ac} | 91,6 (4,2) ^d | 91,6 (3,9) ^d | <0,001 |
| Taux 1 ^{ères} portées, % | 19,3 (4,5) | 25,1 (16,0) ^a | 19,6 (6,9) ^a | 19,0 (3,8) ^a | 19,4 (3,4) ^a | 19,0 (3,2) ^a | <0,001 |
| Age à la mise bas, mois | 25,9 (2,8) | 26,1 (6,8) ^a | 26,6 (3,7) ^{ab} | 26,2 (2,7) ^{ab} | 25,3 (2,2) ^{ac} | 25,6 (2,3) ^{ac} | <0,001 |
| Truies nourrices, % | 1,1 (2,8) | 0,1 (0,5) ^a | 0,0 (0,1) ^{ab} | 0,4 (1,0) ^{ac} | 0,9 (1,8) | 6,6 (5,9) | <0,001 |
| Allaitement Artif, % portée | 0,2 (0,7) | 0,0 (0,0) ^a | 0,0 (0,0) ^{ab} | 0,1 (0,4) ^{abc} | 0,2 (0,6) ^{abd} | 1,2 (1,5) ^{abe} | <0,001 |
| Nourrices + allait. Artif, % | 1,4 (2,8) | 0,1 (0,5) ^a | 0,0 (0,1) ^a | 0,5 (1,0) | 1,2 (1,8) | 8,0 (4,5) | <0,001 |
| Taille (truies présentes) | | | | | | | <0,001 |
| ≤100 | 171 (17%) | 8 (57%) | 116 (96%) | 32 (7%) | 7 (2%) | 7 (8%) | |
|]100-200] | 303 (30%) | 5 (36%) | 5 (4%) | 197 (46%) | 71 (21%) | 13 (14%) | |
|]200-300] | 276 (27%) | 1 (7%) | 0 (0%) | 126 (30%) | 118 (35%) | 28 (30%) | |
| >300 | 263 (26%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 72 (17%) | 146 (43%) | 45 (48%) | |
| Région | | | | | a | a | <0,001 |
| Bretagne | 520 (51%) | 1 (7%) | 2 (2%) | 195 (46%) | 243 (71%) | 70 (75%) | |
| Hors Bretagne | 390 (38%) | 13 (93%) | 20 (17%) | 231 (54%) | 96 (28%) | 23 (25%) | |
| DOM | 103 (10%) | 0 (0%) | 99 (82%) | 1 (0%) | 3 (1%) | 0 (0%) | |
| Logement | | | a | a | a | a | <0,001 |
| Bâtiment | 1 005 (99%) | 6 (43%) | 121 (100%) | 427 (100%) | 342 (100%) | 93 (100%) | |
| Plein Air | 8 (1%) | 8 (57%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | |
| Production Biologique | | | a | a | a | a | <0,001 |
| Non | 1 000 (99%) | 1 (7%) | 121 (100%) | 427 (100%) | 342 (100%) | 93 (100%) | |
| Oui | 13 (1%) | 13 (93%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) | |
| Maternités collectives | | a | ab | ab | ad | ad | <0,001 |
| Non | 957 (94%) | 14 (100%) | 121 (100%) | 418 (98%) | 302 (88%) | 86 (92%) | |
| Oui | 56 (6%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 9 (2%) | 40 (12%) | 7 (8%) | |
| Variables supplémentaires¹ | | | | | | | |
| Maternités liberté | | | a | a | a | a | <0,001 |
| Non | 630 (62%) | 0 (0%) | 115 (98%) | 274 (96%) | 187 (93%) | 44 (100%) | |
| Oui | 39 (4%) | 14 (100%) | 2 (2%) | 11 (4%) | 14 (7%) | 0 (0%) | |
| Cages ascenseurs | | a | ab | ac | ab | a | <0,01 |
| Non | 601 (59%) | 14 (100%) | 96 (84%) | 268 (95%) | 172 (87%) | 42 (93%) | |
| Oui | 63 (6%) | 0 (0%) | 18 (16%) | 15 (5%) | 26 (13%) | 3 (7%) | |

¹ Moyennes et écarts-types, ou Nombre d'élevages et %. ; **Variables en Gras** : Contribution à la définition du groupe statistiquement significative. Lettres identiques : pas de différence significative entre les groupes (P>0,05)

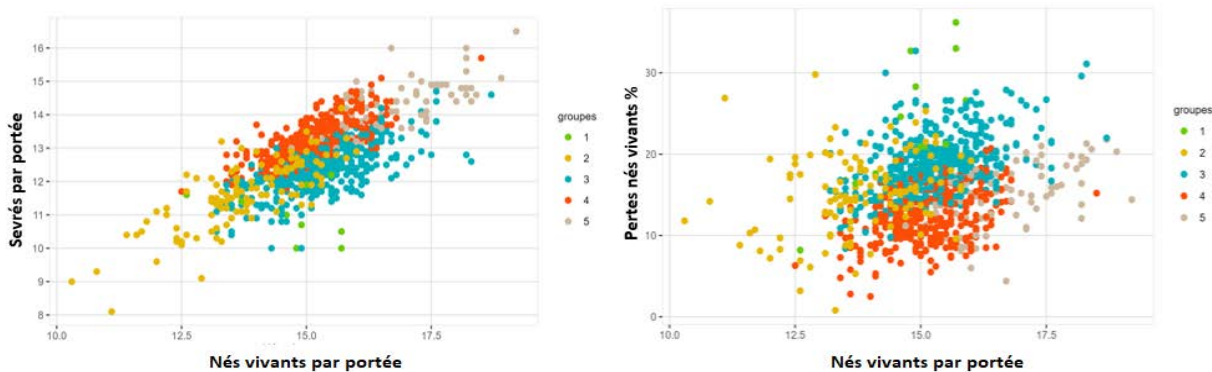


Figure 2- Relation entre le nombre de sevrés ou le taux de mortalité et la taille de portée selon les élevages et leur typologie en 2022

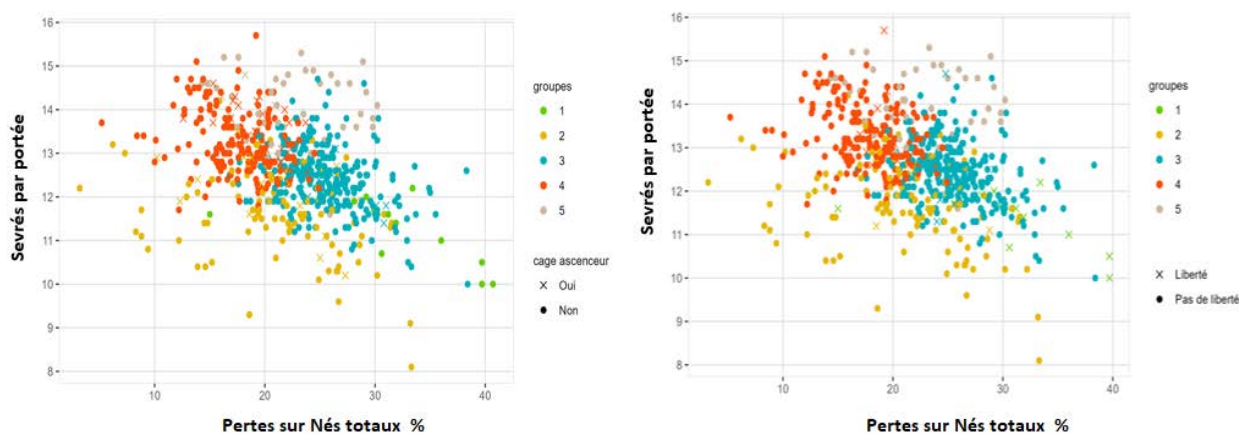


Figure 3- Relation entre le nombre de sevrés et le taux de mortalité selon la typologie et la présence de maternités en liberté (39 vs 630) ou de cages ascenseur (63 vs 601). *Seuls les élevages ayant précisé leur équipement sont représentés.*

Dans le groupe C, la prolificité (17,5 NT) et tous les critères de mortalité sont plus élevés, avec très peu de recours aux nourrices ou à l’allaitement artificiel, mais la présence fréquente de cages ascenseur (19 %). Il s’agit plutôt de grands troupeaux, situés en partie hors Bretagne, avec 7 % de maternités liberté. Les élevages du groupe A ont des profils de mortalité proches de ceux du groupe B donc plutôt faibles, mais trop variables pour bien les caractériser. Les gestations sont plus courtes et les sevrages plus tardifs. Il s’agit des élevages les plus petits, situés dans toutes les régions, dont les DOM. Les cages ascenseur sont présentes (16 %), mais pas les maternités liberté.

3. DISCUSSION

La forte augmentation concomitante récente des tailles de portées et de la mortalité confirme les observations réalisées dans de nombreux pays (Baxter *et al.*, 2020 ; Koketsu *et al.*, 2021). L’impact négatif de prolificités élevées au regard des capacités d’allaitement des truies est régulièrement pointé du doigt et un objectif de limitation à 12 ou 14 porcelets nés vivants par portée a été récemment suggéré (Nielsen *et al.*, 2022). Nos résultats montrent que dans la situation actuelle française, cette plage de tailles de portées correspond à un nombre très limité d’élevages (12%), et ne garantit pas des survies maximales, avec des tailles de portées sevrées inférieures à 12, sans doute économiquement peu soutenable dans la majorité des situations. Lorsque le nombre de nés vivant augmente, la mortalité varie selon les élevages et la qualité de l’ajustement

de l’allaitement au nombre de tétines fonctionnelles (Badouard et Boulot, 2023). Or dans une plage de 14 à 16 nés vivants, un profil d’élevages (groupe 4) parvient à sevrer plus de porcelets que les autres groupes avec des taux de mortalités maîtrisés. Dans la même plage de prolificité, les éleveurs du groupe 3 sont au contraire pénalisés par des mortalités plus élevées, voire supérieures à celles des troupeaux beaucoup plus prolifiques du groupe 5. Parmi les 33 % d’élevages aux meilleurs résultats de sevrage, près de la moitié (groupe B) ont également une bonne maîtrise de la survie. Les pratiques et facteurs associés à la bonne survie des porcelets (Tucker *et al.*, 2020) ne sont pas précisément identifiés dans cette analyse qui repose sur les seuls résultats GTTT moyens et des caractéristiques générales. Néanmoins l’effet favorable des élevages de grandes tailles et des maternités collectives est confirmé (Aubry *et al.*, 2021), en lien avec la possibilité d’avoir une main d’œuvre spécialisée et une meilleure surveillance des truies et porcelets. Un effet favorable de la localisation géographique pourrait s’expliquer de différentes manières : facteurs climatiques, environnement technique, tailles d’élevages, types génétiques spécifiques. Ainsi les élevages des DOM sont exposés à des facteurs climatiques et structurels contraignants (Renaudeau *et al.*, 2022), pouvant expliquer leurs faibles prolificités.

Les analyses réalisées à l’occasion d’audits ou avec des outils tels PERTMAT révèlent souvent des mortalités élevées en lien avec des défauts d’ajustements des tailles de portées aux capacités d’allaitement des truies (Badouard et Boulot, 2023). Dans notre étude, le taux de recours aux nourrices et à l’allaitement artificiel est bien corrélé aux tailles des portées

nées et sevrées, mais le lien favorable avec la survie est assez faible. Il est surtout fréquent dans le groupe aux prolificités maximum. L'usage de truies nourrices fait partie des bonnes pratiques d'élevage (Baxter *et al.*, 2020), mais il est impossible avec certaines conduites en bandes. De plus, l'essentiel de la mortalité se produit précocement dans les 2 à 3 jours après la naissance (Marchant *et al.*, 2000), c'est-à-dire bien avant leur utilisation. D'autres stratégies doivent donc être mises en place en amont. Moyennant des aménagements spécifiques, l'allaitement artificiel est possible dans un grand nombre d'élevages mais en raison du sevrage précoce qu'il implique, son usage devrait rester limité. D'autres stratégies d'allaitement se sont développées récemment avec succès dans les troupeaux les plus prolifiques ; distribution de lait en maternité, tétées alternées (Lemoine *et al.*, 2018, Tucker *et al.*, 2020). Ces informations n'étant pas associées aux données GTTT transmises, elles ne peuvent pas éclairer les bons résultats du groupe 3. Les cages avec ascenseur sont fréquentes dans ce groupe et pourraient contribuer à limiter la mortalité (Liu *et al.*, 2022), du moins en l'absence de facteurs de risques liés au confort thermique par exemple. Ce 1^{er} recensement partiel est donc à poursuivre pour mieux analyser la variabilité des résultats. L'identification des élevages (biologiques ou conventionnels) disposant de « maternité liberté » a débuté dans le cadre de cette étude. Il doit se poursuivre pour mieux répondre aux nombreuses interrogations sur les risques de surmortalité associés à ce mode de conduite (Ceballos *et al.*, 2021). Dans les troupeaux biologiques (groupe 1) on observe effectivement une mortalité plus élevée, mais comme montré par Prunier *et al.* (2014), surtout en cas de liberté en plein air.

Les résultats préliminaires des 39 élevages conventionnels avec des maternités en liberté sont répartis dans les différents profils, avec des résultats contrastés, souvent comparables à ceux des autres élevages. Les caractéristiques des cases, modalité de libération et expériences des truies et éleveurs pourraient expliquer la dispersion des résultats (Goumon *et al.*, 2022).

CONCLUSION

Cette étude confirme la forte variabilité des résultats de sevrage et de survie des porcelets en maternité selon les élevages. Les grandes portées jouent un rôle ambivalent dans l'explication des écarts, avec à la fois un effet très favorable sur le nombre de sevrés, et une contribution défavorable à la mortalité. L'analyse de la typologie fournit des conclusions plus nuancées. La maîtrise de la survie peut être difficile à tous les niveaux de prolificité, mais dans certaines limites, il existe des profils d'élevages conciliant bons niveaux de sevrés, prolificités élevées et maîtrise des pertes. Pour accompagner les démarches de progrès, les indicateurs GTTT devraient à l'avenir agréger de nouvelles informations, notamment pour fixer des objectifs adaptés aux maternités alternatives en liberté.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée à partir des données transmises par les éleveurs participants au dispositif de références GT-PORC et a bénéficié du soutien financier du PDAR « Réseaux d'élevage » du Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alonso-Spilsbury M., Ramirez-Necochea R., Gonzalez-Lozano M., Mota-Rojas D., Trujillo-Ortega M.E., 2007. Piglet survival in early lactation: a review. *J. Anim. Vet. Adv.*, 6, 76-86.
- Aubry A., Klinger M., Brenaut P., Bouquet A., Badouard B., 2021. Analyse des pertes en maternité et des facteurs associés : modélisation à partir des portées disponibles en Gestion Technique. 2021. Journées Rech. Porcine, 53, 65-70.
- Badouard B., Boulot S., 2023. Survie des porcelets en maternité : utilisation des nouvelles fonctionnalités de l'outil PertMat pour évaluer les pratiques de gestion des porcelets surnuméraires. Journées de la Rech. Porcine, 55, 129-130.
- Baxter E.M., Schmitt O., Pedersen L.J., 2020. Managing the litter from hyperprolific sows. In: C. Farmer (Eds), *The suckling and weaned piglet 71-106.*, Wageningen Academic Publishers 2020, DOI 10.3920/978-90-8686-894-0_3.
- Ceballos M. C., Rocha Góis K. C., Parsons T. D., Pierdon M., 2021. Impact of duration of farrowing crate closure on physical indicators of sow welfare and piglet mortality. *Animals*, 11(4), 969.
- Goumon S., Illmann G., Moustsen V. A., Baxter E. M., Edwards S. A., 2022. Review of temporary crating of farrowing and lactating sows. *Front Vet Sci.*, 9, 811810.
- Koketsu Y., Lida R., Piñeiro C., 2021. A 10-year trend in piglet pre-weaning mortality in breeding herds associated with sow herd size and number of piglets born alive. *Porcine Health Manag.*, 7(1), 1-8.
- Lemoine T., Houdouin B., Calvar C., Dubois A., Maupertuis F., Boulot S., 2018. Quelles sont les pratiques d'élevage qui favorisent la survie des porcelets en maternité ? Journées Rech. Porcine, 50, 299-304.
- Liu T., Kong N., Liu Z., Xi L., Hui X., Ma W., Li X., Cheng P., Ji Z., Yang Z., Yang X., 2022. New insights into factors affecting piglet crushing and anti-crushing techniques. *Livestock Science*, 265, 105080.
- Marchant J.N., Rudd A.R., Mendl M.T., Broom D.M., Meredith M.J., Corning S., Simmins P.H., 2000. Timing and causes of piglet mortality in alternative and conventional farrowing systems. *Vet. Rec.*, 147, 209-214.
- Nielsen S.S., Alvarez J., Bicout D.J., Calistri P., Canali E., Drewe J.A., Garin-Bastuji B., Rojas J.L.G., Schmidt G., Herskin M., Michel V., Chueca M.A.M., Mosbach-Schulz O., Padalino B., Roberts H.C., Stahl K., Velarde A., Viltrop A., Winckler C., Edwards S., Ivanova S., Leeb C., Wechsler B., Fabris C., Lima E., Van der Stede Y., Vitali M., Spolander H., 2022. Scientific opinion on the welfare of pigs on farm. *EFSA Journal* 2022; 20(8):7421, 319 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7421>.
- Pandolfi F., A. Edwards S., Robert F., Kyriazakis I., 2018. Identification des profils d'élevage en fonction des différentes causes de mortalité. Journées Rech. Porcine, 50, 293-298.
- Prunier A., Dippel S., Bochicchio D., Edwards S., Leeb C., Lindgren K., Sundrum A., Dietze K., Bonde M., 2014. Characteristics of organic pig farms in selected European countries and their possible influence on litter size and piglet mortality. *Org. Agr.* 4:163-173.
- Renaudeau D., Denece B., Corre P., Boulot S., Badouard B., Dourmad J.Y., 2022 Evaluation des impacts de la chaleur sur le taux de réussite à la saillie chez la truie. Journées Rech. Porcine, 54, 263-268
- R Core Team, 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Tucker B. S., Craig J. R., Morrison R. S., Smits R. J., Kirkwood R. N., 2021. Piglet viability: A review of identification and pre-weaning management strategies. *Animals*, 11(10), 2902.



Enquêtes en élevages et auprès d'acteurs de la filière sur la sociabilisation des porcelets en maternité : méthode, avantages et inconvénients

Camille GERARD, Nicolas KOLYTCHEFF, Claudie GUYOMARC'H, Estelle KERGUILLEC

Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 4 avenue du Chalutier Sans Pitié, 22190 Plérin, France

camille.gerard@bretagne.chambagri.fr

Enquêtes en élevages et auprès d'acteurs de la filière sur la sociabilisation des porcelets en maternité : méthode, avantages et inconvénients

Deux enquêtes ont été menées pour identifier les connaissances sur la sociabilisation des porcelets en maternité et faire un état des lieux de la pratique dans les élevages qui l'utilisent. La première enquête, basée sur les réponses de 23 professionnels de structures porcines révèle que la sociabilisation est peu présente sur le terrain et peu maîtrisée. Elle est recommandée par 56 % des personnes interrogées pour améliorer le bien-être des porcelets, réduire les bagarres en post-sevrage et favoriser l'immunité. Les professionnels qui la déconseillent sont inquiets pour les risques sanitaires. La deuxième enquête menée dans 17 élevages porcins français pratiquant la sociabilisation montre que les pratiques sont hétérogènes, tant sur l'âge des porcelets que sur les critères de sélection et le nombre de portées sociabilisées ensemble. Les points communs à ces élevages sont qu'ils retirent les cloisons entre les truies afin de mélanger les portées et que les soins et vaccinations sont très majoritairement réalisés avant le mélange des porcelets. Les avantages évoqués par les éleveurs sont la diminution des bagarres à l'entrée en post-sevrage, le gain de temps au sevrage, et l'amélioration de l'immunité des porcelets. La praticité de la technique, l'hygiène des cases de maternité, le temps supplémentaire (enlever les cloisons) sont les principaux inconvénients cités. La sociabilisation des porcelets n'est pas une pratique uniforme. Elle dépend de la configuration de l'élevage, des objectifs des éleveurs, et des caractéristiques des salles de maternité. Bien que la sociabilisation puisse offrir des avantages en termes de bien-être et de gestion des porcelets, elle nécessite une approche personnalisée pour chaque élevage. Des protocoles standardisés et des conseils spécifiques sont attendus par les professionnels et les éleveurs.

Surveys in farms and pig industry specialists on socialisation of suckling piglets: method, advantages and disadvantages

Two separate surveys were conducted to identify knowledge about piglet socialisation in farrowing pens and provide an overview of its implementation on French pig farms. The first survey, based on 23 responses from technicians, revealed that piglet socialisation is not widespread on commercial pig farms and not well understood. Overall, 56 % of the technicians advised using socialisation to improve piglet welfare, reduce post-weaning fights, and increase piglet immunity. The main argument for technicians who did not advise using socialisation piglets was health risk. The second survey, conducted on 17 French pig farms, reported that practices varied in terms of piglet age, the selection criteria for litters, and the number of litters socialised together. The common practices included removing partitions between sows to mix litters, as well as caring for and vaccinating most piglets before mixing them. According to pig farmers, the main benefits of socialisation were less aggressive behaviour at weaning, less time spent at weaning, and an increase in piglet immunity. In contrast, the main disadvantages of socialisation were the inconvenience of the technique, dirtier farrowing pens, and the additional time required to remove the partitions. It is evident that piglet socialisation is not standardised and depends greatly on the farm configuration, objectives of the farmers, and farrowing pen characteristics. While piglet socialisation can benefit animal welfare and piglet management, it requires a personalised approach. Both technicians and farmers are waiting for standardised protocols and specific guidance.

INTRODUCTION

L'intérêt des éleveurs et des consommateurs concernant le bien-être des animaux ne cesse de prendre de l'importance. En élevage porcin, l'une des pratiques recensées à ce jour consiste à regrouper des porcelets en maternité pendant la période d'allaitement, tout en les laissant en contact avec leurs mères respectives, afin de réduire, par exemple, le stress du sevrage. Cette pratique est nommée « sociabilisation » des porcelets en maternité. De nombreuses études ont abordé le sujet depuis plus de vingt ans (Pitts *et al.*, 1999, Hessel *et al.*, 2006 ; Morgan *et al.* ; 2014, Weller *et al.*, 2019). L'un des objectifs de cette méthode est de diminuer fortement le stress lors des périodes charnières de la vie d'un porc notamment le sevrage avec la séparation de sa mère et parfois de ses frères et sœurs, le changement d'environnement et de d'alimentation. De nombreux travaux montrent qu'en sociabilisant les porcelets en maternité, cette phase et la mise en place de la hiérarchie par les combats durent moins longtemps en post-sevrage, et causent nettement moins de blessures que sans sociabilisation (Camerlink *et al.*, 2018 ; Verdon *et al.*, 2020). Les affrontements restent faibles durant les 48 premières heures suivant le sevrage dans les lots sociabilisés en maternité alors que les animaux conduits sans sociabilisation demeurent, eux, plus combattifs durant les premiers jours après sevrage (Hessel *et al.*, 2006).

L'amélioration des performances des porcelets n'est pas clairement démontrée. Au moment du sevrage, les porcelets sociabilisés ne présentent pas des poids supérieurs aux porcelets témoins (Dekeuwer *et al.*, 2019). La sociabilisation des porcelets en maternité n'engendre pas une baisse de la mortalité en maternité. D'après Dekeuwer *et al.* (2019) le taux de mortalité sur nés vifs n'est pas significativement différent avec 5,6 % vs 8 % et les poids de portées sont très proches (73,0 kg pour les lots sociabilisés contre 71,2 kg pour les lots témoins). Ces données corroborent les travaux de Salazar *et al.* en 2018, qui montrent que le poids des porcelets et leur gains moyens quotidiens (GMQ) ne sont pas impactés significativement après le sevrage. D'autres auteurs (Hessel *et al.*, 2006 ; Van Kerschaver *et al.*, 2019, Ji *et al.*, 2021) observent qu'au cours des 7 jours qui suivent le sevrage, les porcelets sociabilisés présentent des GMQ plus élevés, un appétit plus important et des lésions dues aux bagarres nettement moins profondes que les porcelets non sociabilisés. La sociabilisation n'empêche cependant pas les morsures de queues observées 7 jours après le sevrage (Gavaud *et al.*, 2022),

D'un point de vue sanitaire, cette technique reste controversée du fait du mélange de plusieurs portées en maternité liés, à l'époque, à des problèmes croissants de Maladie d'Amaigrissement du Porcelet (MAP) et de Circovirus porcin de type II dans les années 1990. Madec *et al.*, (1999) déconseillent alors le mélange des portées pour éviter de propager la MAP. Aujourd'hui, elle peut être confrontée aux problèmes de diarrhées néonatales ou de méningites à streptocoques. Dans le présent projet, deux enquêtes ont été réalisées dans le but d'identifier la connaissance de cette pratique par les acteurs de la filière, d'en faire l'état des lieux dans les élevages en identifiant les objectifs de sa mise en place, la manière dont elle est pratiquée, ses avantages et inconvénients.

MATERIEL ET METHODES

1.1. Enquête 1 – acteurs de la filière

La première enquête a été conduite par téléphone auprès de 23 personnes travaillant dans des entreprises de la filière porcine,

en Bretagne et hors Bretagne. Les personnes ciblées étaient des responsables techniques et des chargés d'études. L'entretien exploratoire de type semi-directif comportait 28 questions permettant d'identifier le niveau de connaissance de cette pratique et sa mise en œuvre. Les données recueillies ont été analysées de manière descriptive. La première enquête a été menée en amont de la seconde pour affiner le questionnaire de l'enquête destinée aux éleveurs et recueillir des contacts pour la seconde.

1.2. Enquête 2 – enquête en élevage

La seconde enquête a été conduite auprès de 23 éleveurs naisseurs-engraisseurs pratiquant ou ayant pratiqué la sociabilisation : 17 élevages conventionnels ont été enquêtés sur site pour 15 d'entre eux et par téléphone pour deux autres. Six élevages conventionnels qui ont arrêté cette pratique ont été enquêtés par téléphone. Cet échantillon comporte une maternité collective avec post-sevrage. Ils sont répartis en Bretagne (10), départements limitrophes (5) et deux élevages hors Grand Ouest. Les entretiens, semi-directifs, d'environ deux heures, ont été conduits entre mars et juin 2023. Les élevages concernés devaient avoir un recul minimal de six mois sur la pratique. L'objectif était de faire un état des lieux de l'usage de la sociabilisation en élevage. Le questionnaire (184 questions) a essentiellement porté sur des éléments de conduite (moment, nombre, âge) et de bilan de satisfaction des éleveurs. Les données récoltées ont fait l'objet d'une analyse descriptive.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Enquête 1

2.1.1. Description de l'échantillon

Les 23 personnes enquêtées appartiennent à différentes structures porcines. Près de la moitié (48 %) des personnes enquêtées travaillent en groupements de producteurs ; 35 % au sein d'un cabinet vétérinaire et 18 % dans des firmes d'aliment ou autres structures. Parmi elles, 20 personnes dispensent des conseils en élevage. Huit personnes connaissent bien la technique de la sociabilisation, ayant réalisé des mesures dans des élevages, ou ayant accompagné des éleveurs à la mise en place de cette pratique. Plus de la moitié des personnes enquêtées sont des vétérinaires, l'autre moitié étant des techniciens d'élevage, des chargés d'étude en bien-être animal et des directeurs de groupement.

2.1.2. Vocabulaire emprunté et définition de cette pratique

Pour évoquer cette pratique, le choix du terme de « sociabilisation des porcelets » (74 %) est plébiscité par les enquêtés. Ils la définissent comme étant la mise en relation de porcelets de plusieurs portées en cours d'allaitement dans le double objectif de limiter leur stress au sevrage et de favoriser les contacts sociaux positifs entre porcelets logés ensemble en post-sevrage.

2.1.3. Avis et positionnements sur la sociabilisation

Un tiers des professionnels enquêtés (6/20) ont déclaré ne pas avoir de protocole établi concernant cette pratique. Les recommandations les plus fréquemment citées sont le respect des parités avec les porcelets des nullipares ensemble (8/23), l'adaptation du nombre de portées mises en relation avec la taille des cases de PS (7/23) ; le fait de ne pas sociabiliser les porcelets en cas de diarrhées (5/23).

Plus de la moitié (56 %) des professionnels enquêtés dispensant du conseil technique en élevage encouragent depuis plus de deux ans la sociabilisation, dont deux au cas par cas. Les raisons évoquées pour ne pas développer cette technique sont essentiellement d'ordre sanitaire « le risque de dérégler quelque chose qui fonctionne bien en termes sanitaires ».

A dire des enquêtés, les intérêts de la sociabilisation sont nombreux : meilleur démarrage en post-sevrage (10), amélioration du sanitaire (9), homogénéité des portées (5), diminution des bagarres et agressions en post-sevrage (5), augmentation du poids de sevrage (4). La diminution du stress au sevrage, le gain de temps au sevrage, le gain numérique de porcelets sevrés ainsi que l'arrêt de la caudectomie ont été cités trois fois chacun.

Cette pratique demeure à ce jour peu répandue sur le terrain, et seulement 24 % des structures ont suivi des essais de sociabilisation. L'attente de références parmi les professionnels enquêtés est très importante (18/20) concernant la mesure des résultats : impact sur le sanitaire, sur le gain de poids de portée, sur l'ingestion d'aliment en post-sevrage ; et le mode d'emploi.

Selon 55 % des personnes enquêtées cette pratique va se développer ; deux personnes ont évoqué la condition que les équipementiers s'emparent du sujet et que les résultats affichés soient probants.

2.2. Enquête 2

2.2.1. Description de l'échantillon des élevages enquêtés

Les élevages sont adhérents à neuf groupements de producteurs différents et un est indépendant. Les éleveurs enquêtés se sont installés entre 1984 et 2021. Ils ont en moyenne 252 truies présentes [min : 60 ; max : 593]. Plusieurs conduites en bandes sont représentées : la conduite en sept bandes (11 élevages), en quatre et cinq bandes (4) et en trois et 10 bandes (2). Treize élevages sevrant les porcelets à 28 jours d'âge et quatre élevages sevrant à 21 jours. Les schémas génétiques femelles représentés sont Topigs (6 élevages), Axiom (4), Danbred (4), Hypor (2) et Nucléus (1). La génétique mâle utilisée est majoritairement Piétrain, trois élevages utilisent du Duroc et trois autres des génétiques différentes.

2.2.2. Description des cases de maternité

La plupart des cases de maternité des élevages enquêtés sont des cases classiques avec contention de la truie (14 élevages), deux élevages sont équipés de case avec contention de la truie et ascenseur et un élevage est en maternité liberté. Les cases de maternité ont en moyenne 21 ans [min : 2 ; max : 39]. Les élevages ont majoritairement entre trois et quatre salles de maternité [min : 1 ; max : 9], et en moyenne 56 places en maternité [min : 14 ; max : 120], six élevages ont des salles tampons. Les maternités de trois élevages sont équipées de nids.

Les cases de maternité sont disposées dans les travées de 50 % de maternités dites « côte à côte » et 44 % de façon « l'une derrière l'autre ». La disposition des truies ne modifie pas la pratique. Dans 90 % des cas, lors de la sociabilisation, les couloirs de circulation sont utilisés comme espace supplémentaire de vie pour les porcelets et les cloisons sont ouvertes ou retirées du côté du couloir. Lorsque les couloirs ne sont pas utilisés, ce sont les cloisons séparatives entre les cases de truies qui sont enlevées. Les dimensions standards d'une case de maternité sont de 2,50 m de long et 1,72 m de large, soit une surface moyenne par case et par portée de 4,30 m². Lorsque le couloir est intégré à la mutualisation des cases, le

gain de place par animal augmente de 0,05 m² (pour une portée de 13 porcelets, d'après les références GTT nationales 2022).

2.2.3. Matériel utilisé pour la sociabilisation

La pratique de la sociabilisation est spécifique à chaque élevage. La technique la plus répandue pour regrouper les portées est de retirer les cloisons donnant accès aux couloirs. Les cloisons sont soit stockées dans les cases, attachées avec du fil plastique aux cloisons qui restent en place, soit en tas dans le fond de la salle, à la verticale au sol, ou à l'horizontale sur des cloisons restées en place, souvent hors de portée des porcelets. Dans trois élevages, les cloisons sont en positions ouvertes, en forme de V par exemple. Un élevage soulève les cloisons et les porcelets circulent en-dessous, et un élevage a percé des trappes dans les cloisons. Les couloirs sont occupés par les porcelets dans 11 élevages. Ils sont utilisés pour que les porcelets aient plus de surface disponible ou parce que les cloisons entre les truies ne peuvent pas être retirées facilement. Deux éleveurs circulent dans les couloirs centraux tandis que les porcelets ont accès aux couloirs latéraux. Selon quatre éleveurs, le fait que les porcelets occupent les couloirs n'est pas pratique. L'un d'entre eux explique que c'est la raison pour laquelle il les sociabilise tard (18 jours), deux autres ne sociabilisent que les portées situées au fond de la salle. Lorsque les porcelets ont accès aux couloirs, quatre éleveurs enjambent les cloisons sans que cela ne les dérange et deux lavent systématiquement leurs bottes en sortant de la salle. Lors du sevrage, 15 éleveurs réinstallent les cloisons dans les maternités, au fur et à mesure qu'ils sortent les porcelets de la maternité. L'élevage qui sociabilise avec des cases maternité liberté le fait entre deux portées et enlève la cloison entre les deux truies. Les truies n'ont pas de contact, séparées par leur barreaudage, même ouvert.

Le placement des truies dans les maternités est anticipé dans neuf élevages, selon plusieurs critères que sont la parité (5), la date de mise-bas (2) et le gabarit des truies (2). Dans huit élevages, les multipares sont placées aléatoirement dans les maternités. Dans trois de ces élevages, les cochettes sont soit regroupées soit placées près de truies multipares.

Pour 11 éleveurs, le moment propice dans la journée pour la sociabilisation des portées est le matin. Les raisons évoquées sont de type organisationnel (passage en maternité, surveillance des porcelets), et pour le bien-être des truies (meilleure acceptabilité des autres porcelets selon deux éleveurs). Cinq éleveurs n'ont pas de règles quant au moment de la sociabilisation. Ils la réalisent lorsqu'ils ont un moment dans la journée.

2.2.4. Âge des porcelets et nombre de portées sociabilisées ensemble

Tableau 1 - Âge des porcelets lors du premier jour de sociabilisation et nombre de portées sociabilisées ensemble

| Âge à la sociabilisation (jours) | Nombre élevages | Moyenne de portées sociabilisées ensemble |
|----------------------------------|-----------------|---|
| 1 | 1 | 2 |
| 4-7 | 8 | 4,8 |
| 8-10 | 6 | 8,9 |
| 18-20 | 2 | 10 |

L'âge des porcelets à la sociabilisation s'étend entre un et 20 jours (Tableau 1), huit élevages sociabilisent les porcelets entre 4 et 7 jours. Le nombre de portées sociabilisées ensemble varie également de 2 à 20 portées. L'élevage qui sociabilise à un jour d'âge ne mélange que deux portées ensemble tandis que les

élevages qui sociabilisent tard, entre 18 et 20 jours, sociabilisent jusqu'à 10 portées ensemble.

2.2.5. Sélection des portées sociabilisées

Pour 13 élevages, la sociabilisation s'envisage pour les portées de toutes les truies ; trois élevages ne sociabilisent que les portées issues de truies multipares et un élevage ne sociabilise que les issues de jeunes truies jusqu'au rang 3. Le rang de portée des truies n'est pas le critère prioritaire de sélection des portées sociabilisées. La sociabilisation n'est pas systématique dans la majorité des élevages.

Plusieurs critères sont pris en compte par les éleveurs avant de mettre en place cette pratique : (i) l'état sanitaire des portées : absence de diarrhées (11 élevages) ; (ii) état corporel des porcelets, en excluant les portées présentant des porcelets chétifs (6) ; (iii) état et comportement des truies, ni maigres ni agressives (5) ; (iv). L'âge et l'homogénéité des porcelets (3) ; (v) vivacité des porcelets, en lien avec leur âge et leur homogénéité, de façon à ce qu'ils puissent se déplacer facilement (3).

Le nombre de portées mélangées dépend de la configuration des salles de maternité et de l'allotement en post-sevrage. Les huit élevages qui sociabilisent plus de huit portées ensemble ont des salles ou des demi-salles de maternité qui correspondent à leur nombre de portées sociabilisées. La notion de praticité dans la mise en œuvre est un critère fondamental pour ces élevages. Au sevrage, 11 élevages ne modifient pas, ou peu, les groupes sociabilisés en post sevrage. Les portées réunies en maternité sont allotées ensemble ou divisées, selon le gabarit et/ou le sexe mais il n'y pas d'introduction de porcelets étranger au groupe social. Dans les modifications mineures, on trouve les petits porcelets qui peuvent se retrouver avec des porcelets venant d'autres groupes sociaux (Tableau 2). Les six éleveurs qui modifient grandement les groupes sociaux au sevrage n'ont pas pris en compte le nombre de cases et de porcelets par cases en post-sevrage pour le choix du nombre de portées sociabilisées en maternité. Les groupes sociabilisés constitués par de nombreuses portées font partie des groupes qui sont conservés lors de l'allotement en post-sevrage.

Tableau 2– Niveau de modifications des groupes sociaux lors de l'allotement des porcelets à l'entrée en post-sevrage après la sociabilisation en maternité

| Niveau de modifications | Nombre d'élevages | Nombre de portées sociabilisées ensemble |
|-------------------------|-------------------|--|
| Pas de modifications | 7 | 2 ; 3 ; 4(2) ; 6 ; 10(2) ; 14 ; 20 |
| Modifications mineures | 4 | 4 ; 5 ; 6(2) ; 8 ; 12 |
| Modifications majeures | 6 | 8 ; 2(4) ; 10 |

*(x) : nombre d'élevages concernés. En l'absence d'indication : un élevage

Toutes les portées sont sociabilisées dans sept élevages (si les conditions préalables sont réunies), dans sept autres élevages, entre 80 % et 90 % des portées sont sociabilisées. Trois élevages ne mélangent que 30 % des portées : l'un parce qu'il ne mélange que les portées de jeunes truies jusqu'au rang 3 et les deux autres par manque de praticité des salles. Parmi ces deux élevages, un élevage ne mélange que les portées au fond de la salle, pour ne pas avoir à enjamber les cloisons dans l'ensemble de la salle. Ces deux éleveurs ont déclaré qu'ils généraliseraient à toutes les portées s'ils avaient des salles plus adaptées, notamment via des trappes sur les cloisons. La proportion de portées sociabilisées ne dépend pas du nombre de cases de maternité. Dans le groupe d'élevages qui sociabilisent 30 % et

moins des portées, le nombre de places moyen de maternité par bande est de 47. Il est respectivement de 39 et de 34 pour les élevages qui sociabilisent entre 80 et 90 % de portées, et 100 % des portées.

2.2.6. Organisation du travail liée à la sociabilisation

La sociabilisation ne modifie pas le travail réalisé en maternité. Les soins aux porcelets et les vaccinations ont lieu avant la sociabilisation pour, respectivement, 16 et 14 élevages. Un des éleveurs qui vaccinent après la sociabilisation regroupe les porcelets dans deux cases et vaccine à deux personnes. Seize élevages pratiquent les adoptions avant la sociabilisation. Les stratégies d'adoptions sont diverses, deux éleveurs regroupent les petits porcelets, deux regroupent les gros porcelets, huit regroupent respectivement les petits porcelets et les gros porcelets, trois équilibrent les portées en taille et nombre. Pour un autre, la sociabilisation est une forme d'adoption. Plus de la moitié des éleveurs interrogés portent une attention particulière à la castration et ne mélangent pas leurs porcelets tant que cet acte n'est pas réalisé. Les interventions sur les porcelets sont réalisées de préférence avant la mise en groupe, afin de faciliter les manipulations. A dire de cinq éleveurs, l'ajout d'augettes supplémentaires est un gage de réussite. Trois d'entre eux utilisent du lait reconstitué afin de s'assurer de la réussite de la sociabilisation des porcelets, et permet de laisser des grosses portées sous les mères. Pour trois éleveurs, un comptage des porcelets avant mélange est indispensable, en particulier pour deux d'entre eux qui pratiquent l'autorenouvellement.

2.2.7. Effets de la sociabilisation des porcelets sur les truies

Aucun éleveur n'a constaté de signe de forte agressivité des truies, elles peuvent se lever, sentir et feindre de mordiller mais sans forte agressivité envers les autres porcelets. Selon 11 éleveurs, lors du premier jour de la sociabilisation, les truies sont calmes ou ne montrent pas de comportement inhabituel. Ils expliquent que les truies ne remarquent rien ou, lorsqu'elles sentent les porcelets, elles restent calmes. Pour cinq éleveurs, les truies sont nerveuses et pour un autre elles sont surprises. Deux éleveurs évoquent un comportement de couchage sur les tétines mais qui ne dure pas.

Concernant l'appétit de la truie, il semble inchangé pour neuf éleveurs. Trois éleveurs ont remarqué une baisse d'appétit au début de la sociabilisation ; cinq autres ne savent pas si l'appétit a changé.

A dire de 15 éleveurs, il n'y a pas de porcelets refusés par les truies à la tétée. Un éleveur évoque 20 % de porcelets refusés au cours des premières heures, et deux n'ont pas répondu. Les réactions de refus, observées de façon anecdotique par les éleveurs, sont des porcelets qui s'en vont ailleurs car une truie les a poussés du nez, ou feint de mordre et une autre qui se couche sur ses tétines.

2.2.8. Effets de la sociabilisation sur les porcelets

Les éleveurs estiment, lors de la mise en groupe des portées, que les porcelets commencent à explorer aussitôt les autres cases dans 13 élevages, une heure après dans un élevage et dans la journée pour les trois autres. L'exploration par les porcelets de leur nouvel environnement est donc rapide et montre leur forte curiosité. Le délai avant d'explorer semble être indépendant de l'âge des porcelets au premier jour de la sociabilisation puisque les porcelets des groupes qui explorent une heure après ou dans la journée ont entre 7 et 10 jours d'âge. La rencontre des porcelets issus de portées différentes entraîne des comportements agressifs dans 13 élevages.

Les éleveurs qui évoquent ces bagarres expliquent qu'elles durent très peu de temps (moins de 30 minutes) pour six éleveurs, deux heures pour trois éleveurs, respectivement 1 et 2 jours pour trois et un éleveur. Les bagarres ne sont pas considérées comme violentes. Douze éleveurs n'ont observé aucune blessure et quatre en ont observé des légères, incomparables à celles observées à la mise en lot en post-sevrage. L'appétit des porcelets est plus important pour sept éleveurs et inchangé pour six. Seuls deux éleveurs en ont la preuve avec des porcelets reconnaissables, mais 14 pensent qu'il y a des allaitements croisés, les autres préfèrent ne pas l'affirmer sans preuve. C'est cependant un comportement attendu par trois éleveurs pour homogénéiser les portées. Pour le couchage, les éleveurs font plusieurs constats : neuf observent que les porcelets se couchent en petits groupes, comparables à des groupes de portées, auprès des truies qu'ils pensent être les mères biologiques. Cinq autres expliquent que les porcelets choisissent le confort et vont sous les lampes sur les tapis ou plaques chauffantes. Quatre disent qu'ils sont disséminés partout. Les trois éleveurs équipés de nids observent que les porcelets s'y couchent. Deux autres constatent des grands groupes, et le dernier, constate des petits groupes de porcelets proches des truies biologiques ou adoptives.

2.2.9. Motivation et impact de la sociabilisation sur le travail

Les 17 éleveurs enquêtés pratiquent la sociabilisation depuis en moyenne trois ans [min : 6 mois ; max : 7 ans]. Huit éleveurs enquêtés connaissent cette technique depuis au moins cinq ans et huit autres depuis moins de cinq ans. La majorité des éleveurs (9) l'ont mise en place aussitôt qu'ils l'ont connue, trois l'ont fait sans connaître la pratique et l'ont ensuite découverte via des articles dans la presse. Quatre éleveurs l'ont mise en place un an ou moins, après l'avoir connue, un autre l'a fait deux ans après et trois autres, plus de quatre ans après.

Les principales motivations à tester cette technique, citées par les éleveurs, sont : « la facilité du sevrage » et « l'amélioration de l'immunité des porcelets » et « offrir plus d'espace aux porcelets », en leur donnant accès aux couloirs, ou en augmentant la surface disponible pour la même densité de porcelets.

La grande majorité explique être à l'initiative de l'installation de cette pratique dans leur élevage, deux par décision collective au sein de l'élevage et un motivé par son vétérinaire. Neuf d'entre eux ont bénéficié de conseils pour sa mise en œuvre.

Lors de la première mise en œuvre de la sociabilisation dans les élevages enquêtés, 11 éleveurs ont d'abord fait des tests sur quelques portées, six autres ont sociabilisé la totalité des portées. Les élevages qui ont évolué progressivement ont testé pour sept d'entre eux le nombre de portées sociabilisées ensemble et ont regroupé toute la salle ensemble (20 portées maximum dans l'échantillon), trois ont testé différents âges à la sociabilisation pour préférer la sociabilisation à 10 jours d'âge. Un a retiré l'accès des couloirs aux porcelets, trouvant qu'ils dépensaient trop d'énergie et étaient plus légers au sevrage.

2.2.10. Avantages de la sociabilisation

Les avantages en lien avec le bien-être des porcelets, le travail et le sanitaire sont les thèmes les plus relevés ; à savoir : la limitation des bagarres en post-sevrage, l'amélioration de l'immunité des porcelets et le gain de temps au sevrage (Tableau 3). Certains avantages vont de pair : par exemple, le gain de temps est, entre autres, lié au déplacement des porcelets qui est facilité.

Tableau 3 - Avantages de la sociabilisation des porcelets cités par les éleveurs enquêtés

| Thème | Avantages cités | Nombre |
|---------------------|--|--------|
| Travail | « Gagne du temps au sevrage » | 10 |
| | « Facilite les déplacements au sevrage » | 4 |
| | « Est agréable à voir » | 3 |
| Praticité | « Augmente l'espace disponible » | 8 |
| Sanitaire | « Améliore l'immunité des porcelets » | 11 |
| | « Améliore l'homogénéité des lots » | 4 |
| | « Améliore ou ne dégrade pas les performances » | 4 |
| | « Diminue le nombre de petits porcelets » | 3 |
| Performances | « Améliore les consommations en post-sevrage » | 4 |
| | « Améliore le poids de portée au sevrage » | 3 |
| Bien-être porcelets | « Limite les bagarres en post-sevrage » | 15 |
| | « Augmente la sociabilité des porcelets » | 9 |
| | « Diminue le stress du sevrage » | 6 |
| | « Sert de 1 ^{ère} étape pour envisager d'arrêter la caudectomie » | 3 |

2.2.11. Les difficultés liées à la sociabilisation

Selon cinq éleveurs, la sociabilisation ne présente aucun inconvénient. La diversité des inconvénients cités par les éleveurs est plus importante que celle des avantages (Tableau 4). Cependant, 10 inconvénients n'ont été cités qu'une seule fois. Les difficultés les plus relevées concernent la praticité, le sanitaire et le travail.

Tableau 4 - Inconvénients à la sociabilisation des porcelets cités plus d'une fois par les éleveurs enquêtés

| Thème | Inconvénients cités | Nombre |
|-----------|--|--------|
| Praticité | « Conception inadaptées des cases » | 4 |
| | « Déplacement dans les cases » | 3 |
| | « Nécessité d'enjamber les cloisons » | 3 |
| | « Difficulté à attraper les porcelets » | 2 |
| | « Manutention et stockage des cloisons » | 2 |
| Sanitaire | « Augmentation de la surface salie » | 3 |
| Travail | « Augmentation du travail » | 2 |
| | « Nécessité de temps pour le mélange » | 2 |

Parmi les six éleveurs ayant arrêté la sociabilisation, quatre l'ont fait par manque de praticité des salles de maternité et aimeraient la rétablir s'ils rénovaient leur maternité ; un a arrêté car il a changé sa méthode d'allotement des porcelets en post-sevrage—il ne mélange plus de portées— ainsi il estime ne plus en avoir besoin ; le dernier avait constaté des symptômes de MAP sur ses porcelets.

3. DISCUSSION

Un décalage apparaît entre les principales recommandations que formulent les vétérinaires et techniciens des structures

enquêtés et les pratiques de sociabilisation dans les élevages. C'est le cas notamment de la sociabilisation de portées de truies de même parité, surtout des primipares, principale recommandation des professionnels et pratiquée par seulement 18 % des élevages. Cette recommandation s'explique par la quantité et qualité de leur colostrum qui diffère de celui des truies multipares (Cabrera *et al.*, 2012). La seconde recommandation des professionnels est d'adapter le nombre de portées regroupées avec la taille des cases de post-sevrage. Là encore, les pratiques diffèrent : le nombre de portées sociabilisées dans une même salle est très hétérogène, allant de deux portées à toutes les portées, sans lien strict avec les cases de post-sevrage. Six éleveurs modifient les groupes sociaux créés en maternité lors du sevrage, ils constatent tout de même moins de bagarres en post-sevrage mais leur priorité est surtout sur les impacts en maternité, ils veulent « sevrer plus », « homogénéiser les portées », « soulager les truies ». L'absence de problèmes digestifs chez les porcelets est respectée avant leur sociabilisation. Cet écart entre les recommandations et les pratiques est lié à l'absence de protocole précis et validé sur les méthodes de sociabilisation. Effectivement, la plupart des structures n'ont à ce jour aucun mode d'emploi concernant cette technique. Une seconde explication peut être la grande hétérogénéité de conduites dans les élevages, de conception de salles de maternité et de cohérence de chaîne de bâtiments. Les éleveurs adoptent les solutions qui leur semblent les plus pratiques, souvent en expérimentant par eux-mêmes. La majorité des éleveurs ne constatent pas d'impact défavorable de la sociabilisation sur le comportement des truies et des porcelets. Dekeuwer *et al.*, (2019) observent également que seulement une truie sur 12 semblait plus nerveuse au moment du regroupement des porcelets. Les truies acceptent d'allaiter les porcelets qui ne sont pas les leurs. Pour les porcelets, les comportements agressifs sont faibles et laissent peu de trace, comme l'avait observé Dekeuwer *et al.* (2019). L'immunité et le sanitaire sont à la fois des arguments en faveur et contre la pratique de la

sociabilisation, Gavaud *et al.* (2019) n'a pas démontré de grande influence de la sociabilisation sur l'immunité.

La sociabilisation des porcelets ne semble pas améliorer les performances de croissance des porcelets, que ce soit dans la bibliographie ou aux dires des éleveurs enquêtés dans l'étude (Van Kerschaver *et al.*, 2019). Les éleveurs témoignent que, si les performances ne sont pas améliorées, elles ne sont pas non plus dégradées. Deux éleveurs ont remarqué que les poids sevrage étaient plus légers et le relient à une activité physique supérieure, d'autres qu'ils sevrèrent plus de porcelets. Les éleveurs enquêtés sont davantage motivés par des d'autres intérêts que la simple performance.

CONCLUSION

Si, pour les éleveurs enquêtés, la sociabilisation participe au respect du bien-être animal, à leur plaisir au travail mais aussi au gain de temps permis au moment du sevrage, elle n'est pas généralisable à tous les élevages. Il est nécessaire d'étudier le ratio bénéfiques/risques avant de la mettre en place. Dans les élevages où le niveau sanitaire est dégradé, la sociabilisation n'est probablement pas une pratique à développer en première intention. Aucun protocole clair, pourtant attendu par 90 % des professionnels et 60 % des éleveurs, n'émerge de cette étude qui illustre au contraire la diversité des pratiques en élevages. Plusieurs des questions soulevées lors de ces enquêtes sur les performances ou le comportement des animaux seront prochainement évaluées lors d'essais à venir à la station expérimentale de Crécom.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du support financier du Comité Régional Porcin de Bretagne et des organisations de producteurs Eureden, Porc Armor Evolution et Porélia. Les auteurs remercient vivement les éleveurs et professionnels qui ont répondu aux enquêtes et collaboré au bon déroulement de cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cabrera R.A., Lin X., Campbell J.M., Moeser A.J., Odle J., 2012. Influence of birth order, birth weight, colostrum and serum immunoglobulin G on neonatal piglet survival. *J Animal Sci Biotechnol* 3, 42
- Camerlink I., Farish M., D'Eath R. B., Arnott G., Turner S. P., 2018. Long term benefits on social behaviour after early socialization of piglets. *Animals*, 8(11), 192
- Dekeuwer A., Hurdebise J., Laitat M., Wavreille J., 2019. Socialisation des porcelets en maternité : effets sur le comportement et les performances. *Journées Rech. Porcine*, 51, 1-6.
- Gavaud S., Haurogne K., Buchet A., Garcia-Vinado I., Allard M., Leblanc-Maridor M., Bach J.M., Belloc C., Lieubeau B., Herve J., 2022. Comment améliorer les pratiques de sevrage en élevage commercial de porcs ? : Conséquences sur la santé et le bien-être des animaux. *Journées Rech. Porcines*, 54, 281-286
- Hessel E.F., Reiners K., Van Den Weghe H.F.A., 2006. Socializing piglets before weaning: Effects on behavior of lactating sows, pre-and post-weaning behavior, and performance of piglets. *J. Anim. Sci.*, 84(10):2847-55
- Ji W., Bi Y., Cheng Z., Liu R., Zhang X., SHU Y., LI X., Bao J., Liu H., 2021. Impact of early socialization environment on social behavior, physiology and growth performance of weaned piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 238(5762):105314
- Madec F., Eveno E., Morvan P., Hamon L., Morvan H., Albina E., Truong C., Hutet E., Cariolet R., Arnaud C., Jestin A., 1999. La Maladie de l'Amaigrissement du Porcelet (MAP) en France, *Journées Rech. Porcine*, 31, 347-354.
- Morgan T., Pluske J., Miller D., Collins T., Barnes A.L., 2014. Socialising piglets in lactation positively affects their post-weaning behavior. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 158, 23-33.
- Pitts A., Weary D. M., Pajor E. A., Fraser D., 1999. Mixing at young ages educates fighting in unacquainted domestic pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 68(3),191-197
- Salazar L.C., KO H., Yang C., Llonch L., Manteca X., Camerlink I., Llonch P., 2018. Early socializing as a strategy to increase piglets' social skills in intensive farming conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 206,25-31
- Van Kerschaver C., Degroote J., Palmans S., Vandaele M., Fremaut D., Michiels J., 2019. Effet du logement en groupe des porcelets pendant l'allaitement sur la performance et le comportement agressif après sevrage. *Journées Rech. Porcine*,51, 51-52
- Verdon M., Morrison R.S., Rault J-L., 2020. The welfare and productivity of sows and piglets in group lactation from 7, 10, 14 D postpartum. *J. Anim. Sci.*, 98(3), 1-11.
- Weller J., Camerlink I., Turner S., Farish M., Arnott G., 2019. Socialisation and its effect on play behaviour and aggression in the domestic pig (*Sus scrofa*). *Nature, Scientific Reports*, 9, 1-11



Évaluation des effets de la socialisation précoce sur la croissance, la santé et le bien-être des porcs

Solenn GAVAUD (1)*, Cyrielle PERRIER (1)*, Alexis NALOVIC (2), Julie LION (1), Anissa JAHOU (1),
Dominique MARCHAND (2), Catherine BELLOC (3), Blandine LIEUBEAU (1), Julie HERVÉ (1)

(1) Oniris, INRAE, IECM, 101 route de Gachet, 44300 Nantes, France

(2) Réseau Cristal, EPIDALIS, 13 Boulevard Denis Papin, 35500 Vitré, France

(3) Oniris, INRAE, BIOEPAR, 101 route de Gachet, 44300 Nantes, France

* : co-premiers auteurs

julie.herve@oniris-nantes.fr

Avec la collaboration de Vincent MÜLLER, Laurent WERNER et Fabrizio TATONE

Évaluation des effets de la socialisation précoce sur la croissance, la santé et le bien-être des porcs

De nos jours, le système d'élevage conventionnel de porcs en bâtiment, est questionné par les citoyens, tant sur son empreinte environnementale que sur le respect du bien-être animal. Identifier des solutions facilement transposables sur le terrain, qui améliorent la santé et le bien-être des animaux, constitue un enjeu majeur. Ainsi, la socialisation en maternité apparaît comme un levier pertinent pour répondre à ces objectifs. Le retrait des cloisons entre les cases maternités permet ainsi aux porcelets de se mélanger en maintenant la claustration des truies. Dans ce contexte, nous avons comparé dans quatre élevages commerciaux, le bien-être, la croissance et la santé de porcs élevés, avec ou sans socialisation dès 14 jours d'âge (J14). La socialisation n'a impacté ni la santé, ni la croissance des porcs. Immédiatement après le mélange des portées à J14, le groupe socialisé présentait plus de comportements exploratoires que les témoins (14,6 vs 3,2%, $P < 0,001$) et des interactions sociales positives plus fréquentes (5,0 vs 1,9%, $P < 0,01$). Au sevrage, les porcelets socialisés présentaient des concentrations en cortisol salivaire plus faibles que les témoins (10,6 vs 13,8 ng/ml, $P < 0,05$) et des comportements sociaux positifs plus fréquents (10,0 vs 2,9%, $P < 0,001$). Globalement, la sévérité des lésions corporelles des porcelets socialisés était significativement plus faible que celle des témoins ($P < 0,05$). Enfin, bien que lors de la socialisation les truies étaient moins tranquilles, en fin de lactation, la proportion des truies présentant des blessures de mamelles n'était pas différente entre les deux groupes. La socialisation précoce apparaît donc comme une voie d'évolution possible pour l'amélioration du bien-être des porcelets mais des questions persistent comme celles relatives au bien-être des truies et aux conditions de travail des éleveurs.

Evaluation of effects of early socialisation on pig growth, health and welfare

Citizens are currently raising concerns about conventional breeding systems including their environmental impacts and respect for animal welfare. Identifying realistic solutions that are easily transferable to the field and that improve animal health and welfare is a major challenge. Socialisation in the nursery appears to be a relevant mechanism for improving the health and welfare of pigs. In this context, we compared the welfare, growth and health of pigs reared with and without socialisation from 14 days of age (D14) on four commercial farms. Early socialisation did not influence the health or growth of pigs. Immediately after mixing at 14 days of age, the socialised group exhibited more exploratory behaviours than the control group (14.6 vs 3.2%, $P < 0.001$), with more frequent positive social interactions (5.0 vs 1.9%, $P < 0.01$). At weaning, pre-socialised piglets had significantly lower salivary cortisol concentrations than control piglets did (10.6 vs 13.8 ng/ml, $P < 0.05$) and exhibited more positive social behaviours (10.0 vs 2.9%, $P < 0.001$). Overall, the severity of body lesions in socialised piglets was significantly lower than in control piglets ($P < 0.05$). Finally, although the sows were less calm when their litters were mixed, the proportion of sows with lesions on udders was not different in both groups. Early socialisation therefore appears to be a possible path forward for improving the welfare of piglets, but questions remain such as those relating to the welfare of the sows and the working conditions of pig farmers.

INTRODUCTION

En élevage conventionnel, les porcelets sont exposés à de nombreux facteurs de stress, particulièrement au moment du sevrage. En effet, à cette date, les porcelets sont séparés de leur mère, leur alimentation change, et ils sont également exposés à un nouvel environnement et à des congénères non familiers, ce qui peut entraîner des combats pour le rétablissement de la hiérarchie. Ces bagarres parfois violentes peuvent conduire à des lésions corporelles de sévérité variable, un stress aigu et une altération du bien-être et de la santé des animaux (Coutelier *et al.*, 2007). La socialisation en maternité a été proposée comme un moyen de réduire l'agressivité des porcelets au moment du sevrage (Peden *et al.*, 2018). Cette pratique, initiée dans les années 90, consiste à retirer les cloisons entre les cases maternités permettant ainsi aux porcelets de se mélanger librement tout en maintenant les truies bloquées dans leur case (Camerlink *et al.*, 2018). En maternité, si les porcelets socialisés rentrent plus facilement en conflit, les combats sont plus courts et les lésions de plus faible sévérité avec un établissement plus rapide de la hiérarchie (D'Eath *et al.*, 2005).

La socialisation en maternité peut être pratiquée selon différentes modalités. L'âge auquel les porcelets sont mélangés semble être un critère majeur. En effet, les porcelets mélangés dès 5 jours d'âge présentent des lésions corporelles de sévérité plus faible que les porcelets âgés de 26 jours d'âge (Pitts *et al.*, 2000). Dans la littérature, le nombre de portées mélangées est également variable. Ainsi, dans les élevages expérimentaux, le nombre de portées mélangées varie de deux à six maximum, tandis que, dans les élevages commerciaux, le nombre de portées socialisées varie entre deux et vingt (Verdon *et al.*, 2020, Camerlink *et al.*, 2018, Salazar *et al.*, 2018).

Malgré les avantages exposés ci-dessus, la socialisation en maternité n'est pas forcément perçue positivement par tous les éleveurs. En effet, lors d'une traque aux innovations conduite dans le cadre du projet PANORAMA (INRAE-MP SANBA), 60% des éleveurs interrogés ont exprimé de l'inquiétude concernant la gestion des animaux socialisés, en particulier à propos du risque d'écrasement. L'allaitement croisé soulève aussi des interrogations. En effet, ce phénomène pourrait entraîner l'épuisement de certaines truies sur-sollicitées par les porcelets (D'Eath *et al.*, 2005). Enfin, les éleveurs craignent également une augmentation de leur charge de travail pour la mise en place de la socialisation et pour le suivi des truies et des portées socialisées.

Dans ce contexte, si la socialisation des porcelets pendant la période de lactation pourrait constituer une voie d'évolution souhaitable pour les élevages de porcs, il est nécessaire de connaître l'impact réel de cette pratique sur les performances de croissance, la santé et le bien-être des porcs et des truies en élevage conventionnel commercial, ce qui est l'objectif de cette étude.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Protocole expérimental

Cette étude a été réalisée dans quatre élevages commerciaux naisseurs-engraisseurs du Grand Ouest avec une pratique conventionnelle. Le protocole expérimental a été validé par le Comité d'Éthique en Recherche clinique et épidémiologie Vétérinaire d'Oniris (CERVO-2022-21-V). Les élevages,

sélectionnés par les vétérinaires du cabinet EPIDALIS (réseau Cristal), présentent une diversité d'effectif, de génétique (Axiom/Nucleus, Axiom, DanBred, Hypor) et de pratiques, représentative de la conduite conventionnelle dans l'Ouest avec castration, caudectomie et sevrage à 28 jours. Les éleveurs devaient avoir expérimenté auparavant la socialisation en maternité et chacune de leurs maternités devait permettre d'héberger simultanément des portées socialisées et témoins.

Dans chaque élevage, deux bandes de porcs ont été suivies de la naissance à l'abattage. Pour les mesures individuelles, deux porcelets par portée (un mâle et une femelle) ont été identifiés au cours de la première semaine de vie, à l'aide de boucles Radio Frequency Identification (RFID). Dans chaque bande, des porcelets de gabarits variés mais comparables dans les deux groupes ont été sélectionnés visuellement afin de constituer des groupes le plus homogènes possible. Dans chaque bande, les portées issues de la moitié des truies ont été socialisées à partir du 14^{ème} jour de vie (J14) (groupe « socialisé »), les autres restant hébergées par portée (groupe « témoin »). Ainsi, dans trois des quatre élevages, les truies ont été hébergées dans deux salles différentes et pour le groupe socialisé cinq portées (vs. deux à trois portées pour le 4^{ème} élevage) par salle ont été mélangées. Dans chaque élevage, les soins réalisés depuis la naissance des porcelets ont été identiques dans les deux groupes. Lors du transfert en case de post-sevrage, les porcelets témoins ont été mélangés avec des congénères non-familiers issus d'autres portées, tandis que les porcelets socialisés ont été maintenus ensemble. Les visites de suivi ont été réalisées à J14, J28, J40, J68 (en fin de post-sevrage) et J150 (en fin d'engraissement).

1.2. Performances de croissance des porcelets

Les porcelets bouclés ont été pesés individuellement à trois temps différents, J14, J28 et J40, permettant le calcul du Gain Moyen Quotidien (GMQ) sur deux périodes clefs : GMQ₁₄₋₂₈ entre le début de la socialisation (J14) et le sevrage (J28) et GMQ₂₈₋₄₀ entre le sevrage (J28) et la période de milieu de post-sevrage (J40).

1.3. État général des truies et des porcs

L'état des mamelles des truies a été évalué au moment de la socialisation (J14) et au moment du sevrage (J28). Pour cette examen seule la présence de lésions a été répertoriée : 0 = absence et 1 = présence. La gravité des blessures n'a pas été évaluée.

A chaque visite de suivi, les porcs bouclés ont été observés individuellement afin d'évaluer leur état de santé à travers la recherche d'éventuels signes cliniques. La température rectale a également été mesurée au sevrage (J28) et en post-sevrage (J40). A chaque examen individuel, le nombre et la sévérité des lésions corporelles dans quatre régions (tête/cou, épaules/antérieurs, dos/ventre et postérieurs/croupe) ont été relevés selon l'échelle utilisée par Calderon Diaz *et al.* (2014) : 0 = absence de lésion ; 1 = une lésion peu étendue (< 2 cm) et superficielle ; 2 = plus d'une lésion de score 1 ou une seule lésion rouge (plus profonde que la score 1) toujours superficielle ; 3 = une ou plusieurs lésion(s) étendue(s) (sur 2 à 5 cm) et profonde(s) ; 4 = une lésion très étendue (> 5 cm), profonde et rouge ou de nombreuses lésions de score 3 ; et 5 = nombreuses lésions de score 4. Les scores par région ont été additionnés afin d'obtenir un score sur 20 du corps entier pour chaque animal. L'état des queues des porcs bouclés a été systématiquement évalué selon l'échelle de Carroll *et al.* (2018) : 0 = queue intacte,

aucun signe de morsure ; 1 = lésions légères ou cicatrisées, extrémité de la queue légèrement rouge ; 2 = signes de mastication ou de perforation sans gonflement ; 3 = signes de mastication ou de perforation avec gonflement et possibles signes d'infection ; 4 = perte partielle ou totale de la queue, nécrose.

1.4. Dosage du cortisol pileaire et salivaire

Des prélèvements de soies ont été réalisés par tonte au niveau de la nuque des porcs à J40 et J150. Le cortisol contenu dans les soies a été extrait selon la méthode précédemment décrite (Gavaud *et al.*, 2023). Un échantillon de salive a été prélevé grâce à une salivette (Sarstedt) à J28. Les concentrations de cortisol pileaire et salivaire ont été mesurées par ELISA à l'aide d'un kit Demeditec.

1.5. Analyses comportementales

A J14, les porcelets ont été observés avant la socialisation et 2h après. Le comportement de six porcelets par portée (trois mâles et trois femelles, incluant les deux bouclés) a été évalué en direct. A chacune des autres visites (J28, J40, J68 et J150), seul le comportement des porcs bouclés a été analysé. Pour chaque séquence, les observations ont été réalisées pendant environ deux minutes par case par *scan sampling*, avec deux passages successifs. Le comportement des truies en maternité a également été évalué au moment de la socialisation. L'éthogramme utilisé se base sur la posture de l'animal (couché ou debout), son activité (locomotion, interaction avec l'enrichissement, exploration de l'environnement, jeu solitaire, stéréotypie ou alimentation) et ses interactions sociales (positives tel que le jeu ou négatives tel que le combat) avec ses congénères. Un test d'approche à l'Homme a également été réalisé à J28, J40 et J68. Pour ce test, l'observateur entre dans chaque case, s'y déplace avant de s'immobiliser en son centre, il chronomètre ensuite la durée nécessaire pour que le premier animal s'approche et entre physiquement en contact avec lui.

1.6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été conduites à l'aide du logiciel R [version 4.3.0, RStudio Team (2023.03.0)]. Afin d'étudier l'effet de la socialisation sur les performances de croissance des porcs ou encore leur niveau de stress, un modèle linéaire à effets mixtes a été utilisé avec la fonction « lmer » du package « lme4 ». Ce modèle incluait en effet fixe, le traitement (témoin vs socialisé) et, en effets aléatoires, l'élevage ($n = 4$), la truie ($n = 136$), la parité (de 1 à 9) et le sexe du porcelet. Pour les paramètres mesurés à différents temps, l'âge du porcelet a été ajouté comme effet fixe et l'individu comme effet aléatoire. Le GMQ a été ajusté au poids initial de la période correspondante, ainsi, le GMQ_{14-28} a été ajusté au poids à J14 tandis que le GMQ_{28-40} a été ajusté au poids au moment du sevrage à J28.

La proportion de porcs présentant des lésions corporelles ou de la queue a été analysée dans un premier temps comme variable qualitative (absence = 0, présence = 1) à l'aide d'un modèle de régression logistique mixte incluant le traitement en maternité comme effet fixe et l'élevage, la truie, le sexe et l'individu comme effets aléatoires. Dans un deuxième temps, la sévérité des lésions corporelles et de la queue a été analysée à l'aide du modèle linéaire à effets mixtes décrit ci-dessus.

L'analyse comportementale a été réalisée à l'aide d'un modèle statistique incluant la truie en effet aléatoire et se basant sur des fréquences d'expression de comportements rapportées à

chaque portée à J14 ou au sein de chaque traitement à J28, J40 et J68. A J14, dans chaque groupe, les pourcentages ont été calculés sur un effectif total de 408 porcelets issus de 68 portées (six animaux/portée ; deux observations/porcelet avec une moyenne de huit à neuf truies/élevage/répétition et par groupe). A J28, J40 et J68, l'effectif par groupe est réduit puisque seulement deux animaux/portée ont été observés (soit 136 par groupe).

La qualité de l'ajustement de tous les modèles (normalité des résidus, homogénéité de la variance et colinéarité) a été vérifiée par des procédures graphiques et des tests de Shapiro-Wilk. Les moyennes marginales estimées (emmeans) et les limites supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance à 95% [IC95], calculées à l'aide du package « emmeans », sont rapportées dans le texte et ont été représentées graphiquement à l'aide du logiciel GraphPad Prism (version 9.3.1). Les différences ont été considérées comme significatives à partir de $P < 0,05$ et écrites en gras, tandis que celles pour lesquelles $P > 0,05$ et $P < 0,10$ ont été décrites comme des tendances et sont écrites en italique. Lorsque qu'une interaction était significative, un test de Tukey a été conduit pour affiner les résultats.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Effets de la socialisation sur la croissance des porcelets

A J14, les porcelets qui allaient être socialisés étaient significativement plus légers que les porcelets témoins (3,93kg [minimum 3,45 ; maximum 4,41] vs 4,17kg [3,68 ; 4,65], respectivement, $P < 0,05$). Cette différence de poids a été logiquement retrouvée à J28 et à J40, puisqu'aucune interaction entre le traitement et l'âge n'a été observée ($P = 0,12$).

La socialisation des porcelets en maternité n'a eu aucune influence sur le GMQ_{14-28} (témoin : 223g/j [204 ; 243] vs socialisé : 211g/j [192 ; 230], $P = 0,19$) et le GMQ_{28-40} (témoin : 226g/j [176 ; 276] vs socialisé : 236g/j [187 ; 286], $P = 0,69$). Ainsi, malgré un poids de départ inférieur, les porcelets socialisés ont eu une croissance similaire à celle des porcelets témoins. D'autres études ont étudié les effets de la socialisation sur le GMQ en post-sevrage. Ainsi, certains travaux ont rapporté un meilleur GMQ en post-sevrage chez les porcelets socialisés (Kutzer *et al.*, 2009, Gavaud *et al.*, 2023), tandis que d'autres ont également constaté l'absence d'effet de la socialisation sur la croissance de ces porcelets pendant cette période (Salazar *et al.*, 2018).

Concernant le nombre de porcelets écrasés, aucune différence significative n'a été mise en évidence avec quatre porcelets écrasés dans le groupe socialisé contre trois dans le groupe témoin (soit 2,5 vs 1,9%, $P > 0,99$, test de Fischer). Ainsi, dans notre étude, la socialisation en maternité n'a pas modifié la proportion de porcelets écrasés.

2.2. Effets de la socialisation sur le comportement des porcelets

Avant la socialisation à J14, nous n'avons pas observé de différence significative dans les comportements des porcelets des deux groupes. Au contraire, 2h après le début de la socialisation, les porcelets socialisés ont montré des comportements plus diversifiés (Tableau 1). Ainsi, exposés à un environnement plus vaste et des congénères non familiers, la proportion de porcelets allongés dans le nid était significativement moins élevée dans le groupe socialisé que dans le groupe témoin.

A l'inverse, la proportion de porcelets présentant des comportements d'exploration de leur environnement ou des interactions avec leurs congénères était significativement plus importante dans le groupe des porcelets socialisés comparé au groupe témoin (Tableau 1). Notamment, si la socialisation en maternité a entraîné une augmentation de la fréquence des combats (4% dans groupe socialisé vs 0,5% dans le groupe témoin, $P < 0,001$), elle a également entraîné une augmentation des interactions positives (5 vs 2%, $P < 0,01$) et l'apparition de comportement de jeux entre porcelets (0,6 vs 0%, $P < 0,05$). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans l'étude de Salazar *et al.* (2018).

Après le sevrage, nous avons observé une fréquence significativement plus importante d'interactions positives entre congénères chez les porcelets socialisés comparé aux porcelets témoins (10 vs 2,9% respectivement, à J28, $P < 0,001$; et 15,5 vs 5,5% à J40, $P < 0,001$). En accord, à J40, les porcelets témoins sont significativement plus nombreux à s'isoler de leurs congénères comparé aux porcelets socialisés (8 vs 0,7%, $P < 0,05$).

En fin de post-sevrage à J68, les porcelets socialisés étaient toujours plus nombreux à interagir positivement entre eux que les porcelets témoins (15 vs 7%, $P < 0,001$). Au contraire, ils étaient moins nombreux que les porcelets témoins à interagir avec les enrichissements (respectivement 3 vs 13%, $P < 0,001$) et à se nourrir (17,5 vs 23%, $P < 0,05$). Enfin, la socialisation précoce des porcelets n'a pas eu d'effet sur la relation homme-animal (délai de contact, $P = 0,40$). Le délai de contact avec l'expérimentateur diminue avec l'âge ($P < 0,01$).

2.3. Effets de la socialisation sur la santé des porcs

2.3.1. Lésions corporelles et de la queue

L'âge a eu un effet significatif sur la proportion d'animaux présentant des lésions corporelles, celle-ci étant supérieure à J68 en comparaison aux autres jours quel que soit le groupe auquel les porcelets appartiennent ($P < 0,001$). En revanche, la socialisation des porcelets n'a eu aucune influence sur la proportion d'animaux blessés, et ce, quel que soit leur âge (J28, J40 et J68 ; $P = 0,86$).

Dans l'ensemble, les blessures observées sur les animaux étaient superficielles avec des scores de sévérité globale inférieurs à 6/20. La sévérité des lésions était affectée significativement par l'âge ($P < 0,001$) et la socialisation ($P < 0,01$), sans effet de leur interaction ($P = 0,26$) (Figure 1). Ces données sont en accord avec une précédente étude au cours de laquelle une sévérité des lésions corporelles plus faible au moment du sevrage chez des porcelets pré-socialisés a été observée (Gavaud *et al.*, 2023). En effet, dans le groupe témoin, après le mélange de porcelets non familiers, des bagarres parfois violentes ont lieu pour l'établissement de la hiérarchie. Des morsures de la queue ont été observées dès J14 dans les deux groupes avant la socialisation (28% dans le groupe témoin contre 26% dans le groupe socialisé). Par la suite, la proportion d'animaux présentant des lésions de la queue n'était affectée ni par l'âge des porcelets ($P = 0,45$), ni par la socialisation ($P = 0,94$).

La sévérité des lésions de la queue est significativement affectée par l'âge ($P < 0,01$), avec un effet de l'interaction âge x socialisation qui tend à être significatif ($P = 0,06$). A J68, la sévérité des lésions de la queue des porcelets du groupe socialisé tend à être plus importante que celle du groupe témoin (post-test : $P = 0,053$).

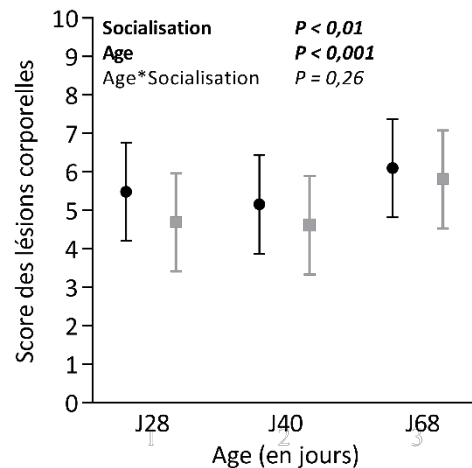


Figure 1- Sévérité des lésions corporelles des porcelets témoins (rond noir) et socialisés (carré gris) au cours du temps. Les symboles correspondent aux moyennes marginales ajustées avec les limites inférieures et supérieures des intervalles de confiance.

2.3.2. Santé des porcs

La température était significativement affectée par l'âge des porcelets indépendamment de la conduite. En effet, la température corporelle était légèrement plus élevée à J40 qu'à J28 (respectivement 39,0°C [38,8 ; 39,2] vs 38,9°C [38,7 ; 39,1], $P < 0,05$). En revanche, la socialisation n'a pas affecté la température rectale des porcelets à J28 et J40 par rapport aux témoins ($P = 0,71$).

Les prévalences d'arthrite, d'abcès ou de diarrhée n'ont pas été affectées par la socialisation des porcelets, leur âge ou l'interaction entre ces deux paramètres. Ainsi, malgré la crainte de nombreux éleveurs concernant le risque accru de propagation d'infections en maternité suite aux mélanges des porcelets, dans notre étude, la socialisation n'a pas eu d'impact négatif sur la santé des animaux.

2.4. Indicateurs de stress aigu et chronique

Au cours de cette étude, le cortisol salivaire a été utilisé au moment du sevrage comme un marqueur d'un stress aigu. Comme attendu, le taux de cortisol salivaire après le sevrage à J28 était significativement plus faible chez les porcelets socialisés comparé aux porcelets du groupe témoin (respectivement 10,6 ng/ml [6,8 ; 14,5] vs 13,8 ng/ml [9,9 ; 17,6], $P < 0,05$) (Figure 2). Le taux de cortisol salivaire n'a pas été affecté par le sexe des animaux ($P = 0,93$), ni par la mère ($P = 0,78$). Néanmoins, l'élevage dans lequel les animaux ont été élevés influence directement la concentration de cortisol salivaire ($P < 0,001$), ce qui est à mettre en relation avec des niveaux d'exposition variables aux facteurs de stress. Ainsi, la socialisation en maternité a permis de limiter le stress du sevrage.

Une corrélation positive a été mise en évidence entre la concentration en cortisol salivaire et la température rectale ($P < 0,001$). Ceci est cohérent, la mesure de la température corporelle étant un bon indicateur de stress. En effet, il a été montré qu'une hyperthermie réactionnelle était observée lorsqu'un porc était par exemple soumis à un stress de contention (Parrott et Lloyd, 1995). Enfin, le dosage du cortisol pileur a été utilisé pour évaluer le niveau de stress chronique sur la période avant J40. Les quantités de cortisol accumulées dans les soies des porcelets n'ont pas différencié entre les deux

groupes (témoin : 52,3 pg/mg [2,14 ; 258,5] ; socialisé : 56,4 pg/mg [12,7 ; 184,7], $P = 0,36$). Ni le sexe ni la parité de la mère n'a influencé la quantité de cortisol salivaire (respectivement $P = 0,58$; $P = 0,33$). Dans l'ensemble, la période de post-sevrage n'a pas été plus stressante pour les porcelets socialisés que pour les

porcelets témoins. Ceci confirme que la socialisation des porcelets en maternité a permis un échelonnement de l'exposition des animaux aux facteurs de stress ce qui doit permettre aux individus de répondre plus efficacement aux challenges auxquels ils sont confrontés.

Tableau 1 - Analyse du comportement des porcelets (en pourcentages)

| | Témoin | Socialisé | <i>P-value</i> |
|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| J14 : 2h après socialisation | | | |
| <i>Effectif portées</i> | <i>n = 68</i> | <i>n = 68</i> | |
| <i>Effectif porcelets</i> | <i>n = 408</i> | <i>n = 408</i> | |
| Allongé dans le nid | 58,0 | 28,8 | < 0,001 |
| Allongé hors du nid | 2,3 | 6,9 | < 0,001 |
| Marche | 0,6 | 3,5 | < 0,001 |
| Exploration | 3,2 | 14,6 | < 0,001 |
| Interaction avec l'enrichissement | 1,0 | 2,7 | < 0,01 |
| Interaction positive avec un porcelet | 1,9 | 5,0 | < 0,01 |
| Interaction négative avec un porcelet | 0,5 | 3,6 | < 0,001 |
| J28 : Le jour du sevrage | | | |
| <i>Effectif porcelets</i> | <i>n = 136</i> | <i>n = 136</i> | |
| Interaction avec l'enrichissement | 3,2 | 5,7 | 0,07 |
| Interaction positive avec un porcelet | 2,9 | 10,0 | < 0,001 |
| J40 : En post-sevrage | | | |
| <i>Effectif porcelets</i> | <i>n = 136</i> | <i>n = 136</i> | |
| Isolé | 7,8 | 0,7 | < 0,05 |
| Interaction positive avec un porcelet | 5,5 | 15,6 | < 0,001 |
| Interaction négative avec un porcelet | 1,1 | 0 | < 0,05 |
| J68 : En fin de post-sevrage | | | |
| <i>Effectif porcelets</i> | <i>n = 136</i> | <i>n = 136</i> | |
| Entassé | 36 | 39 | < 0,05 |
| Alimentation | 23 | 18 | < 0,05 |
| Interaction avec l'enrichissement | 13 | 3 | < 0,001 |
| Interaction positive avec un porcelet | 7 | 15 | < 0,001 |

Seuls sont mentionnés les comportements pour lesquels une différence de $P < 0,1$ a été observée. Les valeurs indiquées correspondent au pourcentage de porcelets qui présentent le comportement. Le nombre de porcelets observé à chaque temps est écrit en italique dans le tableau.

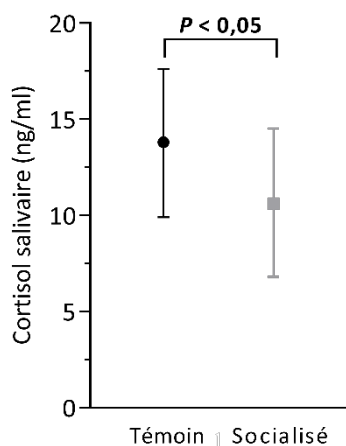


Figure 2 - Cortisol salivaire à J28 de porcelets du groupe témoin (rond noir) et socialisé (carré gris).

Les symboles représentent les moyennes marginales ajustées avec les limites inférieures et supérieures des intervalles de confiance.

2.5. Effets de la socialisation sur les truies

Une heure après le début de la socialisation, les truies du groupe témoin étaient significativement plus nombreuses à être en position couchée sur le côté en comparaison à celles du groupe socialisé (respectivement 49,3 vs 24,3%, $P < 0,01$). Cette différence de comportement traduit probablement une

vigilance accrue des truies dont les portées viennent d'être socialisées.

De plus, les lésions des mamelles ont été répertoriées le jour de la socialisation (J14) et au moment du sevrage (J28). Aucune différence significative n'a été observée sur la fréquence des truies présentant des lésions des mamelles entre les mères des porcelets socialisés et celles du groupe témoin ($P = 0,45$). Ces résultats sont en accord avec ceux de Van Kerschaver *et al.* (2021), avec dans cette étude un sevrage plus tôt à 21 jours. Les travaux de Camerlink *et al.* (2018), ont quant à eux, rapporté une augmentation des lésions sur les mamelles des truies au contact des porcelets socialisés, juste avant le sevrage, sur un nombre plus réduit de truies.

CONCLUSION

Notre travail a permis d'évaluer l'impact de la socialisation sur les performances de croissance, le bien-être et la santé des porcelets en conditions terrain dans quatre élevages conventionnels.

Comme décrit dans la littérature, la pratique de mélange des porcelets en maternité a favorisé les interactions sociales positives entre porcelets, notamment les comportements de jeu. L'effet bénéfique sur les porcelets s'est traduit, le jour du sevrage, par un niveau de stress moindre et des blessures de moindre gravité chez les animaux socialisés comparé aux animaux témoins.

En accord avec les résultats obtenus précédemment par notre équipe (Gavaud *et al.*, 2023), aucun effet délétère de la socialisation sur la croissance des porcelets, ni sur leur état de santé n'a été observé. La suite de l'étude portera sur l'évaluation des conséquences de cette stratégie sur le revenu et les conditions de travail des éleveurs.

REMERCIEMENTS

Cette étude est en partie financée par le Programme d'Investissement d'Avenir de l'État Français, via l'Association LIT Ouesterel (action : Territoire d'Innovation de grande ambition). Les auteurs remercient chaleureusement les éleveurs pour leur implication dans la mise en place du protocole.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Calderón Díaz JA., Fahey AG., Boyle LA., 2014. Effects of gestation housing system and floor type during lactation on locomotory ability; body, limb, and claw lesions; and lying-down behavior of lactating sows. *J. Anim. Sci.*, 92: 1675–1685.
- Camerlink I., Farish M., D'Eath R., Arnott G., Turner S., 2018. Long Term Benefits on Social Behaviour after Early Life Socialization of Piglets. *Animals*, 8: 192.
- Carroll GA., Boyle LA., Hanlon A., Palmer MA., Collins L., Griffin K., Armstrong D., O'Connell N.E., 2018. Identifying physiological measures of lifetime welfare status in pigs: exploring the usefulness of haptoglobin, C-reactive protein and hair cortisol sampled at the time of slaughter. *Ir. Vet. J.*, 71: 8.
- Coutellier L., Arnould C., Boissy A., Orgeur P., Prunier A., Veissier I., Meunier-Salaün M.C., 2007. Pig's responses to repeated social regrouping and relocation during the growing-finishing period. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 105: 102–114.
- D'Eath RB., 2005. Socialising piglets before weaning improves social hierarchy formation when pigs are mixed post-weaning. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 93: 199–211.
- Gavaud S., Haurogné K., Buchet A., Garcia Vinado I., Allard M., Lehébel A., Leblanc-Maridor M., Bach J.M., Belloc C., Lieubeau B., Hervé J., 2023. Effects of improved early-life conditions on health, welfare, and performance of pigs raised on a conventional farm. *Animal*, 17: 100810.
- Kutzer T., Bünger B., Kjaer JB., Schrader L., 2009. Effects of early contact between non-littermate piglets and of the complexity of farrowing conditions on social behaviour and weight gain. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 121: 16–24.
- Parrott RF., Lloyd DM., 1995. Restraint, but not frustration, induces prostaglandin-mediated hyperthermia in pigs. *Physiol Behav.*, 57: 1051–1055.
- Peden RSE., Turner SP., Boyle LA., Camerlink I., 2018. The translation of animal welfare research into practice: The case of mixing aggression between pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 204: 1–9.
- Pitts AD., Weary DM., Pajor EA., Fraser D., 2000. Mixing at young ages reduces fighting in unacquainted domestic pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 68: 191–197.
- Salazar LC., Ko H-L., Yang C-H., Llonch L., Manteca X., Camerlink I., Llonch P., 2018. Early socialisation as a strategy to increase piglets' social skills in intensive farming conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 206: 25–31.
- Van Kerschaver C., Vandaele M., Degroote J., Van Tichelen K., Fremaut D., Van Ginneken C., Michiels J., 2021. Effect of starting time of co-mingling non-littermates during lactation on performance and skin lesions of sows and piglets. *Livest. Sci.*, 250: 104563.
- Verdon M., Morrison RS., Rault J-L., 2020. The welfare and productivity of sows and piglets in group lactation from 7, 10, or 14 d postpartum. *J. Anim. Sci.*, 98: skaa037.



Incidence de la vaccination contre la gonadolibérine (GnRF) sur les performances de croissance et la qualité de la viande des porcs femelles

Nathalie QUINIOU (1), Patrick CHEVILLON (1), Frédéric COLIN (2)

(1) IFIP – Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650 Le Rheu, France

(2) ZOETIS, 10, Rue Raymond David, 92240 Malakoff, France

nathalie.quiniou@ifip.asso.fr

Avec la collaboration de Charles BARON, Aurélien COLLIN, Ndjiki EONE, Fabienne GAUTIER, Lorena GIRRE, Yannick LE BIHAN, Sylvie LECHAUX, Romain RICHARD, Philippe ROCHER, Adrien VANNIER

Incidence de la vaccination contre la gonadolibérine (GnRH) sur les performances de croissance et la qualité de la viande des porcs femelles

Chez les porcs femelles, le vaccin contre la gonadolibérine (GnRF) supprime temporairement la fonction ovarienne. Ses effets additionnels sont caractérisés dans un essai portant sur 144 femelles croisées Piétrain x (Large White x Landrace), logées par cases de six. A 70 jours d'âge ($26,3 \pm 3,6$ kg), les (demi-)sœurs sont réparties entre les 12 cases affectées au lot témoin (T) et les 12 cases affectées au lot vacciné (V) à 103 j (V1) et 132 j (V2) d'âge. Des régimes croissance et finition iso énergie nette (9,75 MJ/kg) sont distribués à volonté. Avant V2, les performances des deux lots sont similaires ($P > 0,10$). Entre V2 et l'abattage réalisé 4 ou 5 semaines plus tard, la consommation journalière d'aliment est plus élevée chez les femelles vaccinées (+ 0,39 kg/j, $P < 0,001$), de même que leur vitesse de croissance (+ 89 g/j, $P = 0,002$) tandis que l'indice de consommation tend à l'être (+ 0,15 kg/kg, $P = 0,08$). Les femelles V tendent à être 2,6 kg plus lourdes à l'abattage que les femelles T (115,6 contre 113,0 kg, $P = 0,06$). Le pH ultime du *Semimembranosus* (+0,08 unité) et du *Longissimus dorsi* (+0,03 unité) et l'épaisseur de gras dorsal (+ 2 mm, $P < 0,01$) augmentent significativement chez les animaux V (vs. C), et les pertes de ressuyage diminuent (-1,2 %). La vaccination contre le GnRF des femelles peut être considérée comme une solution permettant d'accroître la proportion de carcasses répondant mieux aux attentes de l'industrie du jambon sec. Sa mise en œuvre doit être accompagnée d'une adaptation du paiement des carcasses pour compenser les surcoûts liés à la vaccination et à l'augmentation de la consommation alimentaire.

Impact of vaccination against GnRH on growth performance and meat quality of gilts intended for market

In female pigs, immunization against gonadotropin-releasing-factor (GnRF) temporarily suppresses ovarian function. Additional effects were characterized in a trial involving 144 crossbred Piétrain x (Large White x Landrace) group-housed (six per pen) gilts. At 70 d of age (26.3 ± 3.6 kg), (half-)sisters were randomly allocated to a control non-treated group (C, 12 pens) or a vaccinated group (V, 12 pens) at 103 (V1) and 132 (V2) d of age. A 2-phase feeding strategy was used ad libitum, with iso-net energy diets (9.75 MJ/kg). Growth before V2 was similar for both groups ($P > 0.10$). Between V2 and slaughter (performed 4 or 5 weeks later), higher daily feed intake (+0.39 kg/d, $P < 0.001$) and growth rate (+89 g/d, $P = 0.002$) were observed in gilts V, while feed conversion ratio also tended to be higher (+ 0.15 kg/kg, $P = 0.08$). Gilts V tended to be 2.6 kg heavier at slaughter than gilts C (115.6 vs. 113.0 kg, respectively, $P = 0.06$). Significantly higher ultimate pH in meat (*Semimembranosus*: + 0.08 unit; *Longissimus dorsi*: + 0.03 unit) and backfat thickness of the carcass (+2 mm), and lower drip losses (-1.2 %) were observed in gilts V. Vaccination of gilts against GnRF may help pig producers to improve the proportion of carcasses that meet expectations of the dry-cured ham industry. Thus, the carcass payment grid should be adapted so that it compensates the carcass value for the cost of vaccination and the increase in feed intake.

INTRODUCTION

L'immunocastration consiste à faire produire par le système immunitaire des anticorps contre la gonadolibérine (GnRF). Elle implique une première vaccination avec un analogue du GnRF à partir de 8 et 10 semaines d'âge, respectivement chez les mâles et les femelles. Un rappel de vaccination (appelé V2) est réalisé au minimum 4 semaines plus tard. Si l'immunocastration des porcs mâles est autorisée depuis 2009, celle des femelles est plus récente (janvier 2022, EMA/CVMP/714359/2021) et les résultats sur l'effet de l'immunocastration chez ces dernières sont moins abondants dans la littérature.

Chez le mâle entier, le développement et le fonctionnement des testicules est fortement modifié après V2 (Dunshea *et al.*, 2001 ; Mitjana *et al.*, 2020). La production d'une des hormones impliquées dans l'activité des cellules de Leydig qui synthétisent l'androsténone, l'hormone luthéinisante (LH), diminue (Parois *et al.*, 2018). Il en est de même pour la production de testostérone. Cela permet de lever temporairement l'inhibition que les stéroïdes testiculaires exercent sur les enzymes hépatiques impliquées dans le métabolisme du scatol (Rasmussen et Zamaratskaia, 2014). Ces deux mécanismes contribuent à la réduction du risque d'odeurs de verrat. En parallèle, le métabolisme du mâle entier se rapproche progressivement de celui du mâle castré chirurgicalement, avec des changements observés plus rapidement sur le métabolisme énergétique que sur le métabolisme protéique (Le Floch *et al.*, 2019). Ainsi, après V2, l'appétit et l'adiposité du gain de poids augmentent, ce qui conduit à une dégradation de l'indice de consommation (IC), donc de la valorisation des aliments (Lealifano *et al.*, 2011 ; Dunshea *et al.*, 2013), en comparaison avec les mâles entiers non vaccinés.

Sous l'influence des hormones sexuelles, le mâle entier mange peu et dépose peu de lipides, ce qui se traduit notamment par une épaisseur de gras dorsal à l'abattage inférieure à celle du mâle castré chirurgicalement (Quiniou *et al.*, 2010). Or la faible couverture en gras complique le séchage du jambon. Par ailleurs, avec moins de lipides intra-musculaires dans la viande et un degré d'insaturation des acides gras plus élevé, la qualité de la viande diminue. D'après Batorek *et al.* (2012), Pauly *et al.* (2012), Font-I-Furnols *et al.* (2019) et Poklucar *et al.* (2021), la qualité de la carcasse et de viande du mâle vacciné contre les odeurs de verrat semblent proches de celles du mâle castré chirurgicalement ou intermédiaires entre les deux. Cela conduit certaines filières de l'aval à envisager l'immunocastration comme une solution permettant de résoudre les problèmes posés par l'arrêt de la castration chirurgicale.

Chez la femelle, la vaccination avec un analogue du GnRF induit temporairement la suppression de la fonction ovarienne (Hernández-García *et al.*, 2013 ; Dalmau *et al.*, 2015 ; Mitjana *et al.*, 2020) et réduit ainsi les comportements d'œstrus et de début de gestation pendant les semaines qui précèdent l'abattage chez des animaux destinés à la boucherie. L'incidence sur les performances de croissance a fait l'objet de travaux peu abondants et réalisés sur des animaux (1) relativement légers à l'abattage (98 kg de poids vif (PV), Oliver *et al.*, 2003) ou plus lourds après un protocole de vaccination très différent de celui décrit plus haut (134 kg PV, Pérez-Ciria *et al.*, 2021), (2) élevés en loges individuelles (van den Broeke *et al.*, 2016) ou en petit groupe (Daza *et al.*, 2016), ou (3) croisés Duroc (Pérez-Ciria *et al.*, 2021). Tout comme chez le mâle, la consommation moyenne journalière (CMJ) et la vitesse de croissance des femelles augmentent après V2, ainsi que la couverture en gras de la carcasse. L'effet rapporté sur l'IC ne semble pas être le

même que chez les mâles. La présente étude a pour objectif de quantifier les effets de l'immunocastration chez les porcs femelles issues de truies croisées Large White x Landrace et de verrat Piétrain, élevées en groupe, et abattues vers 115 kg de PV, tant sur les performances de croissance que sur les caractéristiques de classement de la carcasse et la qualité de la viande.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Les effets de la vaccination Improvac® (Zoetis, Louvain-la-Neuve, Belgique) sur les performances des porcs femelles croisées Piétrain x (Large White x Landrace) sont étudiés à la station IFIP (Romillé, 35) à partir d'une bande de 144 animaux. A la fin du post-sevrage vers 70 j d'âge, les femelles sont mises en lot sur la base de leur PV et leur origine de portée. Douze blocs de deux cases de poids moyen comparable sont constitués à partir de six paires de sœurs ou demi-sœurs. Les cases de chaque bloc sont réparties entre deux lots :

- Lot T : femelles témoins,
- Lot V : femelles vaccinées.

1.2. Calendrier de vaccination et d'abattage

La première vaccination (V1) est réalisée à 103 j d'âge, à la fin de la cinquième semaine d'engraissement. La deuxième vaccination est réalisée à 132 j d'âge, à la fin de la neuvième semaine d'engraissement. L'abattage est réalisé 4 semaines plus tard autour de 115 kg de PV pour la moitié des cases de chaque lot, e.g. les plus lourdes. Les femelles des autres cases sont abattues la semaine suivante.

1.3. Conditions d'élevage

Deux salles de 16 cases chacune sont utilisées. Dans chaque salle, 12 cases sont occupées par les femelles étudiées et les quatre autres par des mâles entiers (non vaccinés, non étudiés). Les porcs sont élevés par cases de six et sont alimentés à volonté à sec avec des aliments présentés sous forme de granulés. Une séquence biphasée est utilisée (Tableau 1), avec des aliments croissance et finition formulés pour une même teneur en énergie nette (EN, 9,75 MJ/kg). L'aliment croissance est distribué à partir de l'entrée en engraissement, et remplacé par de l'aliment finition quand le poids moyen de la case atteint 65 kg. La teneur en lysine digestible iléale standardisée (LYSd) est de 0,92 et 0,80 g par MJ d'EN, respectivement dans les aliments croissance et finition. Les autres acides aminés essentiels digestibles sont apportés en proportions relatives à l'apport de LYSd suivant le concept de la protéine idéale, soit un rapport minimal de 30, 60, 65, 19, 55, 70 et 32 %, respectivement pour la méthionine, la méthionine et la cystine, la thréonine, le tryptophane, l'isoleucine, la valine et l'histidine. La teneur en phosphore digestible dans les granulés est de 0,23 et 0,19 g/MJ EN, respectivement dans les aliments croissance et finition, et la teneur en calcium total correspond à 3,2 fois la teneur en phosphore digestible.

1.4. Mesures

Les porcs sont pesés individuellement la veille de l'entrée en engraissement pour la mise en lot le lendemain. Ils sont ensuite pesés en fin de 3^{ème}, 5^{ème} (le lendemain de V1), 79^{ème}, et 9^{ème} (après V2) semaine d'engraissement. La pesée réalisée en semaine 12

Tableau 1 –Caractéristiques des aliments croissance-finition

| Aliment | Croissance | Finition |
|--|------------|----------|
| Ingrédients, kg/tonne | | |
| Blé | 200,0 | 200,0 |
| Maïs | 324,0 | 376,0 |
| Orge | 200,0 | 200,0 |
| Son de blé | 80,0 | 80,0 |
| Tourteau de soja 48 | 130,0 | 90,0 |
| Tourteau de tournesol métró | 10,0 | 10,0 |
| Mélasses de canne | 5,0 | 5,0 |
| Huile de colza | 13,1 | 5,4 |
| Carbonate de calcium | 12,85 | 10,95 |
| Phosphate monocalcique | 2,1 | 0,1 |
| Sel | 4,0 | 4,0 |
| Bicarbonate de sodium | 2,7 | 4,2 |
| Complément oligo-vitamines | 4,0 | 4,0 |
| L-Lysine 50 | 7,3 | 6,7 |
| DL-Méthionine | 0,9 | 0,5 |
| L-Thréonine | 1,7 | 1,4 |
| L-Tryptophane (prémélange à 30%) | 1,0 | 0,9 |
| L-Valine (prémélange à 40%) | 1,3 | 0,8 |
| Phytase microbienne | 0,05 | 0,05 |
| Caractéristiques nutritionnelles, sur frais¹ | | |
| Matière sèche, g/kg | 872 | 870 |
| Matières azotées totales, g/kg | 148 | 133 |
| Lysine totale, g/kg | 10,0 | 8,7 |
| Acides aminés digestibles | | |
| Lysine (LYSd), g/kg | 9,0 | 7,8 |
| Méthionine, % LYSd | 32 | 30 |
| Méthionine et cystine, % LYSd | 60 | 60 |
| Thréonine, % LYSd | 65 | 65 |
| Tryptophane, % LYSd | 19 | 19 |
| Isoleucine, % LYSd | 55 | 55 |
| Valine, % LYSd | 70 | 70 |
| Histidine, % LYSd | 35 | 37 |
| Cellulose brute (Weende), g/kg | 38 | 37 |
| NDF, g/kg | 148 | 148 |
| ADF, g/kg | 47 | 46 |
| ADL, g/kg | 10 | 10 |
| Amidon, g/kg | 446 | 479 |
| Sucres, g/kg | 33 | 31 |
| Matières grasses, g/kg | 36 | 30 |
| Bilan électrolytique, mEq/kg | 175 | 175 |
| Matières minérales, g/kg | | |
| Calcium, g/kg | 7,2 | 6,0 |
| Phosphore total, g/kg | 4,4 | 3,8 |
| Phosphore digestible, g/kg | 2,3 | 1,9 |
| Calcium total/phosphore digestible | 3,2 | 3,2 |
| Energie nette (EN), MJ/kg | 9,75 | 9,75 |
| LYSd/EN, g/MJ | 0,92 | 0,80 |

¹ Sur la base des caractéristiques chimiques des matières premières communiquées par l'usine de fabrication et des valeurs nutritionnelles correspondantes obtenues par Evapig®.

a pour objectif d'identifier les cases de chaque lot qui doivent partir pour l'abattoir en semaine 13 (les plus lourdes) ou en semaine 14. Lors du premier départ pour l'abattoir, tous les porcs sont pesés même ceux qui restent à l'élevage. Quand un porc meurt, ou est sorti de la case pour raison sanitaire, il est pesé. La date et la cause de la sortie de l'essai sont répertoriées.

Les quantités d'aliment versées dans les trémies des nourrisseurs sont pesées. Une fois par semaine, l'aliment restant dans les trémies est aspiré vers 09h00 et pesé afin de réaliser un bilan de consommation hebdomadaire. Quand la mesure intervient le jour d'une pesée des porcs, l'aliment aspiré est remis dans la trémie vers 15h00, après la pesée. Il n'est pas remis quand la pesée concerne des porcs envoyés à l'abattoir. Dans ce cas, les animaux sont mis sur le quai jusqu'à l'enlèvement par un camion de l'abattoir à 07h00 le lendemain pour le premier départ, à 10h00 pour le second départ. Les porcs sont abattus à 11h00 pour le premier départ et 12h30 pour le second. Le jour de l'abattage, une traçabilité individuelle est réalisée. Les données recueillies par Uniporc concernent le poids chaud, les épaisseurs de gras G3/G4 et de muscle M3/M4 mesurées par Image Meater. Le lendemain de l'abattage (24 heures post-mortem), le pH ultime est mesuré au niveau du *Semimembranosus* dans le jambon et du *Longissimus dorsi* dans la longe de tous les porcs (Lhommeau *et al.*, 2021). Le même jour, un échantillon est prélevé au niveau de la longe sur 10 porcs de chaque lot pour la mesure de l'exsudat (méthode EZ drip loss).

Les deux salles d'engraissement sont équipées d'une sonde qui mesure la température ambiante toutes les 5 minutes. Une sonde supplémentaire située à l'extérieur du bâtiment permet de suivre la température extérieure.

1.5. Calculs et analyses statistiques

Les performances de croissance sont calculées entre l'entrée en engraissement et le départ pour l'abattoir ainsi que sur des périodes intermédiaires : avant ou après V2.

Le gain moyen quotidien (GMQ) est calculé pour tous les animaux vivants à la fin de la période considérée. La consommation d'aliment par case est calculée par différence entre les quantités d'aliment versées dans la trémie et les quantités aspirées sur la période considérée. Pour le calcul de l'IC, ce cumul d'aliment est divisé par la somme des gains de PV réalisés sur la période par les porcs de la case. Celle-ci prend en compte le gain de poids des porcs sortis de la case avant la fin de la période. Ces derniers sont par ailleurs pris en compte au *pro rata temporis* pour calculer la CMJ de la case à partir du cumul d'aliment consommé sur la période, divisé par le cumul des jours de présence des porcs de la case.

Le rendement chaud est calculé en divisant le poids chaud par le PV au départ. Le taux de muscle des pièces (TMP) est calculé à partir des épaisseurs (en mm) de gras et de muscle suivant l'équation Uniporc (www.uniporc-ouest.com) :

$$TMP = 60,12 - 0,487 G3 - 0,133 G4 + 0,111 M3 + 0,036 M4$$

L'analyse statistique des données est réalisée avec le logiciel SAS (v9.4, Inst. Inc. Cary Inst. Inc. Cary). La normalité des données est évaluée avec le test de Kolmogorov-Smirnov (proc Univariante) et l'homogénéité des variances avec le test de Levene (Hovtest/proc GLM).

Pour l'analyse des performances de croissance, l'unité expérimentale est la case (n = 12 par lot) et les données sont soumises à une analyse de la variance (proc GLM) avec le lot et le bloc en effets principaux.

Pour l'analyse des caractéristiques de classement de carcasse, de rendement, de pH et d'exsudat, l'unité expérimentale est le porc. Le lot et le départ sont pris en compte en effets fixes.

2. RESULTATS – DISCUSSION

2.1. Déroulement de l'essai

Les porcs entrent en engraissement le 28/04/22. Ils partent pour l'abattoir le 26/07/22 ou le 02/08/22. Sur cette période, plusieurs vagues de chaleur sont observées (Figure 1). Deux porcs V et trois porcs T meurent ou sortent de l'essai pour raison sanitaire, sans lien avec la température.

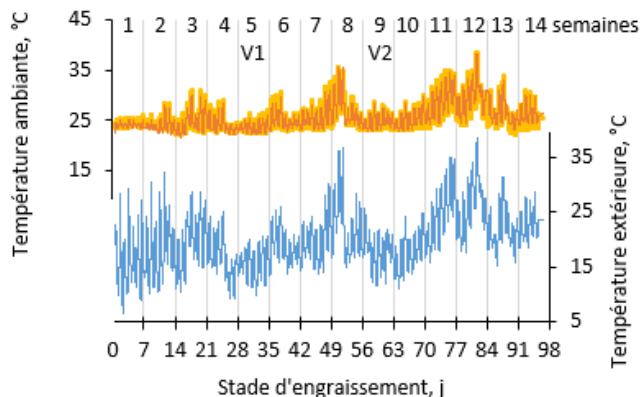


Figure 1 – Evolution de la température extérieure (en bleu) et de la température ambiante (en jaune et orange)

Tableau 2 – Age et poids vif des femelles témoins (T) ou vaccinées (V) aux différentes étapes de l'essai¹

| Lot | T | V | ETR ² | P-value ² |
|-----------------------------|-------|-------|------------------|----------------------|
| Age, j | | | | |
| Au changement d'aliment | 113,1 | 114,7 | 3,1 | 0,25 |
| Au départ pour l'abattoir | 163,5 | 163,5 | 0,2 | 0,91 |
| Poids, kg | | | | |
| A 70 j | 26,3 | 26,3 | 0,1 | 0,41 |
| A 103 j (V1 du lot vacciné) | 56,1 | 55,3 | 1,6 | 0,23 |
| Au changement d'aliment | 65,3 | 65,5 | 1,1 | 0,72 |
| A 132 j (V2 du lot vacciné) | 84,6 | 84,2 | 3,0 | 0,75 |
| Au départ pour l'abattoir | 113,0 | 115,6 | 3,0 | 0,06 |

¹ Calcul des caractéristiques moyennes de case à partir des données des porcs présents jusqu'à l'abattage.

² ETR : écart-type résiduel. Analyse de la variance avec le lot et le bloc en effets fixes (proc GLM). Seule la P-value de l'effet du lot est présentée.

2.2. Evolution du poids et de la consommation avec l'âge

Les femelles du lot V pèsent en moyenne 55,3 kg à la première vaccination et 84,2 kg à la seconde (Tableau 2), soit un PV comparable à celui des femelles du lot T aux mêmes âges ($P \geq 0,23$). Les porcs des deux lots pèsent en moyenne 65,4 kg ($P = 0,72$) au changement d'aliment, réalisé vers 114 j d'âge ($P = 0,25$). A l'abattage à 163,5 j d'âge en moyenne, les femelles vaccinées tendent à être plus lourdes de 2,6 kg que les femelles témoins ($P = 0,06$).

La CMJ des deux lots est identique pendant les semaines qui précèdent V2, réalisée après 9 semaines d'engraissement (Tableau 3, Figure 2). Pendant la semaine qui suit V2, la CMJ des femelles vaccinées reste comparable à celle des femelles témoins (semaine 10 : $P = 0,46$) puis elle augmente les semaines suivantes ($P < 0,001$). Elle est ainsi plus élevée de 0,43, 0,53 et 0,66 kg/j en moyenne en semaines 11, 12 et 13 par rapport à l'ingestion de 2,66, 2,38 et 2,35 kg/j des femelles témoins, respectivement ces semaines-là.

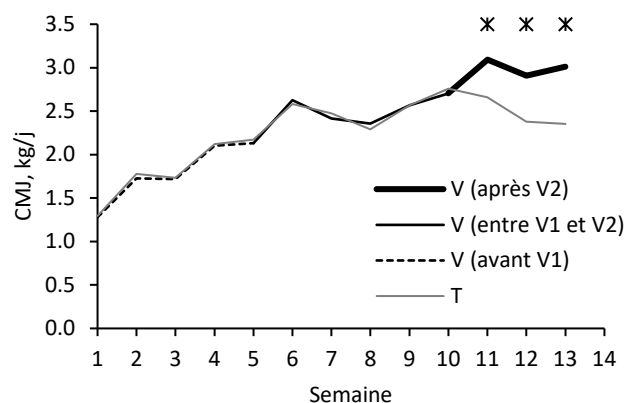


Figure 2 – Evolution de la consommation moyenne journalière (CMJ) selon le lot et le stade d'engraissement (T : témoins, V : vaccinées ; V2 : deuxième vaccination, * : $P < 0,001$)

2.3. Performances moyennes selon la période

Entre l'entrée en engraissement et l'abattage, la CMJ et le GMQ tendent à être plus élevés (respectivement +5% et +3%, $P = 0,06$) chez les femelles du lot V que chez celles du lot T (Tableau 3). Ces évolutions conjointes conduisent à un IC significativement plus élevé pour le lot V (2,46 vs. 2,38).

Tableau 3 – Comparaison des performances de croissance¹ des porcs du lot témoin (T) et du lot vacciné (V)

| Lot | T | V | ETR ² | P-value ² |
|------------------------|------|------|------------------|----------------------|
| Période totale | | | | |
| CMJ, kg/j ² | 2,21 | 2,32 | 0,13 | 0,06 |
| GMQ, g/j | 929 | 956 | 32 | 0,06 |
| IC, kg/kg ³ | 2,38 | 2,46 | 0,05 | 0,005 |
| Avant V2 | | | | |
| CMJ, kg/j ³ | 2,06 | 2,04 | 0,13 | 0,76 |
| GMQ, g/j | 939 | 933 | 49 | 0,77 |
| IC, kg/kg ⁴ | 2,20 | 2,23 | 0,03 | 0,10 |
| Après V2 | | | | |
| CMJ, kg/j ³ | 2,49 | 2,88 | 0,14 | <0,001 |
| GMQ, g/j | 907 | 996 | 54 | 0,002 |
| IC, kg/kg ⁴ | 2,75 | 2,90 | 0,19 | 0,08 |

¹ Calcul des caractéristiques moyennes de case à partir des données des porcs présents jusqu'à l'abattage : CMJ : consommation moyenne journalière, GMQ : gain moyen quotidien, IC : indice de consommation.

² ETR : écart-type résiduel. Analyse de la variance avec le lot et le bloc en effets fixes (proc GLM), seule la P-value de l'effet du lot est présentée.

³ Calcul réalisé en comptabilisant les porcs morts ou sortis sur la période au prorata temporis.

⁴ Calcul réalisé en intégrant le gain de poids des morts ou sortis sur la période.

Entre l'entrée en engraissement et V2, les performances des femelles des deux lots ne sont pas significativement différentes. Les écarts de performances observés sur l'ensemble de l'engraissement s'expliquent par un effet du lot seulement après V2 (Tableau 3). En effet, la CMJ des femelles vaccinées est en moyenne 0,39 kg/j plus élevée que celle des femelles témoins après V2 (+16%, $P < 0,001$), pour un GMQ plus élevé de 89 g/j (+10%, $P = 0,002$). Cela se traduit par un IC qui tend à augmenter de 0,15 point ($P = 0,08$) sur cette période.

2.4. Classement des carcasses et qualité de viande

Le rendement à chaud des carcasses des femelles du lot V est moins élevé que pour le lot T ($P = 0,02$, Tableau 4), ce qui peut être mis en relation avec leur niveau d'ingestion plus élevé pendant les semaines qui précèdent l'abattage. Ainsi, l'écart de 2,6 kg de PV à l'abattage est réduit à 0,7 kg de poids chaud. Les épaisseurs de gras G3 et G4 sont significativement plus élevées chez les femelles V, pour des épaisseurs de muscle M3 et M4 comparables pour les deux lots ($P \geq 0,78$). Il en résulte un TMP plus bas en moyenne de 1,4 point pour le lot V que pour le lot T (59,9 vs. 61,3, $P < 0,001$).

Le pH ultime du jambon des femelles vaccinées est plus élevé que celui des femelles témoin, de même que celui de la longe ($P = 0,03$, Tableau 4). La viande fraîche des femelles vaccinées est moins exsudative que celle des femelles témoins, avec 1,2 point d'exsudat en moins (-46 %, $P = 0,02$).

Tableau 4 – Caractéristiques de carcasse et de qualité de viande du lot témoin (T) ou vacciné (V)

| Lot | T | V | ETR ¹ | P-value ¹ |
|---|------|------|------------------|----------------------|
| Carcasses classées, n² | 65 | 65 | | |
| Poids chaud, kg | 90,9 | 91,6 | 7,1 | 0,55 |
| Rendement à chaud, % | 80,2 | 79,2 | 2,2 | 0,02 |
| G3, mm | 12,6 | 14,9 | 3,3 | <0,001 |
| G4, mm | 22,8 | 24,8 | 3,7 | 0,002 |
| M3, mm | 74,8 | 75,2 | 5,8 | 0,78 |
| M4, mm | 55,8 | 55,9 | 4,8 | 0,99 |
| TMP | 61,3 | 59,9 | 2,0 | <0,001 |
| Carcasses prélevées, n³ | 70 | 69 | | |
| pH24 du jambon | 5,57 | 5,65 | 0,12 | 0,001 |
| pH24 de la longe | 5,50 | 5,53 | 0,10 | 0,03 |
| Nombre d'échantillons³ | 20 | 20 | | |
| Exsudat, % | 2,6 | 1,4 | 1,5 | 0,02 |

¹ ETR : écart-type résiduel. Seule la P-value du lot est présentée.

² Seules les carcasses classées par Image Meater sont conservées pour l'analyse : G3 et G4 : épaisseurs de gras, M3 et M4 : épaisseurs de muscle, TMP : taux de muscle des pièces. Analyse de la variance avec le lot et le bloc en effets fixes.

³ Analyse de la variance avec le lot et le numéro de départ en effets fixes.

3. DISCUSSION

De même que chez les mâles, les performances de croissance observées entre V1 et V2 chez les femelles vaccinées sont comparables à celles des femelles témoins. Des différences de CMJ, GMQ sont observées seulement entre V2 et l'abattage, ainsi que rapporté dans la littérature à la fois chez le mâle et chez la femelle. Mais alors que les résultats antérieurs obtenus chez la femelle ne mettaient pas en évidence de différence significative d'IC sur des gammes de poids plus lourds ou un intervalle de temps plus long, il n'en est pas de même dans notre étude où la moindre efficacité alimentaire observée après V2 chez les femelles vaccinées rappelle celle observée chez les mâles vaccinés. Tout comme chez le mâle, les modifications induites par V2 se mettent en place progressivement, avec une inertie de l'ordre de 1 semaine observée sur la CMJ.

Les épaisseurs de gras G3 et G4 observées dans la zone de coupe longe/jambon sont considérées comme des indicateurs de la couverture en gras de la carcasse. Ainsi sur la base de valeurs de G3 et G4 plus élevées, une épaisseur de lard au

niveau du jambon légèrement supérieure est attendue chez les femelles vaccinées. C'est un résultat qui va dans le sens des attentes des filières du jambon sec qui labélisent des jambons aptes à une transformation sèche de qualité sur ce critère. En effet, les rendements de séchage des jambons secs sont meilleurs si l'épaisseur de lard est élevée lors de la mise au sel, avec une corrélation de 0,61 entre l'épaisseur de lard et la perte au séchage (Chevillon *et al.*, 2015).

Les pertes moins élevées en exsudat chez les femelles vaccinées sont cohérentes avec des pH ultimes plus élevés (Mérour *et al.*, 2007). C'est un résultat favorable en vue de la présentation de viande fraîche en barquette (côtes, échine, rôtis...), avec moins de jus en fond de contenant. En effet, un pH supérieur améliore la qualité technologique de la viande avec une meilleure rétention en eau, mais également une viande plus colorée et surtout moins de pertes en eau à la cuisson qui permettent d'obtenir de meilleurs rendements technologiques à la cuisson du jambon et de la longe. Compte tenu de l'incidence du pH ultime sur le risque de viandes déstructurées, les valeurs plus élevées observées chez les femelles vaccinées pourraient aussi être associées à un meilleur rendement de tranchage.

La CMJ hebdomadaire mesurée pendant l'essai sous les conditions d'ambiance décrites dans la figure 1 ont été comparées à celle de femelles étudiées dans un autre essai réalisé entre janvier et avril 2020 dans une salle similaire à la station (conduite avec une consigne de ventilation de 24°C) et (alimentées avec des aliments formulés pour la même teneur en EN que ceux du présent essai. La figure 3 permet de visualiser que, pendant la vague de chaleur intervenue en fin d'engraissement (semaines 11, 12 et 13) quand les porcs sont lourds et plus sensibles au stress thermique (Quiniou *et al.*, 1998), la CMJ des femelles témoins est bien moindre que celle des femelles élevées en conditions de confort thermique en 2020. En revanche, la CMJ des femelles vaccinées reste à un niveau comparable voire plus élevé que celui de 2020. Les connaissances disponibles dans la littérature ne font pas état d'une moindre sensibilité à la chaleur des porcs vaccinés. Cependant, les données de l'essai mettent en évidence que les femelles vaccinées ont conservé un niveau d'ingestion relativement élevé, malgré des conditions d'ambiance trop chaudes en fin d'engraissement, ce qui a permis de les abattre 2,6 kg plus lourdes que les femelles témoins.

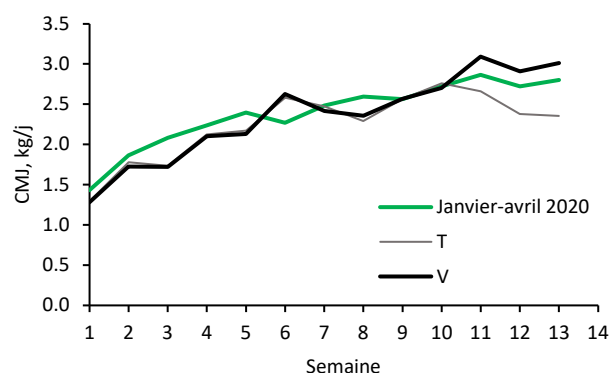


Figure 3 – Evolution des consommations moyennes par jour (CMJ) des femelles témoins (T) et vaccinées (V), comparées à celle de femelles étudiées antérieurement entre janvier et avril 2020 (température de consigne de ventilation : 24°C)

CONCLUSION

Les effets de la vaccination contre la GnRF chez les femelles sont proches de ceux obtenus chez les mâles, avec une

augmentation progressive de la CMJ après V2. L'ingestion supplémentaire de nutriment entre V2 et l'abattage est associée à une augmentation significative du GMQ même quand l'abattage intervient seulement 4 à 5 semaines plus tard. Cela permet d'abattre des porcs un peu plus lourds. Entre V1 et V2, l'IC se dégrade en relation avec un gain de poids plus gras comme indiqué par les épaisseurs de gras plus élevées sur les carcasses. Dès lors que la vaccination est mise en œuvre pour avoir des pièces plus couvertes en gras, cet objectif est atteint.

Les résultats de l'étude sont à considérer pour adapter le système de rémunération des carcasses pour l'éleveur qui

modifie la conduite des animaux en réponse aux attentes de qualité de l'aval. Dans un système de paiement des carcasses fondé pour une part importante sur le TMP, l'incidence de l'immunocastration sur ce critère doit être revalorisée au regard des améliorations potentielles de conditions de séchage des jambons. En parallèle, les pH ultimes plus élevés et les moindres pertes en eau laissent également augurer des qualités de viande et des rendements de tranchage meilleurs. La rémunération des carcasses devra également intégrer le coût de la vaccination et l'augmentation du coût alimentaire induite par l'augmentation de l'IC, d'autant plus que l'aliment est onéreux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Batorek N., Candek-Potokar M., Bonneau M., van Milgen J., 2012. Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. *Animal*, 6, 1330-1338.
- Chevillon P., Le Strat P., Vendevre J.L., Gault E., Lhommeau T., Bonneau M., Mourou J., 2015. Acceptabilité par le consommateur du jambon sec de mâles entiers : Rendement de séchage, qualité des gras et composés odorants du jambon sec de mâles entiers. *Viandes Produits Carnés, VPC-2015331-4-7*, 8 p.
- Dalmau A., Velarde A., Rodríguez P., Pedernera C., Llonch P., Fàbrega E., Casal N., Mainau E., Gispert M., King V., Slotmans N., Thomas A., Mombarg M., 2015. Use of an anti-GnRF vaccine to suppress estrus in crossbred Iberian female pigs. *Theriogenology*, 84, 342-347.
- Daza A., Latorre M.A., Olivares A., López Bote C.J., 2016. The effects of male and female immunocastration on growth performances and carcass and meat quality of pigs intended for dry-cured ham production: a preliminary study. *Livest. Sci.*, 190, 20-26.
- Dunshea F.R., Colantoni C., Howard K., McCauley I., Jackson P., Long K.A., Lopaticki S., Nugent E.A., Simons J.A., Walker J., Hennessy D.P., 2001. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *J. Anim. Sci.*, 79, 2524-2535.
- Dunshea F.R., Allison J.R., Bertram M., Boler D.D., Brossard L., Campbell R., Crane J.P., Hennessy D.P., Huber L., de Lange C., Ferguson N., Matzat P., McKeith F., Moraes P.J., Mullan B.P., Noblet J., Quiniou N., Tokach M., 2013. The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: a review. *Animal*, 7, 1769-1778.
- Font-I-Furnols M., Brun A., Gispert M., 2019. Intramuscular fat content in different muscles, locations, weights and genotype-sexes and its prediction in live pigs with computed tomography. *Animal*, 13, 666-674.
- Hernández-García F.I., Duarte J.L., Pérez M.A., Raboso C., Del Rosario A.I., Izquierdo M., 2013. Successful long-term pre-pubertal immunocastration of purebred iberian gilts reared in extensive systems. *Acta Agric. Slovenica, Suppl.* 4, 123-126
- Le Floc'h N., Furbeyre H., Prunier A., Louveau I., 2019. Effect of surgical or immune castration on postprandial nutrient profiles in male pigs. *Arch. Anim. Nutr.*, 73, 4, 255-270.
- Lealifano A., Pluske J.R., Nicholls R., Dunshea F., Campbell R.G., Hennessy D., Miller D., Hansen C.F., Mullan B., 2011. Reducing the length of time between slaughter and the secondary gonadotropin-releasing factor immunization improves growth performance and clears boar taint compounds in male finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 2782-2792.
- Lhommeau T., Vautier A., Le Roux A., 2021. Observatoire des pH ultimes et du défaut « viandes déstructurées » des jambons de porcs abattus en France. *Les Cahiers de l'IFIP*, 1, 25-33.
- Mérour I., Riendeau L., Maignel L., Rivest J., Vautier A., 2007. Comparaison de différentes mesures du caractère exsudatif de la viande fraîche dans les populations porcines françaises et canadiennes. *Journées Rech. Porcine*, 39, 215-222.
- Mitjana O., Bonastre C., Tejedor M.T., Garza L., Latorre M.Á., Moreno B., Falceto M.V., 2020. Immuno-castration of female and male pigs with anti-gonadotrophin releasing hormone vaccine: morphometric, histopathological and functional studies of the reproductive system. *Anim. Reprod. Sci.*, 221, 106599.
- Oliver W.T., McCauley I., Harrell R.J., Suster D., Kerton D.J., Dunshea F.R., 2003. A gonadotropin-releasing factor vaccine (Improvac) and porcine somatotropin have synergistic and additive effects on growth performance in group-housed boars and gilts. *J. Anim. Sci.*, 81, 1959-1966
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRA Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Pauly C., Luginbuhl W., Ampuero S., Bee G., 2012. Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted - results of a meta-analysis study. *Meat Sci.*, 92, 858-862.
- Pérez-Ciria L., Miana-Mena F.J., Falceto M.V., Mitjana O., Latorre M.A., 2021. Effect of immunocastration and diet on growth performance, serum metabolites and sex hormones, reproductive organ development and carcass quality of heavy gilts. *Animals*, 11, 1900.
- Poklukar K., Candek-Potokar M., Vrecl M., Batorek-Lukač N., Fazarinc G., Kress K., Weiler U., Stefanski V., Škrlep M., 2021. The effect of immunocastration on adipose tissue deposition and composition in pigs. *Animal*, 15, 100118.
- Quiniou N., Noblet J., Le Dividich J., Dubois S., Labroue F., 1998. Influence de l'élevage de la température ambiante et du poids vif sur le comportement alimentaire des porcs en croissance élevés en groupe. *Journées Rech. Porcine Fr.* 30, 319-324.
- Quiniou N., Courboulay V., Salaün Y., Chevillon P., 20210. Conséquences de la non castration des porcs mâles sur les performances de croissance et le comportement : comparaison avec les mâles castrés et les femelles. *Journées Rech. Porcine*, 42, 113-118.
- Rasmussen M.K., Zamaratskaia G., 2014. Regulation of porcine hepatic cytochrome P450—implication for boar taint. *Comput. Structur. Biotechnol. J.*, 11, 106-112.
- Van den Broeke A., Leen F., Aluwé M., Ampe B., Van Meensel J., Millet S., 2016. The effect of GnRH vaccination on performance, carcass and meat quality in boars, barrows, and gilts. *J. Anim. Sci.*, 94, 2811-2820.



Caractérisation d'un modèle *in vitro* de réservoir spermatique porcin : vers une meilleure prédiction de la fertilité des verrats ?

Lorraine SCHMALTZ (1) (2), Isabelle MEROUR (2) Pascal MERMILLOD (1) Marie SAINT-DIZIER (1)

(1) INRAE, Université de Tours, PRC, 37380, Nouzilly, France

(2) YXIA, 35590, Saint-Gilles, France

lorraine.schmaltz@inrae.fr

Caractérisation d'un modèle *in vitro* de réservoir spermatique porcin : vers une meilleure prédiction de la fertilité des verrats ?

La semence des verrats d'insémination est qualifiée par la méthode du CASA (Computer Assisted Semen Analysis) sur des critères de concentration, de morphologie, et de mobilité. Néanmoins, bien que satisfaisant à ces critères, une sous-population de verrats s'avère hypofertile après insémination, soulignant l'insuffisance des techniques actuelles de qualification. L'objectif de ce projet est de développer un modèle *in vitro* de réservoir spermatique afin d'évaluer la capacité des spermatozoïdes à survivre dans les voies génitales femelles après insémination, avec l'hypothèse que ce modèle sera prédictif de la fertilité et/ou de la prolificité. Les résultats montrent que les sphéroïdes de cellules épithéliales d'oviducte de truie présentent des caractéristiques proches des cellules épithéliales *in vivo*, et que les spermatozoïdes s'y lient avec une densité comparable quel que soit le pool de femelles utilisé. Cependant, pour un même verrot, l'aptitude de liaison des spermatozoïdes diffère significativement d'un éjaculat à l'autre (28 % < coefficient de variation < 127 %), sans qu'il y ait de corrélation avec la mobilité et la viabilité des spermatozoïdes ou la dilution de l'éjaculat. En conclusion, l'absence de répétabilité de la liaison entre éjaculats ne permet pas d'utiliser cet outil pour la qualification de la semence en routine. Cependant, ce modèle est intéressant pour l'étude des interactions entre les spermatozoïdes et les cellules maternelles dans l'oviducte, et la compréhension des mécanismes de liaison, pouvant déboucher sur des pistes d'amélioration de la fertilité mâle.

Characterization of an *in vitro* model of sperm storage in pigs: towards a better prediction of boar fertility?

Semen from insemination boars is qualified by the CASA (Computer Assisted Semen Analysis) method on the basis of concentration, morphology and mobility criteria. However, despite meeting these criteria, a sub-population of boars are hypofertile after insemination, highlighting the inadequacy of current qualification techniques. The aim of this project is to develop an *in vitro* sperm reservoir model to assess the ability of spermatozoa to survive in the female genital tract after insemination, with the hypothesis that this model will be predictive of fertility and/or prolificacy. The results show that the spheroids of sow oviduct epithelial cells have characteristics close to those of epithelial cells *in vivo*, and that spermatozoa bind to them at a comparable density whatever the pool of females used. However, for the same boar, the ability of spermatozoa to bind differed significantly from one ejaculate to another (28% < coefficient of variation < 127%), with no correlation with sperm mobility and viability) or ejaculate dilution. In conclusion, the lack of repeatability of ejaculate binding means that this tool cannot be used for routine semen qualification. However, this model is interesting for studying the interactions between spermatozoa and maternal cells in the oviduct, and understanding the binding mechanisms, which could lead to ways of improving male fertility.

INTRODUCTION

L'insémination artificielle (IA) est la biotechnologie la plus utilisée pour diffuser la valeur génétique des verrats sélectionnés pour l'amélioration des performances. Les verrats utilisés pour l'IA sont généralement collectés deux fois par semaine, un éjaculat fournissant des dizaines de doses d'IA qui

sont expédiées entre 16 et 19°C dans les élevages en multiplication et production pour être utilisées dans les 4 à 5 jours. Les méthodes traditionnelles utilisées pour évaluer les verrats et les éjaculats dans les centres d'IA comprennent l'évaluation systématique de la concentration en spermatozoïdes, de la motilité et des anomalies morphologiques. Cependant, certains éjaculats subfertiles passent à travers ces contrôles de qualité et des baisses de

fertilité attribuables aux doses d'IA sont encore enregistrées dans les élevages de production (Roca *et al.*, 2015). Il est donc nécessaire d'éliminer rapidement et avec précision les verrats et les éjaculats peu fertiles afin d'accroître la productivité et la durabilité de la production de viande de porc.

La capacité des spermatozoïdes à survivre dans le tractus femelle après l'IA est particulièrement cruciale chez les truies en raison de la grande variation de l'intervalle entre le début des chaleurs et les ovulations, et du nombre élevé d'ovocytes à féconder (Kemp et Soede, 2020 ; Soede et Kemp, 1997). L'un des principaux sites de survie des spermatozoïdes dans le tractus femelle est la partie caudale de l'oviducte, nommé isthme, où une sous-population de spermatozoïdes se lie fermement aux cellules épithéliales ciliées de l'oviducte (Saint-Dizier *et al.*, 2020 ; Suarez, 2008). La liaison des spermatozoïdes aux cils des cellules de l'oviducte prolonge la durée de vie des spermatozoïdes et augmente la fenêtre temporelle de fécondation grâce à la libération progressive de spermatozoïdes vers l'ampoule, où les ovocytes sont expulsés au moment de l'ovulation puis fécondés (Saint-Dizier *et al.*, 2020 ; Suarez *et al.*, 1991).

Par conséquent, en plus des méthodes traditionnelles d'analyse du sperme, des tests de liaison des spermatozoïdes aux explants épithéliaux de l'oviducte ou à des sucres spécifiques qui imitent la lumière de l'oviducte ont été proposés pour tenter de mieux prédire la fertilité mâle chez le verrat et le taureau (Waberski *et al.*, 2005 ; Petrunkina *et al.*, 2001). Des études antérieures chez le verrat ont mis en évidence des différences dans le nombre de spermatozoïdes liés aux explants d'oviducte entre les mâles (Waberski *et al.*, 2005 ; Winters *et al.*, 2018 ; Daigneault *et al.*, 2015 ; Petrunkina *et al.*, 2001). Cependant, les données sur la liaison des spermatozoïdes de verrats ont été rapportées en poolant plusieurs éjaculats de verrats individuels (Winters *et al.*, 2018 ; Waberski *et al.*, 2006 ; Petrunkina *et al.*, 2001) ou en évaluant un unique éjaculat par verrat (Daigneault *et al.*, 2015 ; Daigneault *et al.*, 2014). La répétabilité du test de liaison entre éjaculats d'un même verrat reste donc à évaluer.

En outre, la plupart des études portant sur les interactions entre spermatozoïdes et oviducte chez les mammifères ont utilisé des explants d'oviducte ou des monocouches de cellules d'oviducte (Waberski *et al.*, 2005 ; Waberski *et al.*, 2006 ; Petrunkina *et al.*, 2001 ; Sostaric *et al.*, 2008). Les explants d'oviducte présentent l'avantage d'être produits rapidement à partir d'oviductes d'abattoir, mais ils sont généralement hétérogènes en termes de forme et de taille et difficiles à standardiser entre les expériences (Suarez, 2008 ; Petrunkina *et al.*, 2001). D'autre part, les monocouches de cellules épithéliales d'oviducte offrent un nombre standardisé de cellules mais sont longues à établir (minimum 5-7 jours) et perdent leurs cils pendant la culture (Sostaric *et al.*, 2008), rendant non spécifique la liaison des spermatozoïdes.

Les objectifs de cette étude étaient donc 1) de caractériser un modèle *in vitro* de sphéroïdes épithéliaux d'oviducte porcine offrant une surface standardisée pour les essais de liaison des spermatozoïdes, et 2) d'évaluer la variabilité de la liaison des spermatozoïdes aux sphéroïdes entre les femelles, les mâles et leurs éjaculats.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Culture de cellules épithéliales d'isthmes de cochettes et caractérisation des sphéroïdes

Des oviductes de cochettes provenant de l'abattoir sont disséquées de manière à isoler les isthmes (environ 5 cm). Les

cellules épithéliales d'isthme sont mises en culture dans du milieu M199 contenant de la L-glutamine, 10 % de sérum de veau fœtal et de la gentamycine dans un incubateur à 38,8°C avec 5 % de CO₂. Après deux jours de culture, les sphéroïdes en suspension avec une forme homogène et sans replis sont sélectionnés en fonction de leur taille (100-200 µm ; Figure 1).

La caractérisation des sphéroïdes est faite le jour de leur sélection par un immunomarquage de la pan-cytokératine (marqueur de cellules épithéliales), de la vimentine (marqueur de cellules stromales) et de l' α -tubuline acétylée (marqueur des cils). Les sphéroïdes sont fixés (4 % de paraformaldéhyde dans du PBS) puis incubés avec les anticorps primaires (anti-pan-cytokératine, C2931 ; anti-vimentine, V6630 ; anti- α -tubuline acétylée, T7451 ; utilisés respectivement à une concentration finale de 40, 80, et 2 µg/mL) à 4°C pendant toute la nuit. Pour chaque marqueur, des groupes contrôles de sphéroïdes sont incubés avec un IgG1 (M9269) à la même concentration que les anticorps primaires associés. Après deux lavages, les sphéroïdes sont incubés avec l'anticorps secondaire couplé à l'Alexa Fluor 488 (A11001, Invitrogen ; à 2 µg/mL), les noyaux sont marqués par le Hoechst (fluorochrome marquant l'ADN, B2261, 1 µg/mL) puis les sphéroïdes sont observés en microscopie confocale.

1.2. Préparation de la semence porcine

La semence fraîche de verrat Piétrain est fournie par la coopérative YXIA (Saint-Gilles, France). Elle est obtenue grâce à un collecteur de semence (CollectOr, Ecopor, France) puis diluée avec un dilueur commercial (KobiDil+, YXIA), à une concentration finale de 25 à 35. 10⁶ spermatozoïdes/mL. Les doses sont acheminées au laboratoire et conservées à 17°C avant leur utilisation. Le jour du test de liaison aux sphéroïdes, les noyaux spermatiques sont marqués au Hoechst (B2261, 1 µg/mL) puis lavés dans du milieu non-capacitant (MNC ; modifié d'après Parrish *et al.*, 1988) contenant 100 mM NaCl, 3,1 mM KCl, 0,3 mM NaH₂PO₄.H₂O, 2,1 mM CaCl₂.H₂O, 0,4 mM MgCl₂.6H₂O, 1 mM sodium pyruvate, 27,4 mM lactate, 10 mM HEPES, 1 mg/mL d'alcool polyvinylique, et ajusté à un pH de 7,4 et une osmolarité de 300 mOsm. La mobilité (50 % minimum), la progressivité et la morphologie (> 80% normaux) sont évaluées par un analyseur CASA (IVOS II, IMV technologies).

1.3. Incubation des sphéroïdes avec les spermatozoïdes et évaluation de la liaison spermatique

Les sphéroïdes (20 par condition) sont co-incubés avec les spermatozoïdes à une concentration finale de 1,6. 10⁵ spermatozoïdes/mL dans un volume final de 80 µL. Cette incubation est effectuée en incubateur à atmosphère humide à 38,8°C avec 5 % de CO₂ pendant 30 minutes. Après l'incubation, les complexes sphéroïdes-spermatozoïdes sont lavés dans le MNC pour détacher les spermatozoïdes faiblement liés, puis fixés (2,5 % glutaraldéhyde dans 0,1 M de cacodylate) puis analysés en microscopie confocale (LSM 780, Zeiss). Deux images sont prises sur la face supérieure et inférieure des complexes avec de la lumière blanche et fluorescente (lex ~353 nm, lem ~483 nm). Le logiciel Image J est utilisé pour compter le nombre de spermatozoïdes liés (noyau marqué en bleu).

La densité spermatique est obtenue en divisant le nombre total de spermatozoïdes liés par la surface totale des sphéroïdes. Pour chaque essai, au moins trois répliques biologiques avec des pools différents de sphéroïdes sont effectuées.

1.4. Analyse statistique

Les résultats sont représentés avec la moyenne \pm l'erreur standard de la moyenne (SEM). Les effets de la femelle sur la densité de liaison sont analysés par le test non paramétrique Kruskal-Wallis, suivi d'un test de Dunn pour les comparaisons deux à deux. Les effets du verrat et de l'éjaculat sur les densités de liaison sont analysés par une ANOVA à deux facteurs suivie d'un test de Tukey pour les comparaisons deux à deux. Les corrélations sont analysées par un test non paramétrique de Spearman. Les coefficients de variations sont calculés par le rapport de l'écart-type moyen sur la moyenne et sont représentés en pourcentage. Une valeur de $P < 0.05$ est considérée comme significative.

2. RESULTATS

2.1. Caractérisation des sphéroïdes d'oviducte

2.1.1. Morphologie des sphéroïdes

Les sphéroïdes sont formés d'une seule couche de cellules épithéliales d'isthme dont le pôle apical est à l'extérieur. Les battements ciliaires des sphéroïdes provoquent leur maintien en suspension dans le milieu. Des sphéroïdes de taille homogène (100-200 μm), sans replis et uni-cavitaires, sont sélectionnés pour les tests de liaison (Figure 1).

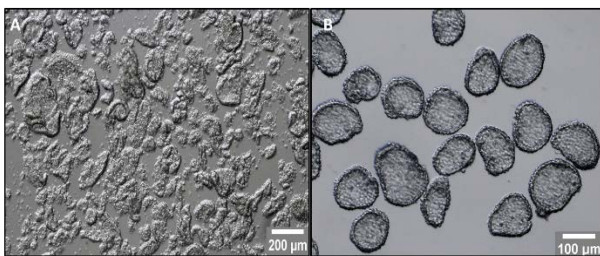


Figure 1 – Formation et sélection de sphéroïdes d'oviducte porcine. Les fragments d'épithélium d'isthmes de cochettes sont mis en culture (A) et après deux jours de culture, des sphéroïdes d'une taille et d'une forme homogène sont sélectionnés (B).

2.1.2. Propriétés épithéliales des sphéroïdes

La présence de la pan-cytokératine (marqueur épithélial) est observée au niveau du cytosol des cellules, tandis que la vimentine (marqueur de cellules stromales) n'est pas observée (données non illustrées). Les sphéroïdes conservent donc des propriétés de cellules épithéliales au cours de la culture.

2.1.3. Densité ciliaire des sphéroïdes entre répliques

Les sites de liaison des spermatozoïdes sont sur les cils des cellules épithéliales d'isthme : ces cils tournés vers l'extérieur sont visibles en vert sur la figure 2. Par ailleurs, sur cinq collectes de sphéroïdes provenant de différents pools de cochettes, la proportion de cellules ciliées moyenne est de 37 % et ne change pas significativement entre répliques (données non illustrées).

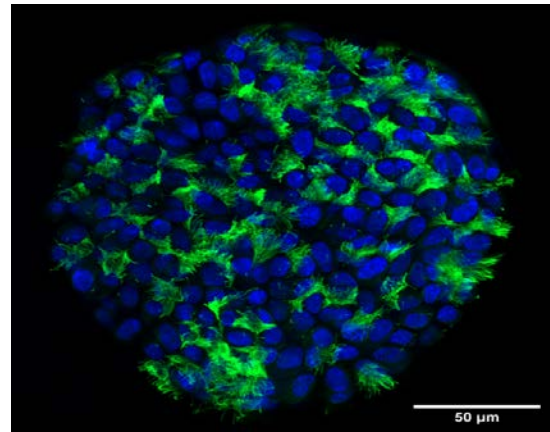


Figure 2 – Observation des cils auxquels se lient les spermatozoïdes à la surface des sphéroïdes. La densité ciliaire est évaluée par immunomarquage de l' α -tubuline acétylée, visible en vert (marqueur de cils) et du marquage des noyaux en bleu.

2.2. Caractérisation du modèle in vitro de réservoir spermatique

2.2.1. Caractérisation de la liaison spermatique aux sphéroïdes

Les spermatozoïdes de verrats se lient très majoritairement aux cellules ciliées des sphéroïdes (Figure 3). L'incubation d'un nombre stable de sphéroïdes avec des concentrations croissantes de spermatozoïdes met en évidence une augmentation linéaire de la densité de liaison (Figure 4). Par ailleurs, la densité de liaison (à $1,6 \times 10^5$ spermatozoïdes/mL) atteint un plateau au bout de 30 minutes de co-incubation et reste stable pendant 120 minutes (Figure 5).

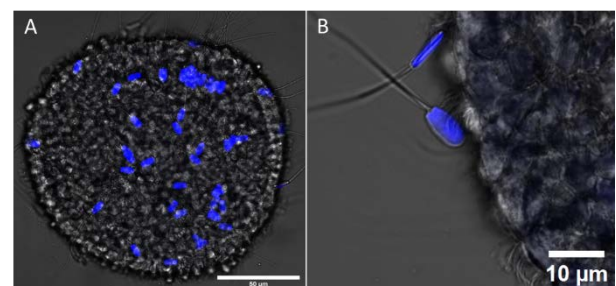


Figure 3 – Liaison des spermatozoïdes aux sphéroïdes. La liaison des spermatozoïdes aux sphéroïdes est évaluée en microscopie confocale avec les noyaux spermatiques marqués au Hoechst (visible en bleu ; (A)). Cette liaison se fait majoritairement au niveau des cellules ciliées (cils visibles en lumière blanche ; (B)).

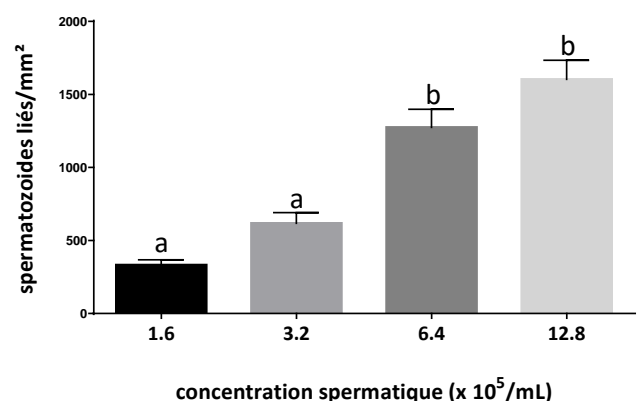


Figure 4 – Effet de la concentration spermatique sur la densité de liaison aux sphéroïdes. Des groupes de 20 sphéroïdes sont incubés avec des concentrations croissantes de spermatozoïdes pendant 30 minutes.

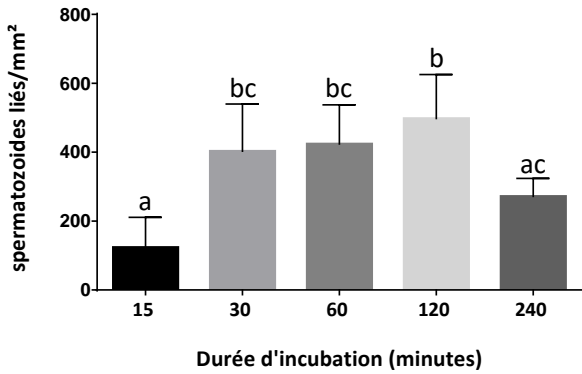


Figure 5 – Effet de la durée d’incubation sur la liaison aux sphéroïdes. Des groupes de 20 sphéroïdes sont incubés pendant des durées variables avec une concentration de $1,6 \times 10^5$ spermatozoïdes/mL.

2.2.2. *Evaluation de la liaison spermatique entre pools de femelles*

Afin de tester l’effet femelle sur la liaison spermatique, différents pools de cochettes sont utilisés pour produire des sphéroïdes co-incubés avec le même éjaculat d’un verrat donné. Sur les cinq verrats testés, les densités de liaison des spermatozoïdes aux sphéroïdes varient entre mâles ($P < 0.0001$) mais pas entre pools de femelles (données non illustrées). La liaison aux sphéroïdes semble donc répétable quel que soit le pool de femelles utilisé pour produire les sphéroïdes.

2.2.3. *Evaluation de la liaison spermatique entre verrats et entre éjaculats*

Cinq éjaculats successifs issus de cinq verrats ont été utilisés afin d’évaluer la variabilité de la liaison aux sphéroïdes entre éjaculats pour un mâle donné. Une forte variabilité de la densité de liaison spermatique aux sphéroïdes a été observé entre éjaculats pour quatre des cinq verrats testés ($28\% < CV < 127\%$; Figure 6). De plus, la densité de liaison n’est pas corrélée aux paramètres CASA de mobilité, de progressivité et de morphologie des spermatozoïdes, ni au facteur de dilution de l’éjaculat (données non illustrées).

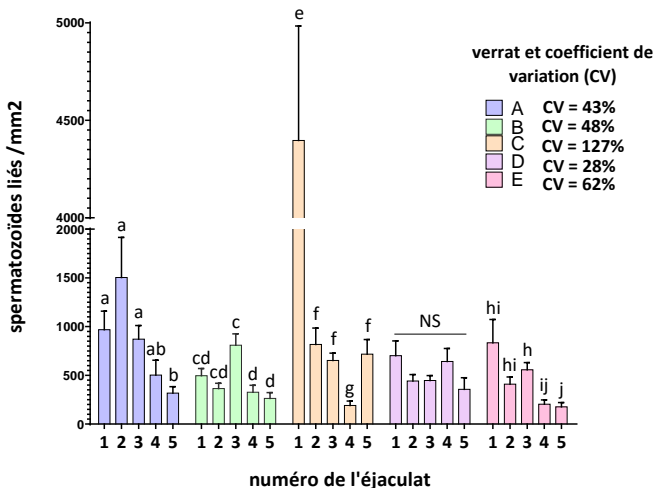


Figure 6 – Liaison de 5 verrats en fonction de l’éjaculat. Des groupes de 20 sphéroïdes provenant de différents pools d’isthmes de cochettes ont été incubés avec une concentration de $1,6 \times 10^5$ spermatozoïdes/ml provenant de 5 éjaculats successifs (1 éjaculat/semaine) pendant 30 min. Les verrats sont représentés par un code couleur associés à une lettre (A-E) accompagné des coefficients de variation associés à chaque mâle.

3. DISCUSSION

Le modèle de sphéroïdes mis au point préserve l’architecture des cellules épithéliales de l’oviducte ; c’est le premier test cellulaire en 3D disponible pour tester la liaison de spermatozoïdes porcins. Les sphéroïdes présentent une proportion de cellules ciliées de 37 %, comparable aux 34 % observés in vivo (Abe et Oikawa, 1992). De plus, les spermatozoïdes se lient très majoritairement aux cellules ciliées, se rapprochant ainsi des caractéristiques du réservoir spermatique in vivo.

C’est la première fois qu’un test in vitro évalue la variabilité de la liaison spermatique à l’oviducte entre femelles, entre mâles et entre éjaculats. Les résultats ont mis en évidence de fortes variations de la densité de liaison entre éjaculats, sans que cela puisse être expliqué par les paramètres de mobilité/morphologie de la semence ou par un effet femelle. En effet, pour un éjaculat donné, la densité spermatique ne variait pas entre pools de femelles donneuses de sphéroïdes. Ces résultats mettent en évidence une grande variabilité des capacités de liaison à l’oviducte des éjaculats, reflétant probablement une grande variabilité de la capacité de survie des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles après IA.

Il est possible que les variations observées proviennent de la composition du plasma séminal au moment de l’éjaculation. En effet, les spermadhésines d’origine séminale sont essentielles pour la liaison des spermatozoïdes aux cellules épithéliales de l’oviducte porcine (Ekhlasi-Hundrieser *et al.*, 2005). Il serait intéressant d’évaluer la concentration en spermadhésines des éjaculats testés.

Une étude récente chez le porc met en évidence une corrélation entre la densité de liaison à des explants d’oviducte et la fertilité après IA (Winters *et al.*, 2018). Dans notre étude, il aurait été intéressant de connaître la fertilité des éjaculats testés en termes de taux de gestation et de taille de portés. Cependant, la précision de cette évaluation est limitée par le faible nombre de doses d’IA habituellement produites par éjaculat (20 à 50) et par les pratiques d’IA en élevage, qui mixent plusieurs verrats (doses hétérospermiqes) pour améliorer la prolificité. Il serait néanmoins intéressant d’évaluer la valeur prédictive de la densité de liaison aux sphéroïdes sur la fertilité lorsque l’éjaculat est fortement dilué (nombreuses doses inséminantes à faible concentration) et pour la production d’embryons in vitro. Les sphéroïdes pourraient également être utilisés pour évaluer l’intégrité membranaire des spermatozoïdes après tri par cytométrie en flux ou cryoconservation.

CONCLUSION

La capacité de liaison des spermatozoïdes frais à des sphéroïdes d’oviducte varie entre mâles et entre éjaculats, ce qui ne permet pas d’utiliser ce test pour évaluer la fertilité d’un verrat à partir d’un seul éjaculat. Les sphéroïdes d’oviductes porcins constituent néanmoins un modèle in vitro accessible et prometteur pour mieux évaluer la qualité des spermatozoïdes et mieux comprendre leurs interactions avec le tractus femelle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abe H., Oikawa T., 1992. Examination by scanning electron microscopy of oviductal epithelium of the prolific Chinese Meishan pig at follicular and luteal phases. *Anat. Rec.*, 233, 399-408.
- Daigneault B.W. et al, 2015. Enhanced fertility prediction of cryopreserved boar spermatozoa using novel sperm function assessment. *Andrology*, 3, 558-568.
- Daigneault B.W. et al, 2014. Novel and traditional traits of frozen-thawed porcine sperm related to in vitro fertilization success. *Theriogenology*, 82, 266-273.
- Ekhlasi-Hundrieser M. et al, 2005. Spermadhesin AQN1 Is a Candidate Receptor Molecule Involved in the Formation of the Oviductal Sperm Reservoir in the Pig1. *Biol. Reprod.*, 73, 536-545.
- Kemp B., Soede N.M., 2020. Consequences of variation in interval from insemination to ovulation on fertilization in pigs. *J. Reprod. Fertil. Suppl.*, 52, 79-89.
- Petrunkina A.M. et al, 2001. Selective sperm binding to pig oviductal epithelium in vitro. *Reproduction*, 131, 311-8
- Roca J. et al, 2015. Boar Differences In Artificial Insemination Outcomes: Can They Be Minimized? *Reprod. Domest. Anim.*, 50, 48-55.
- Saint-Dizier M. et al, 2020. Sperm interactions with the female reproductive tract: A key for successful fertilization in mammals. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 516, 110956.
- Soede N.M. et Kemp B, 1997. Expression of oestrus and timing of ovulation in pigs. *J. Reprod. Fertil. Suppl.*, 52, 91-103.
- Sostaric E. et al, 2008. Sperm binding properties and secretory activity of the bovine oviduct immediately before and after ovulation. *Mol. Reprod. Dev.*, 75, 60-74.
- Suarez S., Redfern K., Raynor P., Martin F., Phillips D.M., 1991. Attachment of Boar Sperm to Mucosal Explants of Oviduct In Vitro: Possible Role in Formation of a Sperm Reservoir. *Biol. Reprod.*, Volume 44, 998-1004.
- Suarez S.S., 2008. Regulation of sperm storage and movement in the mammalian oviduct. *Int. J. Dev. Biol.*, 52, 455-462.
- Waberski D. et al, 2006. Binding of boar spermatozoa to oviductal epithelium in vitro in relation to sperm morphology and storage time. *Reproduction*, 131, 311-318.
- Waberski D. et al, 2005. Importance of sperm-binding assays for fertility prognosis of porcine spermatozoa. *Theriogenology*, 63, 470-484.
- Winters R.A. et al, 2018. Porcine sperm binding to oviduct cells and glycans as supplements to traditional laboratory semen analysis. *J. Anim.Sci.*, 96, 5265-5275.



Évaluation de la prévalence du syndrome inflammatoire et nécrotique porcin dans les troupeaux français

Hervé FORTUNE (1), Sandy MICOUT (1), Alice MONJOUSTE (2)

(1) ADM, Talhouët, 56250 Saint-Nolff, France

(2) ADM, Rue de l'Eglise, 02402 Château-Thierry, France

Herve.Fortune@adm.com

Assessment of the prevalence of Swine Inflammation and Necrosis Syndrome in French pig herds

Swine Inflammatory and Necrosis Syndrome (SINS), a disease recently described in Germany, is characterized by lesions on newborn piglets that could indicate future sensitivity pigs to ear necrosis and deviant behaviour such as tail biting. The aim of this study was to assess the prevalence of this phenomenon on French farms by examining results of clinical examination of 2377 suckling piglets from 164 litters in 16 herds. In this cohort, the prevalence of inflammation and necrosis lesions on the tails, ears, claw coronary bands, heels and teats was determined using a qualitative pre-defined scoring matrix. At a mean age of 1.5 days (0-4 days), 85.8 % of the piglets had at least one lesion, the frequency of clinical signs being heels: 61.4 %, coronary band: 58.6 %, tail: 23.5 %, head: 16.9 %, teats: 12.9 % and ears: 10.8 %. No farm was unscathed. The mean prevalence was 1.8 lesions per piglet and differed significantly among farms ($P < 0.01$). This study highlights the presence of skin lesions on newborn piglets in French farms compatible with the clinical picture of Porcine Inflammatory and Necrotic Syndrome. The early onset of clinical signs of inflammation suggests a possible maternal effect or other events that occurred during gestation. Regarding the reduction in animal welfare due to the lesions observed and their possible connection to the inflammatory and necrosis phenomena observed later, it appears necessary to understand the multifactorial causality involved in this syndrome.

INTRODUCTION

Le syndrome inflammatoire et nécrotique porcin, pathologie récemment décrite en Allemagne (Reiner *et al.*, 2019), est caractérisé par des lésions cutanées touchant les porcelets nouveau-nés. Il pourrait être un indicateur d'une sensibilité ultérieure des porcs aux phénomènes de nécrose d'oreille et à des déviations de comportement telles que les morsures de queue (Reiner *et al.*, 2020). Ce syndrome semble répandu puisqu'il affecterait plus de 70 % des porcelets âgés de 3 jours (Kuehling *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude est d'évaluer la prévalence de cette pathologie dans les élevages français.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Elevages et évaluation des lésions

Entre les mois de septembre et décembre 2022, 2377 porcelets nouveau-nés de 0 à 4 jours d'âge issus de 164 portées provenant de 16 élevages ont été examinés cliniquement pour évaluer la présence de lésions cutanées au niveau des oreilles mais aussi de la queue, des talons, de la bande coronaire, des tétines et de la face. L'évaluation a été réalisée en utilisant une grille qualitative binaire (0 = absence, 1 = présence) proposée par Reiner *et al.* (2019) adaptée à une utilisation en routine en élevage commercial.

La présence de documents de gestion technique du troupeau de truie (GTTT) était le seul critère de sélection des élevages. Chaque élevage a été audité une seule fois. Lors des audits, les

portées devaient être âgées au plus de quatre jours de vie et ne pas avoir subies des interventions de caudectomie et castration. Tous les examens ont été réalisés par la même personne.

1.2. Calculs et analyses statistiques

Les prévalences des lésions ont été calculées pour chaque partie du corps et pour l'ensemble des parties contrôlées à l'échelle de la portée et de l'élevage. Le nombre de lésions par individu a également été calculé.

L'effet sur la prévalence des lésions du facteur élevage pour chaque partie du corps a été évalué avec un test de Khi-deux. Le nombre moyen de lésions par porcelet a été soumis à une ANOVA, l'élevage étant le facteur fixe et l'unité statistique étant le porcelet. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R Studio (v1.4.1103).

Pour comparer les résultats aux données de la bibliographie, les fréquences des lésions ont également été agrégées à l'échelle de la bande.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'effectif moyen des élevages était de 329 truies présentes (entre 140 et 580 truies). Les porcelets étaient sevrés à 21 jours dans dix élevages et à 28 jours dans six élevages. Six génétiques femelles et trois génétiques mâles étaient utilisées.

Sur la base des informations GTTT, les élevages sevrèrent en moyenne 13,5 porcelets par portée (variation entre 10,8 à

17,0 porcelets par portée). L'échantillon représentait bien la diversité des conduites d'élevage et des performances que l'on peut rencontrer sur le terrain en France. En moyenne, 149 porcelets par élevage (entre 107 et 194 selon l'élevage) ont été notés à un âge moyen de 1,5 jour.

Tableau 1 – Proportion de porcelets présentant des lésions et nombre de parties du corps touchées

| Parties du corps | Moyenne | Effet élevage |
|-------------------------------------|---------|---------------|
| Queue (%) | 23,5 | $P < 0,001$ |
| Talon (%) | 61,4 | $P < 0,001$ |
| Couronne (%) | 58,6 | $P < 0,001$ |
| Tétine (%) | 12,9 | $P < 0,001$ |
| Oreilles (%) | 10,8 | $P < 0,001$ |
| Face (%) | 16,9 | $P < 0,001$ |
| Toutes zones (%) | 85,8 | $P < 0,001$ |
| Nombre de parties du corps touchées | 1,8 | $P < 0,001$ |

Dans cette étude, 85,8% des porcelets présentaient au moins une lésion. Les régions du corps les plus touchées étaient le talon (61,4%) et la bande coronaire (58,6%). Inversement, les oreilles (10,8%), les tétines (12,9%) et la face (16,9%) étaient moins touchées (Tableau 1). La fréquence de ces lésions inflammatoires précoces est donc très élevée, et la totalité des élevages sont concernés.

Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux de Reiner *et al.* (2019, Figure 1). Des écarts existent cependant avec une sur-représentation des lésions au niveau de la queue (23,7 % vs 11,3 %), des oreilles (10,7 % vs 0,5 %) et des tétines (13,4 % vs 4,3 %) et inversement une valeur moindre au niveau des talons (62,0% vs 73,4%). Ces écarts pourraient être liés à la fois à des différences dans la nature des élevages (taille, matériels, ...), des lignées génétiques impliquées et à un effet éleveur possible.

La précocité de ces lésions va dans le sens de l'hypothèse émise par Reiner *et al.* (2019) d'une origine endogène de ce syndrome et d'un lien avec des événements qui se sont produits avant la naissance comme l'origine génétique, l'alimentation de la truie (Reiner *et al.*, 2019 ; Kuehling *et al.*, 2021, Leite *et al.*, 2023) ou lors de la mise-bas.

La totalité des élevages était touchée. Toutefois, des observations réalisées lors de cette étude montrent une variabilité importante de la sévérité des lésions entre animaux, portées et élevages, que cette approche qualitative

binnaire ne permet pas de prendre en compte. La sévérité des lésions devrait donc être considérée pour de futures études.

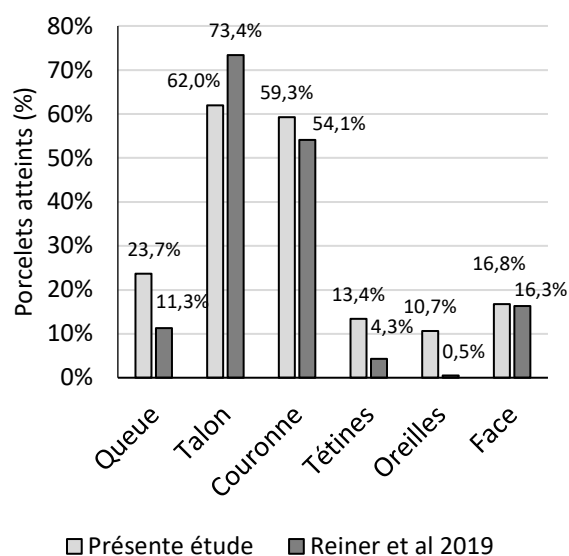


Figure 1 – Comparaison de la prévalence des lésions observées avec les données de l'étude de Reiner *et al.* (2019) à l'échelle de la portée

CONCLUSION

Cette étude met en évidence la présence dans les élevages français de porcelets nouveau-nés présentant des lésions cutanées compatibles avec les signes du tableau clinique du Syndrome Inflammatoire et Nécrotique Porcin. Cette étude montre qu'il s'agit d'un phénomène très fréquent et qu'aucun élevage n'est épargné. Cependant cette étude ne permet pas de juger de l'importance des conséquences ultérieures de ce phénomène et des éléments qui en sont à l'origine.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient pour leur implication les éleveurs et les fabricants d'aliments (AGRIAL, Coopérative GARUN-PAYSANNE, COOPERL, EUREDEN, NOVIAL, NUTREA, TECNOR-SOFAC) ayant participé à l'étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kuehling J., Eisenhofer K., Lechner M., Becker S., Willems H., Reiner G., 2021. The effects of boar on susceptibility to swine inflammation and necrosis syndrome in piglets. *Porcine Health Manag.* 7, 1–11.
- Leite N. G., Knol E. F., Nuphaus S., Vogelzang R., Tsuruta S., Wittmann M., Lourenco D., 2023. The genetic basis of swine inflammation and necrosis syndrome and its genetic association with post-weaning skin damage and production traits. *J. Anim. Sci.* 101, 1–8.
- Reiner G., Kühling J., Lechner M., Schrade H., Saltzman J., Muelling C., Dänicke S., Loewenstein F., 2020. Swine Inflammation and Necrosis Syndrome is influenced by husbandry and quality of sow in suckling piglets, weaners and fattening pigs. *Porcine Health Manag.* 6, 1–22.
- Reiner G., Lechner M., Eisenack A., Kallenbach K., Rau K., Müller S., Fink-Gremmels J., 2019. Prevalence of an inflammation and necrosis syndrome in suckling piglets. *Animal*, 13, 2007–2017.



Activité de la myéloperoxydase en tant que marqueur non invasif chez les porcs pour identifier les processus inflammatoires intestinaux au-delà de la période de sevrage

Sergi LÓPEZ-VERGÉ (1), Jose J. PASTOR (1), Raúl D. GUEVARA (2,3), Pol LLONCH (2), Gemma TEDO (1)

(1) Innovation Division, Lucta S.A., UAB Research Park, Campus UAB, 08193, Cerdanyola del Vallès, Espagne

(2) Department of Animal and Food Science, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Bellaterra (UAB), Espagne

(3) AWEC Advisors S.L., Research Park UAB, Campus UAB, 08193, Cerdanyola del Vallès, Espagne

sergi.lopez@lucta.com

Avec la collaboration de Carles COLOM, Almudena MARTINEZ, Marc VUJADINOVIC et François DENIEUL

Myeloperoxidase activity as a non-invasive marker in pigs to identify intestinal inflammatory processes beyond the weaning period

In early stages, piglets face challenges that disrupt their intestinal homeostasis. In later stages, even with a more mature intestine, other challenges occur throughout pigs' lifecycle that can trigger intestinal inflammatory responses that compromise their welfare and performance. Myeloperoxidase (MPO) can be used as a non-invasive biomarker of intestinal inflammation. Therefore, the objective of this study was to evaluate the inflammatory response by measuring MPO activity in faeces from the end of the nursery phase until the growing period in two independent trials. A total of 180 piglets were used. In trial 1, faeces were collected on days 25, 42, and 67 after weaning (aw). In trial 2, samples were collected for longer, starting 33 days aw and ending on day 81 aw. In trial 1, MPO activity decreased significantly (47.4 %, $P < 0.05$), suggesting adaptation to the diet until day 42 aw. However, it increased significantly from day 42 to 67 (84.3 %, $P < 0.05$), probably related to the additive effect of dietary change and transport. Trial 2 showed a similar pattern from day 33 to 46 aw. However, from day 46 to 78, a significant decrease was observed (47.4 %, $P < 0.05$), again suggesting better adaptation. Finally, from day 78 to 81 aw, MPO increased slightly after the last dietary change, which indicated that intestinal inflammation was still present. Thus, based on the results of MPO activity, dietary changes and transport to a new environment may trigger intestinal inflammation, with MPO activity being a useful biomarker for monitoring homeostasis beyond the weaning period.

INTRODUCTION

Le stress, en particulier aux premiers stades, peut déclencher une inflammation intestinale susceptible d'affecter la santé intestinale des porcs et leur bien-être (Moeser *et al.*, 2007). Cependant, à partir du sevrage, même avec une maturité intestinale plus élevée, certains problèmes peuvent encore survenir tout au long du cycle du porc, susceptibles de déclencher des réponses inflammatoires intestinales compromettant leur bien-être et leurs performances ultérieures. La myéloperoxydase (MPO) est un médiateur inflammatoire lié à la réponse immunitaire contre les bactéries pathogènes et est libérée par les granules cytoplasmiques des neutrophiles lors de la phagocytose (Watanabe *et al.*, 2002). En outre, l'activité de la MPO peut être un marqueur utile pour détecter et mesurer une inflammation de l'intestin (Pulli *et al.*, 2013) de manière moins invasive via les selles. L'objectif de cette étude était d'évaluer la réponse inflammatoire en mesurant l'activité de la MPO dans les fèces de la fin de la

transition jusqu'à la période de croissance lors de deux essais indépendants.

1. MATÉRIEL ET METHODES

1.1. Animaux, logement et les régimes

Deux essais indépendants, impliquant 180 porcelets au total, ont été menés. L'essai 1 a été conduit à la ferme expérimentale d'IRTA Mas Bové (Ctra. Reus-El Morell km. 3.8, E-43120 Constantí, Espagne). Au total, 108 porcelets croisés ([Large White x Landrace] x Pietrain), sevrés à 26 ± 2 jours de vie avec un poids vif (PV) de $7,21 \pm 1,05$ kg, ont été inclus dans cette première étude. Les porcelets ont été logés par groupe de quatre animaux par case du sevrage (jour zéro) à 42 jours après le sevrage (as). Ensuite, les porcs ont été déplacés (vers l'une des salles de croissance-finition en gardant les mêmes compagnons jusqu'au 67ème j après le sevrage). L'essai 2 a été réalisé à la ferme expérimentale de Lucta (Sant Aniol de

Finestres, Espagne). Au total, 72 porcelets croisés ([Large White x Landrace] x Pietrain), sevrés à $21 \pm 1,2$ jours de vie avec un PV de $5,10 \pm 0,65$ kg, ont été utilisés. De la même manière, les porcelets ont été logés par groupe de six animaux par case du sevrage (jour zéro) à 42 jours après le sevrage. Les animaux ont ensuite été déplacés vers un atelier d'engraissement en gardant les mêmes compagnons jusqu'au 81ème jours après le sevrage. Dans les deux essais, tous les animaux ont été nourris avec des régimes commerciaux offerts *ad libitum*, sous forme de farine et formulés pour répondre ou légèrement dépasser les besoins en éléments nutritifs du NRC (2012).

1.2. Déterminations analytiques

Des échantillons fécaux ont été prélevés du rectum aux jours 25, 42 et 67 après le sevrage dans l'essai 1, et aux jours 33, 42, 46, 78 et 81 après le sevrage dans l'essai 2 respectivement (par un massage circulaire). Un lubrifiant a été utilisé pour minimiser l'apparition de lésions chez les animaux. Immédiatement, tous les échantillons ont été déposés dans des récipients en plastique correctement identifiés et stockés à -80°C . Par la suite, les échantillons fécaux ont été analysés pour déterminer la teneur en protéines fécales et l'activité MPO par spectrophotométrie en suivant une adaptation du protocole décrit par Pulli *et al.* (2013). Les résultats sont présentés sous forme de moyenne.

1.3. Analyses statistiques

Le logiciel statistique GraphPad Prism (v.9, GraphPad Software, San Diego, California) a été utilisé pour analyser toutes les données. Un test ANOVA unidirectionnel a été réalisé en considérant le temps comme facteur fixe. Les résultats sont considérés comme significatifs à $P < 0,05$ et une tendance à $P \leq 0,1$.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les deux essais ont montré des schémas similaires concernant l'évolution de l'activité de la MPO au cours des premières étapes jusqu'au premier changement de régime. Dans l'essai 1, les résultats ont montré une diminution significative de 47,4 % de l'activité de la MPO ($P < 0,05$), suggérant une adaptation à

l'alimentation au jour 42 as (Boudry *et al.*, 2002). Cependant, une augmentation significative de 84,3 % à partir du jour 67 as ($P < 0,05$) a été observée, probablement liée à l'effet additif du changement alimentaire et du transport vers les nouvelles installations d'engraissement (Castillo *et al.* 2007). Les résultats de l'essai 2 ont montré un schéma similaire du jour 33 au jour 46 as. Cependant, du jour 46 au jour 78 as, une diminution significative a été observée (52,8 %, $P < 0,05$), la MPO indiquant toujours une inflammation, et montrant une légère augmentation numérique après le dernier changement alimentaire (Figure 1). La réduction de l'ampleur de l'activité MPO pourrait s'expliquer par la résilience accrue de l'organisme du porc en raison d'une meilleure intégrité intestinale (Moesser *et al.* 2017).

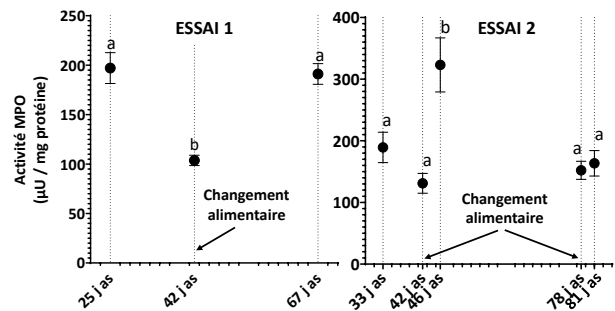


Figure 1 – Evolution de l'activité MPO à partir d'échantillons fécaux dans les essais 1 et 2 depuis la transition vers les étapes ultérieures.

As : après le sevrage. Différentes lettres a, b signifient des différences significatives à $P < 0,05$.

CONCLUSION

Pour conclure, selon les résultats de l'activité MPO, les effets des changements alimentaires et du stress associé au transport vers un nouvel environnement déclenchent une inflammation intestinale. La MPO fécale a le potentiel d'être une méthode de surveillance moins invasive pour évaluer la santé intestinale des porcs. La MPO fécale pourrait être utilisée pour détecter les individus plus sensibles aux nouveaux environnements et régimes alimentaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boudry G., Lallès J.P., Malbert C.H., Bobillier E., Sève B., 2002. Diet-Related Adaptation of the Small Intestine at Weaning in Pigs Is Functional Rather Than Structural. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, 34, 180–187.
- Castillo M., Martín-Orúe S. M., Anguita M., Pérez J. F., Gasa J., 2007. Adaptation of gut microbiota to corn physical structure and different types of dietary fibre. *Livest. Sci.*, 109, 149–152.
- Moesser A.J., Klok C.V., Ryan K.A., Wooten J.G., Little D., Cook V.L., Blikslager, A.T., 2007. Stress signaling pathways activated by weaning mediate intestinal dysfunction in the pig. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*, 292, 173–181.
- Moesser A.J., Pohl C.S., Rajput M., 2017. Weaning stress and gastrointestinal barrier development: Implications for lifelong gut health in pigs. *Anim. Nutr.*, 3, 313–321.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine: 11th revised edition. The National Academies Press, Washington D.C., USA, 210 p.
- Pulli B., Ali M., Forghani R., Schob S., Hsieh K. L. C., Wojtkiewicz G., Linnoila J. J., Chen J. W., 2013. Measuring myeloperoxidase activity in biological samples. *PLoS ONE*, 8, 1–10.
- Watanabe K., Jinnouchi K., Yagi T., 2002. Immunoreactivity for myeloperoxidase (MPO) in the vestibule after the injection of bacterial lipopolysaccharide into the middle ear. *Auris Nasus Larynx*, 29, 241–245.



Potentiel d'une technologie RFID UHF pour déterminer le taux d'occupation des zones de vie de porcs en croissance dans un nouveau concept de bâtiment ouvert

Yvonnick ROUSSELIERE (1), Audrey GLOUX (2), Johan THOMAS (1), Damien MONTSIMERT (2), Mathilde RADEK (3),
Sophie AMBROIS (3)

(1) IFIP, Institut du Porc, Le Rheu, France

(2) Asserva, 7 Rue des Gastadours Maroué, 22400 Lamballe-Armor

(3) Le Gouessant, 1 Rue de la Jeannaie Maroué, 22400 Lamballe

yvonnick.rousseiere@ifip.asso.fr

Etude financée par la région Bretagne et soutenue par Valorial et Images & Réseaux, avec le concours des éleveurs (projet EPP).

Potential of RFID UHF technology to determine occupancy rates of living areas for growing pigs in a novel concept of open housing.

A new generation of pig buildings is emerging that are usually more open and emphasise animal welfare. However, it remains unclear whether pigs prefer spending time indoors or outdoors. This study focused on a finishing pen for 20 pigs (1.2 m²/animal) and divided into two living areas: (1) a straw-covered indoor area for sleeping and (2) a fully covered outdoor area (used for feeding, watering, exercise, and excretion). The objective was to develop a system to detect individual animals in the living areas. To this end, a pen was equipped with eight UHF RFID antennas (three inside and five outside), covering 70% of the area of the pen. Additionally, the animals were equipped with individual ear tags. The antennas were continuously read by a reader, and the software queried the reader every 4 seconds to capture data on tag detection, which was then timestamped and stored. From May 2022 to August 2023, the pigs were detected on average 87% of the time, with an equal distribution between the two living areas (indoors/outdoors). For two distinct seasons (May-June and September-October the average occupancy rate of the outdoor area by all pigs varied a lot from one day to the next (between 25% and 79%). The same conclusion was drawn at an individual level. In the future, this tool could be useful for evaluating animal welfare in the next generation of housing and studying effects of the environment, new equipment or farming practices on animal behaviour.

INTRODUCTION

La filière porcine est structurée autour d'un modèle d'élevage standardisé. A ce jour, 95% des animaux sont logés dans des bâtiments fermés avec un sol en caillebotis intégral. Ce modèle est le fruit de plusieurs dizaines d'années de recherche et d'optimisation en vue d'obtenir un bâtiment multiperformant (ergonomie au travail, performance zootechnique, respect de l'environnement). Malgré tout, ce modèle est de plus en plus remis en cause et semble moins en adéquation avec les attentes des consommateurs. La principale préoccupation porte sur le bien-être des animaux. En 2016, un sondage Ifop pour le projet ACCEPT a montré que 60 % des citoyens interrogés considéraient que l'accès au plein air est un enjeu prioritaire pour l'élevage de demain (Delanoue *et al.*, 2018). Coty *et al.* (2017) précisent que, dans ce contexte, 13 % et 9% des éleveurs estiment que cela passera respectivement par : une évolution des modes de production standards et une production plus différenciée. C'est ainsi que certaines configurations de bâtiment ont vu le jour visant à trouver un compromis acceptable entre les nouvelles demandes de la société et les contraintes de production. On y retrouve généralement des courettes extérieures ainsi qu'une distribution de matériaux manipulables (généralement de la paille) en plus ou moins grande quantité. Cependant, le taux

d'occupation des courettes par les animaux a rarement été mesuré pour ces bâtiments. Pour quantifier la présence d'animaux dans les zones de vie, il est possible d'utiliser l'analyse vidéo en temps réel. Néanmoins, elle ne permet généralement qu'une analyse en période diurne. De plus, il s'agit d'une analyse de groupe et les suivis individuels restent encore très délicats (Cowton *et al.*, 2019). Enfin, l'obtention d'un algorithme de détection fiable et robuste peut être très chronophage. Dans cette étude, l'objectif était de tester une autre technologie : l'identification individuelle par radio-ultra haute fréquence (RFID UHF). Elle permet la détection sur de longue portée de plusieurs animaux à la fois dans une zone de vie couverte par une antenne de détection.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Mode de logement des animaux

L'essai s'est déroulé dans un élevage commercial de 265 truies naisseur-engraisseur entre mai 2022 et août 2023. Cette étude ne porte que sur le stade physiologique de l'engraissement. Il s'agit d'une case de 20 porcs offrant une surface de 1,20 m² par animal. Elle est séparée en deux parties. Tout d'abord une zone intérieure isolée et fermée sur quatre côtés. La surface par animal est modulable selon l'âge et le poids des animaux grâce à une cloison mobile. Elle varie de 0,25 à 0,50 m² par animal. Il

s'agit de la zone de repos. Les animaux disposent d'un sol plein sur lequel une fine couche de paille est apportée tous les jours. La quantité de paille est calculée pour que l'intégralité soit consommée dans la journée. La deuxième zone est une courette extérieure intégralement couverte. Elle offre une surface de 0,70 m² par porc. Cette zone est coupée en deux : 60 % est sur un sol plein en béton sur lequel se trouve le système d'alimentation. Les 40 % restants concernent une surface de caillebotis avec un système de raclage en dessous. Il s'agit de la zone de déjection et d'abreuvement. Dans cette case, les cochons entrent à 77 jours d'âge et environ 34 kg et sont vendus à 175 jours d'âge et environ 120 kg.

1.2. Technologie RFID UHF et données obtenues

Pour réussir à mesurer le temps passé par chaque animal dans les différentes zones de vie de la case, chaque porc a été équipé d'une boucle RFID UHF à l'oreille. De plus, un réseau de huit antennes RFID UHF a été suspendu entre 1,40 et 1,60 m de la surface du sol de la case (trois dans la zone intérieure et cinq sur la courette). La surface de couverture au sol du champ d'émission circulaire de l'antenne est de 2,52 m². La répartition des antennes a été calculée pour limiter les zones de recoupement ainsi que celles non couvertes par le signal des antennes. Au final, le taux de couverture des antennes est de 70% de la surface de la case (Figure 1).

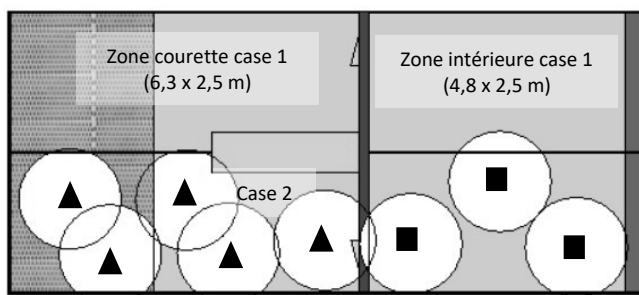


Figure 1 - Vue aérienne de deux cases d'élevage et positionnement dans une case des huit antennes RFID UHF (cinq en courette (triangle) et trois en zone intérieure (carré))

Un lecteur automatique consulte les identifiants des porcs présents sous les huit antennes de manière synchronisée et en temps réel. En parallèle, un logiciel d'acquisition récupère ces données toutes les 4 secondes pour les horodater et les stocker. Cette fréquence a été déterminée pour trouver un bon compromis entre la masse de données collectées et un suivi correct des animaux. Il est alors possible de calculer le temps passé pour chaque animal sous une antenne dédiée à une zone de la case et ainsi le taux d'occupation des courettes par consolidation des données des antennes cibles.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour des raisons inhérentes à la mise en place d'un nouveau dispositif en élevage, uniquement 8 mois de collecte d'informations ont été exploités dans cette étude.

En moyenne, les cochons sont détectés 87 % du temps. Les 13 % manquants peuvent être liés aux zones non couvertes par le signal des antennes ainsi qu'aux particularités de la technologie UHF. Les performances de détection des puces peuvent fortement être dégradées lorsque la puce est en contact très rapproché avec la peau des animaux. Ainsi, dans certaines configurations, le corps de l'animal peut faire écran (oreille tombante, animal couché sur un congénère ou sur l'oreille équipée de la puce...) et rendre la détection de la puce par les antennes plus délicate. Sur les 87 % de détection, la répartition des cochons entre les deux principales zones de vie est séparée à part égale : 43% du temps en zone intérieure et 44 % du temps sur la courette. Cette répartition peut en partie s'expliquer par l'aménagement de la case avec une zone de repos compacte à l'intérieure et une zone extérieure sur laquelle sont positionnés les dispositifs d'alimentation et d'abreuvement. Les résultats obtenus sur deux saisons distinctes (une plutôt estivale (mai - juin) et une plutôt automnale (septembre - octobre)) montrent que le taux d'occupation moyen des courettes par l'ensemble des porcs peut fortement varier d'un jour à l'autre (Figure 2). Sur la bande estivale, il peut osciller entre 25 % et 79 %. A l'échelle individuelle, le constat est le même. Sur deux mois d'élevage, la variation du taux d'occupation de la courette par un individu d'un jour à l'autre oscille entre 0% (il reproduit donc son comportement de la veille) à 55,6 % (il modifie drastiquement son comportement).

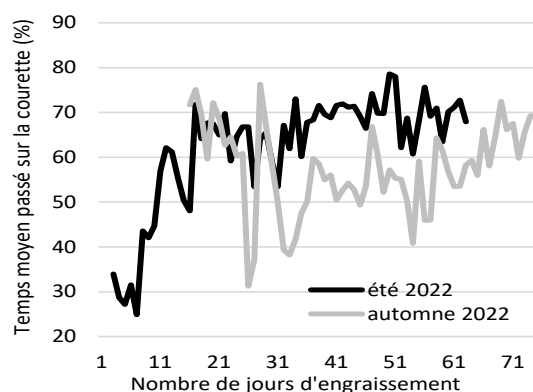


Figure 2 - Taux d'occupation moyen des courettes sur deux bandes suivies en été et automne 2022

CONCLUSION

La technologie RFID UHF est une solution intéressante pour connaître le temps passé par les animaux dans les différentes zones de vie. Sur la nouvelle génération de bâtiments plus ouverts que l'on voit apparaître, il pourra s'agir d'un outil précieux pour mesurer le comportement des animaux et objectiver leur bien-être, mais aussi pour tester l'effet de l'environnement, de certains aménagements ou encore de pratiques d'élevage. De plus, la technologie UHF semble moins onéreuse que la technologie BF (Basse fréquence), actuellement utilisée dans les élevages équipés d'automates de distribution d'aliment, ce qui pourrait accélérer son développement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coty M., Poisson A., Laurin M., Roguet C., Grannec ML., Neumeister D., 2017. Perception et prise en compte par les éleveurs du regard de la société sur l'élevage. Journées Rech. Porcine, 49, 321-322.
- Cowton J., Kyriazakis I., Bacardit J., 2019. Automated individual pig localisation, tracking and behaviour metric extraction using deep learning. IEEE Access, 7, 108049 – 108060.
- Delanoue E., Dockès A.-C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. INRAE Prod. Anim., 31 (1), 51-68



Étude de faisabilité sur la pesée des porcs charcutiers par imagerie

Pierre CHATELAIN (1), Aurélien YOL (1), Yvonnick ROUSSELIÈRE (2), Johan THOMAS (2)

(1) Dilepix, 22 avenue Jules Maniez, 35000 Rennes, France

(2) IFIP-Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

aurelien.yol@dilepix.com

Feasibility study of image-based weighing of growing-finishing pigs

The slaughter weight of pigs is a major factor that influences how much pig farmers are paid, but weighing is time-consuming. An accurate and rapid weighing method would facilitate this step. To this end, IFIP and Dilepix tested the feasibility of a weighing method based on image processing using deep learning. Specifically, RGBD videos were recorded of 121 pigs passing individually through a corridor in front of two stereoscopic cameras placed on the side and ceiling. Then, a neural network training dataset was created using the weight of each pig, measured by a scale. The pigs weighed a mean of 113.1 kg (range = 89.0-128.0 kg). Dilepix annotated the location of the pigs with bounding boxes (i.e., regions of interest) in 27,031 images extracted from the acquired videos and then tested two neural networks (regression on the entire image (EI) or on the region of interest (ROI)) using three types of images: (i) side view only (side), (ii) top view only (top), or (iii) both views (all). The results were promising, especially the regression on entire top-view images, which had a mean absolute error of 3.0 kg compared to 6.4 kg (EI-side), 5.4 kg (EI-all), 4.7 kg (ROI-top), 7.3 kg (ROI-side) and 5.3 kg (ROI-all). These results can be explained by the consistent observation distance (top) and the concept of scale in the image (EI). These positive results were deemed conclusive. The next step will be to expand the dataset to improve the model's performance and test the system's robustness in a farming environment with animals that are in close contact.

INTRODUCTION

Le poids des porcs à l'abattage est une donnée essentielle pour plusieurs raisons. Il influe d'une part sur les caractéristiques de la carcasse et la qualité de la viande (Li *et al.*, 2021), et d'autre part sur la rentabilité pour les éleveurs, puisqu'en France une partie du mode de rémunération des éleveurs est basé sur cet indicateur (Quiniou *et al.*, 2012). Cependant, trier et peser les porcs est complexe et chronophage. Une méthode de pesée précise et rapide faciliterait cette opération. Plusieurs approches ont été proposées pour estimer le poids de porcs par imagerie (Schofield, 1990 ; Buayai *et al.*, 2019 ; Tu et Jørgensen, 2023). Ces méthodes utilisent une analyse d'image automatique ou semi-automatique (avec intervention d'un utilisateur) pour extraire des caractéristiques géométriques de l'image, puis un modèle statistique liant ces caractéristiques au poids pour prédire le poids de l'animal. L'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité d'estimer le poids d'un porc directement à partir d'une image de manière entièrement automatique.

1 MATERIEL ET METHODES

1.1 Données

Nous avons procédé à l'enregistrement de vidéos de 121 porcs charcutiers en fin d'engraissement passant un par un dans un couloir d'élevage de 2,5 m de large. Les porcs ont été filmés

par deux caméras stéréoscopiques Intel®RealSense D435i (Intel Corporation) placées orthogonalement : une sur le côté et une au plafond (2,4 m au-dessus du sol). Le flux vidéo des deux caméras a été enregistré de manière synchrone sur un ordinateur, générant 73 127 images au total. Le poids de chaque porc a également été mesuré par une balance Maréchal Pesage afin d'obtenir une vérité terrain nécessaire pour l'entraînement et l'évaluation des réseaux de neurones. L'association entre le poids et la vidéo de chaque animal a été faite en notant dans un tableur le poids et l'heure de passage dans le champ de vue des caméras.

Parmi l'ensemble des images extraites des vidéos, nous avons sélectionné celles sur lesquelles le porc était visible entièrement. Cette opération a fourni 27 031 images exploitables, que nous avons annotées avec les coordonnées en pixels du plus petit rectangle contenant entièrement le porc (boîte englobante) sur chaque image. Chaque image est également étiquetée avec le poids du porc correspondant.

1.2 Modèle

Nous avons utilisé un réseau de neurones convolutif pour apprendre à prédire le poids du porc à partir d'une image (régression). Afin d'identifier la meilleure approche pour réaliser cette tâche, nous avons comparé les résultats obtenus en fournissant au réseau soit l'image entière, soit l'image recadrée sur la boîte englobante. D'autre part, nous avons comparé les résultats obtenus en utilisant uniquement la vue de côté, uniquement la vue de dessus, ou les deux vues indifféremment. Les données ont été séparées en 109 porcs

pour l’optimisation des paramètres et l’entraînement des modèles, et 12 porcs pour l’évaluation.

1.3 Métriques d’évaluation

Pour évaluer les performances des modèles sur les données d’évaluation, nous utilisons l’erreur absolue moyenne (EA, moyenne de la valeur absolue de l’écart entre la valeur prédite et la vérité terrain) et l’erreur absolue moyenne symétrique en pourcentage (EASP, moyenne du rapport entre valeur absolue de l’écart et la moyenne de la valeur prédite et de la vérité terrain).

2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 présente les résultats d’évaluation des différents réseaux de neurones. Les meilleurs résultats (en gras dans le tableau) sont obtenus avec le modèle prédisant le poids à partir de l’image entière, vue du dessus. Avec ce modèle, l’erreur absolue moyenne est de 3,0 kg, ce qui correspond à un pourcentage d’erreur absolu moyen de 2,7%. La figure 1 montre une comparaison entre le poids estimé par vision par ordinateur et la vérité terrain mesurée par une balance. Pour générer ce graphique, le poids estimé par vision par ordinateur a été moyenné pour chaque porc du jeu d’évaluation sur l’ensemble des images où le porc était entièrement visible. Le coefficient de détermination linéaire est de $R^2 = 0,87$.

La précision de l’estimation à partir de la vue de dessus est supérieure à celle utilisant la vue de côté. Cela peut s’expliquer par le fait que la vue de dessus permet d’observer les porcs à une distance constante, alors que pour la vue latérale la distance au porc dépend de l’endroit du couloir où circule le porc. De plus, l’utilisation d’une caméra au plafond s’est révélée plus pratique pour l’acquisition des images. En effet, les porcs pouvaient circuler trop près de la caméra latérale, empêchant de les visualiser entièrement.

Tableau 1 – Évaluation de l’estimation du poids des porcs par imagerie

| Modèle | Vue | EA ¹ , kg | EASP ² , % |
|---------------|----------|----------------------|-----------------------|
| Image entière | Dessus | 3,0 | 2,7 |
| | Côté | 6,4 | 5,9 |
| | Les deux | 5,4 | 5,0 |
| Image cadrée | Dessus | 4,7 | 4,3 |
| | Côté | 7,3 | 6,8 |
| | Les deux | 5,3 | 4,9 |

¹EA : Erreur absolue ; ²EASP : Erreur absolue symétrique en pourcentage

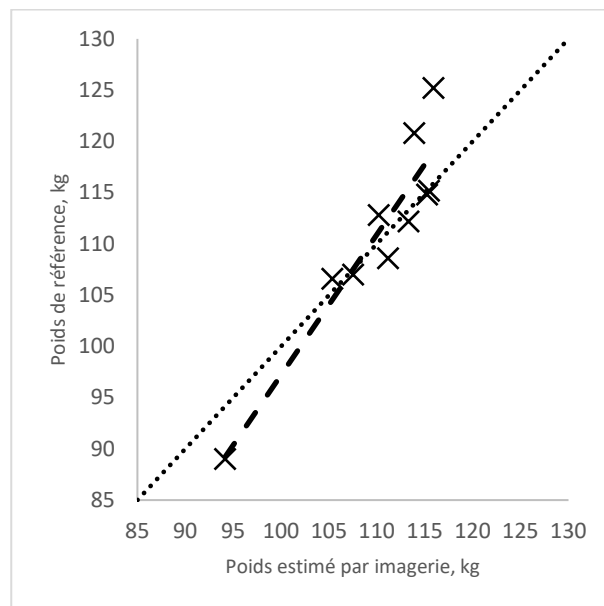


Figure 1 – Comparaison entre le poids estimé par vision par ordinateur (image entière, vue du dessus) et la vérité terrain mesurée par une balance. Chaque point correspond à un porc de la base de données d’évaluation. La ligne pointillée épaisse est la courbe de tendance. La diagonale pointillée représente la correspondance parfaite.

La précision de l’estimation de poids était supérieure en réalisant la régression à partir de l’image entière plutôt qu’à partir d’une image cadrée sur la boîte englobante du porc pour la vue de dessus (-36% d’EA) et pour la vue de côté (-12% d’EA). Cela peut s’expliquer par le fait qu’en utilisant une région d’intérêt de la taille du porc, on perd la notion d’échelle d’image, ce qui rend la tâche plus compliquée pour le réseau.

CONCLUSION

Cette étude montre qu’il est possible d’estimer automatiquement le poids d’un porc non immobilisé par vision par ordinateur, avec une erreur de l’ordre de 3%. Pour confirmer l’intérêt de la vision par ordinateur pour estimer le poids des porcs, il serait maintenant judicieux de répliquer cette étude sur un échantillon de plus grande ampleur, couvrant plusieurs élevages différents. Il faudra également étudier l’impact de la génétique sur le modèle de prédiction. Enfin, il serait intéressant de développer un modèle capable de prédire le poids de plusieurs porcs simultanément (soit en passage groupé dans un couloir, soit directement dans leur salle), pour réduire les contraintes sur le protocole d’acquisition. Cela nécessitera également d’identifier automatiquement les porcs, ce qui peut par exemple se faire en associant une identification RFID à un suivi visuel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Buayai P., Piewthongngam K., Leung C.K., Saikaew K.R., 2019. Semi-automatic pig weight estimation using digital image analysis. Appl. Eng. Agric., 32, 521-534.
- Li J., Yang Y., Zhan T., Zhao Q., Zhang J., Ao X., He J., Zhou J., Tang C., 2021. Effect of slaughter weight on carcass characteristics, meat quality, and lipidomics profiling in longissimus thoracis of finishing pigs. LWT, 140, 110705.
- Quiniou N., Brossard L., Milgen J., Salaün Y., Quesnel H., Gondret F., Dourmad J.Y., 2012. La variabilité des performances animales en élevage porcin : description et implications pratiques. INRAE Prod. Anim., 25, 5-16.
- Schofield C.P., 1990. Evaluation of image analysis as a means of estimating the weight of pigs. J. Agric. Eng. Res., 47, 287-296.
- Tu G.J., Jørgensen E., 2023. Vision analysis and prediction for estimation of pig weight in slaughter pens. Expert Syst. Appl., 220, 119684.



Evaluation de l'attractivité d'une balle de luzerne et de son efficacité pour prévenir et interrompre des épisodes de caudophagie en post-sevrage

Alexandre Poissonnet (1), Didier Coulmier (2), Valérie Courboulay (1)

(1) IFIP – Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651, Le Rheu, France

(2) DESIALIS – Mont Bernard, –51000 Châlons en Champagne, France

alexandre.poissonnet@ifip.asso.fr

Evaluation of the attractiveness of a lucerne ball and its effectiveness in preventing or interrupting post-weaning tail-biting episodes

An experiment was conducted to assess the attractiveness of a high-density dehydrated lucerne ball weighing 20 kg (referred to as BL) and its effectiveness in preventing or interrupting episodes of tail biting. The experiment took place in two post-weaning batches, each consisting of 16 pens with 10 pigs each. The experiment followed a 2 × 2 factorial design based on the type of enrichment (BL (treatment CL) or a suboptimal object commonly used on farms (a chew disc made from compressed organic material, treatment CS)) and the length of the tail (full (QE) or docked (QC)). To test the effectiveness of BL in interrupting a tail-biting episode, an intervention was added to the CS treatment if tail biting occurred: the addition of enrichment in the form of either BL or a natural material rope. An analysis of variance showed no significant difference in zootechnical performance between the CL and CS treatments. BL was significantly more attractive than the discs and chains provided. Of the nine episodes of tail-biting, eight occurred in the CS treatment and only one in the CL treatment. BL were added to four CS boxes to interrupt episodes of tail-biting. These episodes stopped systematically whereas with a string, there was a 75% success. BL appears to be an interesting enrichment material for preventing and interrupting tail-biting episodes, and further experiments should be conducted to validate this hypothesis.

INTRODUCTION

La caudophagie est un phénomène récurrent en élevage de porcs, dont un des facteurs de risque est un défaut d'enrichissement dans les cases (Veit *et al.*, 2016). Les matériaux les plus attractifs et les plus efficaces pour prévenir ou freiner les morsures sont par exemple les fourrages ou la paille, distribués en quantité importante (Veit *et al.*, 2016), mais des problèmes d'évacuation des lisiers rendent leur utilisation difficile en élevage sur caillebotis (Courboulay, 2006). La solution testée dans cette étude vise à apporter de la luzerne déshydratée, sous forme compressée dans un râtelier, pour limiter les pertes directes à travers les caillebotis et interrompre des épisodes de caudophagie en post-sevrage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

Deux bandes de 160 porcs ont été suivies en post-sevrage à la station expérimentale de l'IFIP. Pour chaque bande, les animaux ont été sevrés à 28 jours et logés dans deux salles de 16 cases de 10 porcs en constituant quatre blocs de quatre cases de sex-ratio et de poids homogènes, en limitant le nombre de portées d'origine. Le dispositif expérimental est un dispositif croisé à deux facteurs de risque d'apparition de morsures en élevage qui est reproduit de façon identique sur les deux bandes.

Le premier facteur est la nature de l'enrichissement de la case, selon deux modalités : (i) une balle de luzerne déshydratée de 20 kg (Luzapeak®), case CL ; (ii) un disque à mordiller en matière organique compressée, case CS. Le second facteur est la longueur de la queue : la moitié des cases étaient composées d'animaux à queue entière (QE), l'autre avait des animaux à queue coupée (QC). Dans chaque case était également disposée une chaîne.

Pour évaluer l'efficacité de la balle de luzerne à interrompre un épisode de caudophagie, un protocole d'intervention a été défini. En cas de caudophagie dans une case CS, une corde en matière naturelle (objet utilisé en élevage) ou une balle de luzerne était ajoutée, alternativement dans les cases concernées par l'apparition des morsures. Si les signes de morsures de queues ne diminuaient pas après 24 heures, le 1er objet ajouté était remplacé par l'autre possibilité. Si l'épisode de caudophagie persistait 24h après l'ajout du 2^e objet, du répulsif et des soins étaient appliqués aux animaux de la case. En cas de caudophagie dans une case CL, seulement une corde était ajoutée dans la case.

Afin d'augmenter la prévalence d'apparition d'épisode de caudophagie, un stress alimentaire a été appliqué à la 5^e semaine de la bande 2. Celui-ci consistait à mettre à jeun les animaux de 17h à 8h le lendemain matin. Si du cannibalisme apparaissait dans une case, le stress alimentaire n'était pas reconduit sur cette case.

1.2. Les mesures

Tous les porcs ont été pesés individuellement à l'entrée et à la sortie du post-sevrage. La quantité d'aliment apportée par case a aussi été pesée pendant toute la durée de l'essai. Le gain moyen quotidien, l'indice de consommation et la consommation moyenne journalière ont été calculés par case.

Un suivi comportemental a été réalisé à partir d'enregistrements vidéos une fois par semaine par scan de 10 min par case pendant 2h30 le matin. Les comportements observés étaient les suivants : alimentation, repos (inactif en position couchée), investigations dirigées vers la case (sol et parois) et vers chaque source d'enrichissement, comportements sociaux positifs et négatifs, comportement sexuel, autres (mâchonnement à vide, locomotion). Cette variable est exprimée en part de comportements relevés par case au cours d'une séquence d'observation par rapport aux autres. L'unité est un pourcentage de comportements.

L'état des queues de tous les animaux était noté une fois par jour par un observateur selon la grille de notation IFIP en 4 scores (0 : queue saine ; 1 : griffure coup de dents sur la queue ; 2 : queue tuméfiée et sanglante ; 3 : queue abimée ou absente). La présence d'une note 2 dans la case était considérée comme un départ d'épisode de caudophagie.

Les performances zootechniques ont été comparées par analyse de variance en prenant en compte les effets bloc, bande et enrichissement de la case (CS vs. CL). Des tests non-paramétriques de Wilcoxon ont été utilisés pour l'analyse des comportements et l'attractivité des matériaux d'enrichissement. Les cases dans lesquelles des objets d'enrichissement ont été ajoutés après apparition de caudophagie ont été retirées des analyses des comportements. En raison du faible nombre d'épisodes de caudophagie (Tableau 1), seules des analyses descriptives ont été réalisées pour présenter l'efficacité des objets ajoutés.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des CMJ, GMQ et IC ne montre pas de différence significative entre les cases CL et CS. L'apport de luzerne comme objet d'enrichissement n'a donc pas eu d'effets sur les performances zootechniques. Les porcelets en case CS, ont en moyenne 14,7 % de comportements à explorer la case contre 13,2 % en case CL ($P = 0,046$) (Figure 1). En case CL les porcelets expriment plus leur comportement d'investigation vers les objets que les porcelets en CS (8,7 vs. 6,0 % respectivement, $P < 0,001$). Les analyses montrent que les objets sous-optimaux (disque à mordiller ou balle de luzerne) sont significativement plus utilisés que les chaînes (objets d'intérêt minime). Les chaînes ne sont pas plus utilisées en case CS que CL. En revanche, la balle de luzerne est significativement plus utilisée que le disque à mordiller. Ces résultats confirment l'attraction des porcs pour des objets d'enrichissement de type fourrage (Veit et al., 2016).

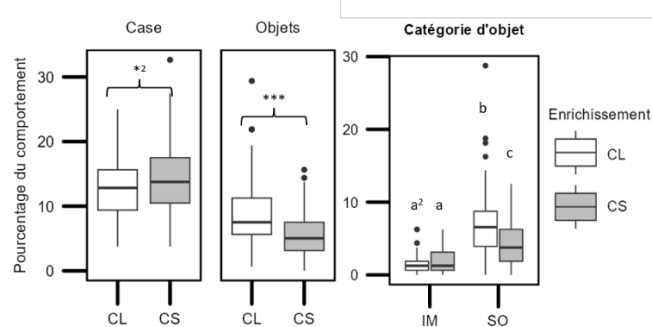


Figure 1 – Part des comportements d'investigation vers la case ou les objets d'enrichissement, selon leur catégorie (IM pour intérêt minime = chaînes ; SO pour sous-optimal = disque à mordiller dans CS ou balle de luzerne dans CL)

¹Test de wilcoxon; signification : *= $P < 0,05$, **= $P < 0,01$, ***= $P < 0,001$.

²Deux lettres distinctes indiquent une différence significative $< 0,05$

Sans induction de stress alimentaire, trois épisodes de caudophagie sont apparus, uniquement dans des cases CS pour les porcelets QE (Tableau 1). Dans deux cas sur trois, une balle de luzerne a été ajoutée interrompant l'épisode de caudophagie. Pour le 3^e cas, une corde a été ajoutée ; les signes de morsures de queues n'ayant pas diminué au bout de 24 heures, une balle de luzerne a donc remplacé la corde, interrompant le cannibalisme. Suite à la mise en place d'un stress alimentaire, six épisodes de caudophagie sont apparus : un dans une case CL (QE), 4 en CS (QE) et 1 en CS (QC). Suite aux cinq départs de cannibalisme en CS, des cordes ont été ajoutées dans trois cases et des balles de luzerne dans deux cases. Dans les cinq cas, le cannibalisme s'est interrompu. En case CL, l'épisode s'est interrompu après l'ajout d'une corde et arrêt du stress alimentaire.

Tableau 1 – Nombre d'apparitions d'épisodes de caudophagie selon les conditions d'enrichissement, l'état de la queue et l'exposition à un stress alimentaire

| Nombre d'épisodes de caudophagie | | | | | | | |
|----------------------------------|----|----|-------|-------------------------|----|----|-------|
| Sans stress alimentaire | | | | Avec stress alimentaire | | | |
| | QE | QC | Total | | QE | QC | Total |
| CL (N [*] =16) | 0 | 0 | 0 | CL (N=8) | 1 | 0 | 1 |
| CS (N=16) | 3 | 0 | 3 | CS (N=7) | 4 | 1 | 5 |

QE : queue entière, QC : queue coupée, CL : balle de luzerne, CS : disque à mordiller. * N : nombre de cases

CONCLUSION

La balle de luzerne a été plus attractive qu'un disque à mordiller et que des chaînes et semble avoir limité l'apparition de caudophagie dans les cases. Cet objet pourrait donc être un moyen efficace pour prévenir et interrompre des épisodes de caudophagie. Pour autant ces épisodes sont trop peu nombreux dans notre étude pour confirmer cette hypothèse. D'autres essais doivent être menés afin de valider statistiquement son efficacité face au cannibalisme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Åkerfeldt MP, Holmström S, Wallenbeck A, Ivarsson E., 2018. Inclusion of intensively manipulated silage in total mixed ration to growing pigs – influence on silage consumption, nutrient digestibility and pig behaviour. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science, 68:4, 190-201, DOI: 10.1080/09064702.2020.1725104.
- Courboulay V., 2006. Intérêts comparés d'un objet fixé au sol ou d'un apport de paille comme matériaux d'enrichissement du milieu de vie pour le porc à l'engrais. Journées Rech. Porcine, 38, 421-426.
- Veit C., Traulsen I., Hasler M., Tölle M.H., Burfeind O., Beilage E., Krieter J., 2016. Influence of raw material on the occurrence of tail-biting in undocked pigs. Livestock Science, 191, 125–131.



Étude des comportements sociaux en lien avec l'émergence de la caudophagie chez le porc d'élevage

Caroline RÉBILLARD, Noémie ORY, Tiphaine POTIRON

Cooperl Innovation SAS, Rue de la Jeannaie, 22400 Lamballe-Armor, France

caroline.rebillard@cooperl.com

Study of social behaviour in relation to the emergence of tail biting by farmed pigs

Tail biting is a damaging behavioural disorder in pig farming whose multifactorial origin is widely accepted in research. However, very few studies have taken a social approach. The aim of this research was to define the behavioural phenotypes for each tail biting profile studied (i.e. initiator, biter, mixed, victim, neutral) and to characterise the emergence of tail biting at the group level. To this end, 79 piglets were individually followed from the nursery until 7 weeks after weaning. Positive, negative, and damaging social behaviours were continuously coded, while activities and tail postures were recorded by instantaneous scan sampling. Two singular profiles emerged phenotypically. Initiators had remained more in contact with the sow than biters had. Initiators also received more snout sniffing than victims and their tails were fewer sniffed than neutrals. The latter handled peers' tails in their mouth less than initiators did and were followed by their peers less than victims were in the nursery. Neutrals also received less damaging behaviour than initiators did. At the group level, a change in tail posture from curled to low was one of the best indicators to detect the emergence of tail biting. These behavioural characteristics could contribute to early identification of animal profiles and help develop artificial-intelligence detection tools. For this, more research is needed (e.g. studying the stability of behavioural traits).

INTRODUCTION

La caudophagie est un trouble du comportement observé chez le porc domestique généralement au post-sevrage (PS) en élevage conventionnel. Il se caractérise lorsqu'un individu manipule oralement la queue d'un congénère, causant des blessures superficielles à graves (Taylor *et al.*, 2010). Source de mal-être pour les animaux impliqués et de pertes économiques pour l'éleveur, la conduite de porcs à queue intacte est devenue un enjeu sociétal. Jusque-là, les études sur le sujet ont surtout cherché à déterminer les facteurs de risque environnementaux (pression sanitaire, hébergement, accès aux ressources) et individuel (génétique, sexe) (Valros, 2018). Peu se sont intéressées à son lien avec les comportements sociaux bien que ceux-ci soient fortement impactés par les pratiques d'élevages (mélanges, sevrage précoce, densité). Cette étude a deux objectifs : 1) identifier des profils comportementaux de caudophagie ; 2) caractériser l'émergence de la caudophagie par l'activité comportementale à l'échelle du groupe.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Récolte des données

Cette étude a été réalisée entre février et avril 2021 à la ferme expérimentale « La Ville Poissin » de la Cooperl. Au total, 79 porcelets à queue longue, femelles et mâles entiers, issus d'une même bande ont été suivis individuellement depuis la maternité jusqu'en 7^{ème} semaine de PS. Chaque animal s'est vu attribuer un numéro associé à leur puce RFID pour toute la durée des observations.

Cinq grands groupes de comportements ont été relevés par un unique observateur. Les comportements sociaux positifs (e.g. flairage nez-nez), négatifs (e.g. combat) et dommageables (e.g. morsure de queue) émis et reçus ont fait l'objet d'un échantillonnage continu. En parallèle, l'activité (e.g. repos) et la posture de queue (e.g. enroulée) ont été relevées par échantillonnage instantané. La latence des premières morsures est également notée soit le nombre de jours entre le début du PS et la première morsure pour chaque groupe.

1.2. Classification des profils de caudophagie

Trois profils (Valros, 2018) en lien avec la caudophagie ont été étudiés : i) les mordeurs (individus mordant la queue), ii) les victimes (individus mordus ou avec une queue tuméfiée), iii) les neutres (individus non impliqués dans les morsures). Pour cerner davantage la complexité étiologique du trouble dans cette étude, deux autres profils ont été créés : l'initiateur (premier individu du groupe à mordre une queue) et les « mixtes » (individus mordeurs et mordus). Ces profils ont été déterminés sur la base des comportements observés.

1.3. Analyses statistiques

Des tests de comparaison de moyennes ont été appliqués au niveau individuel avec pour variable explicative le profil de caudophagie (ANOVA, Kruskal-Wallis), et la variable de latence d'émergence des morsures au niveau du groupe (test t de Student, Mann-Whitney) grâce au logiciel R Studio.

2. RÉSULTATS

2.1. Profils comportementaux de caudophagie

Tableau 1 – Différences comportementales entre les cinq profils (prévalence en pourcentage) de caudophagie¹

| Comportement | Initiateur (5%) | | Mordeur (21%) | | Mixte (18%) | | Victime (42%) | | Neutre (14%) | | P-value |
|----------------------------------|-----------------|------|---------------|------|-------------|-----|---------------|-----|--------------|------|---------|
| | Val. | E.t | Val. | E.t | Val. | E.t | Val. | E.t | Val. | E.t | |
| Maternité | | | | | | | | | | | |
| Suivi | 0,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2a | 0,3 | 0,0b | 0,1 | 0,03 |
| Mâchouille queue émis | 3,5a | 0,6 | 2,5 | 1,8 | 2,4 | 1,7 | 3,3 | 3,2 | 0,9b | 0,9 | 0,048 |
| Repos mère | 2,6a | 4,0 | 0,0b | 0,0 | 1,8 | 3,4 | 0,8 | 2,1 | 0,4 | 0,6 | 0,046 |
| Post-Sevrage | | | | | | | | | | | |
| Flairage nez-nez reçu | 18,3a | 0,5 | 15,8 | 2,0 | 16,9 | 1,9 | 15,8b | 1,6 | 15,7 | 2,5 | 0,04 |
| Flairage nez-queue reçu | 5,3a | 2,6 | 9,3 | 3,5 | 9,2 | 2,8 | 9,2b | 2,3 | 9,7b | 2,6 | 0,02 |
| Comportements dommageables reçus | 68,3a | 11,3 | 59,8 | 10,2 | 59,9 | 4,9 | 57,4 | 9,0 | 52,9b | 10,3 | 0,04 |
| Activité individuelle | 29,1 | 4,2 | 29,7b | 4,2 | 29,4b | 3,6 | 32,0 | 5,8 | 34,1a | 5,7 | 0,01 |
| Repos seul | 7,9 | 3,1 | 6,7b | 3,3 | 6,0b | 2,4 | 5,3 | 3,1 | 4,0a | 1,8 | < 0,001 |

¹ Val. : valeur en % moyen par profil, E.t. : écart-type

En maternité, les initiateurs manipulent plus la queue que le profil neutre et se démarquent des mordeurs en se reposant davantage avec la mère (Tableau 1). En PS, ils sont plus sollicités au groin par leurs congénères que les victimes et ont moins de contact à leur queue que les neutres ou victimes de caudophagie. Le profil neutre se démarque notamment par le fait qu'ils sont plus en activité solitaire que les mordeurs ou mixtes et sont moins la cible de comportements dommageables que les initiateurs.

2.2. Indices liés à l'émergence de la caudophagie

L'émergence de la caudophagie est associée à un basculement dans la posture des queues. Une diminution des queues enroulées en faveur d'une augmentation de queues basses est significativement observée (Tableau 2). Aussi, l'apparition des morsures est associée à une augmentation de l'activité sociale comme l'exploration du congénère.

Tableau 2 – Pourcentage moyen des indices avant et après émergence de la caudophagie à l'échelle du groupe au PS

| Indices | Avant | Après | P-value |
|------------------|-------|-------|---------|
| Queue enroulée | 23,0 | 9,0 | < 0,001 |
| Queue basse | 8,9 | 20,0 | < 0,001 |
| Activité sociale | 7,7 | 12,0 | < 0,01 |

3. DISCUSSION

3.1. Profils comportementaux de caudophagie

Le profil neutre est le premier à se démarquer des autres. Connu dans la littérature pour être atypique, il posséderait à la fois un phénotype mais aussi un génotype résistant à la caudophagie. En effet, à l'opposé des neutres, les mordeurs et victimes rechercheraient davantage la nouveauté et exprimeraient plus de comportements dirigés vers les pairs (Brunberg *et al.*, 2013). Les résultats de cet essai vont également dans le sens de cette singularité phénotypique et cela dès la maternité. Les neutres manipulent moins la queue de leurs pairs que les initiateurs et sont moins suivis que les victimes par leurs congénères. Après sevrage, les neutres

reçoivent moins de comportements dommageables que les initiateurs et passent plus de temps en activité individuelle que les mordeurs et mixtes. Bien que les neutres paraissent moins sociables, c'est pourtant le profil le moins vu en repos seul face aux initiateurs, mordeurs et mixtes. Le génotype des neutres ne contraindrait donc pas les comportements sociaux essentiels à la bonne thermorégulation des porcs (i.e. repos groupé).

Profil inédit, l'initiateur se différencie aussi davantage des autres. Dès la maternité, il manipule plus la queue que le neutre et est plus vu au repos en contact avec la mère que le mordeur. En PS, il est plus facilement la cible de contact au groin que les victimes mais aussi de comportements dommageables. Etant donné que cette étude ne dépasse pas quatre initiateurs et que c'est un profil d'intérêt pour mieux anticiper les premières morsures, des études plus approfondies permettraient de mieux le caractériser.

3.2. Indices liés à l'émergence de la caudophagie

Le basculement du taux de posture de queue enroulée en posture basse observé après émergence des premières morsures de queue reflèterait à la fois un mal-être sanitaire et une dégradation de l'état émotionnel à l'échelle du groupe (Czycholl *et al.*, 2020). Par conséquent, tout changement comportemental de ce type observé par l'éleveur lors de son passage peut l'aider à réagir suffisamment tôt (e.g. ajout d'enrichissement) pour prévenir tout risque de caudophagie et donc éviter lui éviter des coûts (e.g. frais vétérinaire). Une activité sociale accrue semblerait aussi être un indicateur potentiel à combiner à l'observation des postures de queue.

CONCLUSION

Deux profils comportementaux liés à la caudophagie se démarquent, le neutre et l'initiateur. Ce dernier profil d'intérêt dans la prévention du trouble nécessite davantage de recherche quant à la stabilité des traits étudiés présentement. La posture de queue est l'indicateur le plus prometteur à l'échelle du groupe pour détecter un début d'épidémie de caudophagie et agir en conséquence pour prévenir de potentielles morsures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brunberg E., Jensen P., Isaksson A., Keeling L. J., 2013. Brain gene expression differences are associated with abnormal tail biting behavior in pigs: Gene expression and abnormal behavior in pigs. *Genes, Brain and Behavior*, 12, 275-281.
- Czycholl I., Hauschild E., Büttner K., Krugmann K., Burfeind O., Krieter J., 2020. Tail and ear postures of growing pigs in two different housing conditions. *Behavioural Processes*, 176, 104138.
- Taylor N. R., Main D. C. J., Mendl M., Edwards S. A., 2010. Tail-biting: A new perspective. *The Veterinary Journal*, 186, 137-147.
- Valros A., 2018. Tail biting. In: M. Spinka (Eds), *Advances in Pig Welfare*, 137-166. Woodhead Publishing, Sawston, UK.



Impact de l'alimentation et de la conduite des mâles entiers sur la prévalence des odeurs indésirables dans la viande porcine : une étude de cas en élevages de production

Maëli^s BRUNON (1), Eric PAGOT (1), Mireille PEUZIAT (2), Mathilde VENET (2), Baptiste LEGAUD (3)

(1) INNOZH, 2 rue Jean Rostand, 22800 Ploufragan, France

(2) Jean Hénaff, Ker Hastell, 29710 Pouldreuzic, France

(3) Evel'up, 1 rue Georges Guyenemer, 22191 Plérin, France

maeliss.brunon@innozh.fr

Effect of diet and management practices of entire males on the prevalence of undesirable odours in pork: a case study on production farms

The study focused on finding practical solutions to end the castration of male piglets without degrading meat quality. Piglets are castrated mainly to prevent undesirable meat odours, but the procedure is painful. The study involved 1070 entire male pigs from two farms in Brittany, France. Multiple feed ingredients aimed at enriching the dietary fibre content (inulin, maize cobs, and wood fibre) were tested to reduce undesirable odours. The results showed that the tested raw materials did not significantly reduce the levels of odours in the entire male pigs. However, a significant difference was observed for raw material maize cobs in favour of the control group. Regarding environmental parameters, the results indicated consistent average humidity and carbon dioxide levels among the different groups. However, significant differences were observed for average temperature and ammonia (NH₃) concentrations in favour of the control group, with interactions between the batch and the treatment. In fact, significantly higher temperature and average ammonia concentrations were observed for batch 2 and the test group, correlated with a higher percentage of animals exhibiting medium and strong odour levels. These results highlight a potential impact of temperature and average ammonia concentrations on the prevalence of malodorous entire male pigs.

INTRODUCTION

La pratique de la castration en élevage de porcs est réalisée essentiellement pour éviter des odeurs désagréables dans la viande (Aluwe *et al.*, 2020). Cependant, cette pratique est une intervention douloureuse pour l'animal. En France, cette pratique est prohibée depuis le 1er janvier 2022. Plusieurs options sont alors disponibles pour les détenteurs de porcs domestiques mâles : l'élevage de porcs mâles entiers, la réalisation de la castration en prenant en charge la douleur du porcelet ou la pratique de l'immunocastration (Courboulay *et al.*, 2020). Ce présent travail se focalise sur la minimisation du développement d'odeurs indésirables par une conduite d'élevage appropriée et l'utilisation de différents ingrédients alimentaire.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental et mesures

Cette étude a été réalisée de façon contemporaine dans deux élevages bretons et concerne 1070 mâles entiers répartis sur plusieurs bandes. Chaque bande était d'environ 240 animaux. Les animaux suivis sont issus de truies croisées Large White x Landrace, inséminées avec de la semence du type de verrat Piétrain.

Pour chaque bande, une partie des animaux était logée dans une salle recevant l'aliment essai et une autre partie logée dans

une seconde salle recevant l'aliment témoin. Les deux salles de chaque bande sont équivalentes. Différentes matières premières distribuées durant le dernier mois d'engraissement et permettant un enrichissement de la ration en fibres ont été testées dans la formulation des aliments essais (valeurs nutritionnelles de l'aliment fini : 13.6 % MAT, 6,7 % cellulose brute, 9,8 MJ EN calculée/kg ; 87,5% de MS) :

- Une matière première breveté riche en inuline et en fibres à hauteur de 15 % de la formule finie (I) distribuée sur quatre bandes ;
- Une matière première à base de bouchons de maïs plante entière à hauteur de 5 % de la formule finie (B) distribuée sur deux bandes ;
- Une matière première à base de fibres de bois à hauteur de 1 % de la formule finie (F) distribuée sur trois bandes.

Une mise en place de capteurs par salle a été réalisée pour suivre les conditions d'ambiance (température, humidité, CO₂ et NH₃ renseignées toutes les 2 minutes 24h/24h).

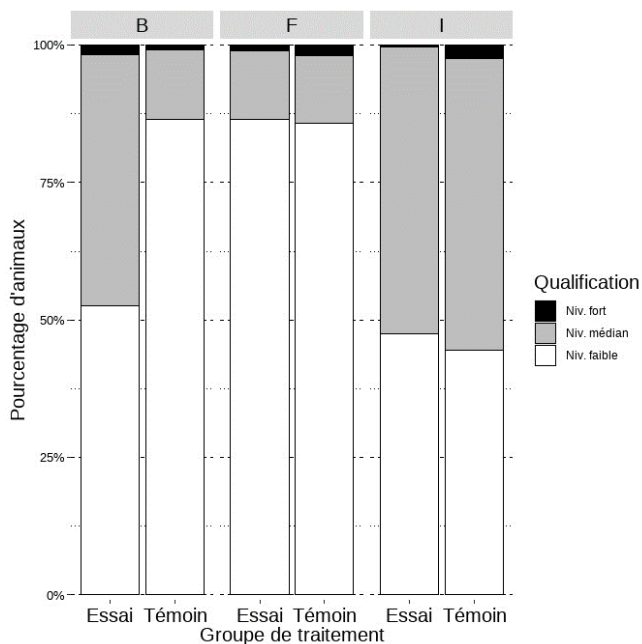
La détection des odeurs, réalisée par l'abattoir Jean Hénaff, est basée sur la méthode SAN MALO mise au point par UNIPORC. L'échelle de notation va de 1 (absence totale d'odeur) à 5 (très forte odeur de mâle entier). Un faible nombre d'animaux présentait des notes 4 et 5. Un regroupement des notes en 3 niveaux a donc été réalisé : niveau faible (note 1), niveau médian (note 2) et niveau fort (note 3, 4 et 5).

1.2. Analyses statistiques

Les données qualitatives ont été traitées avec un test du chi-deux de Pearson. Les données quantitatives ont été traitées avec une analyse de variance prenant en compte les facteurs groupe et bande. Les résultats obtenus sont considérés comme significatifs pour $p < 0,05$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Impact des différentes matières premières sur les niveaux d'odorants



Matière première B : Bouchons de maïs, F : Fibre de bois et I : Inuline

Figure 1 – prévalence d'odeurs des porcs mâles entiers en fonction du régime alimentaire

Pour les matières premières I et F, aucune différence significative n'est constatée pour les trois niveaux d'odorants entre les groupes témoin et essai (respectivement, $p = 0,67$ et $p = 0,765$). Pour la matière première B, une différence est constatée entre les deux groupes en faveur du groupe témoin ($p < 0,001$). Une exploration des données d'ambiance est donc réalisée pour cette matière première.

2.2. Exploration de l'impact éventuel des données d'ambiance sur les niveaux d'odeurs pour la matière première bouchon de maïs

La mise en place de capteurs d'ambiance a permis de mettre en évidence des différences significatives concernant les données d'ambiance pour la matière première B.

Les moyennes d'humidité et de taux de CO₂ sont homogènes entre les différents groupes ($p > 0,05$) (Tableau 1). Concernant, les moyennes de température et de NH₃, des différences

significatives sont constatées en faveur du groupe témoin (respectivement, $p = 0,021$ et $p < 0,001$). Il existe également des interactions entre la bande et le traitement. En effet, une température et un taux moyen d'ammoniac significativement supérieurs sont observés pour la bande 2 et le groupe essai.

Tableau 1 – Données d'ambiance pour la matière première B²

| | | Matière B (global) | Matière B (bande 1) | Matière B (bande 2) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Moyenne Température (°C) | E ¹ | 24,9 | 24,9 | 25,0 |
| | T ¹ | 24,7 | 25,0 | 24,4 |
| Moyenne Humidité (%) | E ¹ | 67,0 | 64,3 | 69,7 |
| | T ¹ | 66,4 | 65,2 | 67,7 |
| Moyenne CO ₂ (ppm) | E ¹ | 2676 | 2584 | 2767 |
| | T ¹ | 2669 | 2678 | 2659 |
| Moyenne NH ₃ (ppm) | E ¹ | 20,2 | 17,7 | 22,9 |
| | T ¹ | 17,5 | 18,0 | 17,0 |

¹E = Essai, T = Témoin, n : 258 données par paramètre, ² Matière première B : Bouchons de maïs

Par ailleurs, le tableau 2 indique un pourcentage d'animaux présentant des niveaux d'odeur médian et fort nettement supérieurs pour le groupe essai de la bande 2.

Tableau 2 – Niveau d'odorant de la bande 2 et la matière première B exprimé en pourcentage

| | Niveau faible | Niveau médian + fort |
|--------|---------------|----------------------|
| Essai | 47,3% | 52,7% |
| Témoin | 93,1% | 6,9% |

n : 252 animaux notés, ² Matière première B : Bouchons de maïs

Ces résultats mettent en évidence un potentiel impact de la température et du taux moyen d'ammoniac sur la prévalence des porcs mâles entiers présentant un niveau d'odeur médian ou fort. Ils confirment des travaux antérieurs stipulant qu'une qualité de l'air dégradée en élevage pouvait être un facteur de risque au regard de la prévalence de porcs mâles odorants (Parois *et al.*, 2018).

CONCLUSION

Pour conclure, cette étude montre que l'utilisation de matières premières spécifiques n'a pas permis de réduire de manière significative les niveaux d'odeurs. Cependant, pour la matière première B, une différence significative est constatée en faveur du groupe témoin. Une exploration des données d'ambiance permet de mettre en évidence le rôle déterminant du taux de NH₃ et de la température sur la prévalence des porcs mâles entiers odorants.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la Région Bretagne et Valorial pour leur accompagnement dans la réalisation du projet FINARBED, initié et piloté par le Groupe Jean Hénaff.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aluwé, M., Millet, S., Skrlep, M., Candek-Potokar, M., Zakowska-Biemans, S., Kostyra, E., Van den Broeke, A., 2020. Évaluation de la qualité de la viande des mâles entiers, castrés et immunocastrés. Journées Rech. Porcine, 52, 61-62.
- Courboulay, V., Filliat, C., Lefrançois, M., Prunier, A., Tallet, C., Touzot-Jourde, G., Françoise, P., 2022. Evaluation de protocoles associant tranquillisation, analgésie et anesthésie lors de la castration des porcelets. Journées Rech. Porcine, 54, 275-280.
- Parois, S., Bonneau, M., Chevillon, P., Larzul, C., Quiniou, N., Robic, A., Prunier, A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. INRA Productions Animales, 31, 23-36.



Effet de l'incorporation de farine de luzerne dans l'alimentation et de l'ajout de paille sur le bien-être des porcs et le risque d'odeurs sexuelles en élevage biologique

Alexandre POISSONNET (1), Valérie COURBOULAY (1), Gérald HUET (2), Didier GAUDRE (1), Armelle Prunier (3)

(1) IFIP – Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651, Le Rheu, France

(2) EPLEFPA "Théodore MONOD", 55 Avenue de la Bouvardière, 35650, Le Rheu, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

alexandre.poissonnet@ifip.asso.fr

Effect of adding lucerne to the diet and additional straw bedding on the welfare of pigs and the risk of boar taint in organic farming

Raising pigs while respecting animal welfare is a major goal of organic farming; however, castration is still practiced to prevent boar taint. A trial was conducted on an organic farm to test a strategy to reduce this risk. This strategy included adding fibre to the diet and additional straw distributed into the pen during fattening and just before slaughter. Four fattening batches (sow Naïma X boar Piétrain) consisting of 337 pigs, including 165 non-castrated males) were used. Two conditions were tested: a control group and a test group with an additional 20 % of bedding during the rearing process, along with the addition of straw 48 hours before the first departure to the slaughterhouse. Additionally, the Test group received feed enriched with 10 % lucerne meal during the last month. Health indicators (presence of coughing, lameness, hernias, etc.) and well-being indicators (aggression, cannibalism, human-animal relationship test, etc.) were recorded three times per group (beginning, middle, and end of the fattening period). To assess carcass quality, carcass characteristics were collected from all non-castrated males. Analyses of androstenone and skatole levels were performed using backfat samples. Welfare indicators and carcass characteristics were similar in both groups of pigs. However, fewer carcasses were above the consumer rejection thresholds for androstenone (3 µg/g liquid fat) and skatole (0.15 µg/g liquid fat) in the test (respectively 27 % and 3 %) than in the control group (respectively 41 % and 20 %). The combination of both strategies had no impact on the well-being of the pigs but is effective in reducing the risk of sexual odours.

INTRODUCTION

Elever des porcs dans le respect du bien-être animal est un objectif majeur de l'agriculture biologique. Cependant, la castration est toujours pratiquée pour éviter les odeurs sexuelles des viandes de mâles non castrés. Afin de tester le potentiel de réduction du risque d'odeurs par l'addition de fibres dans l'aliment distribué au cours du dernier mois d'engraissement et de l'apport de paille supplémentaire en engraissement, plus particulièrement dans les derniers jours précédant l'abattage, un essai a été mené dans un élevage de type commercial. Cette stratégie a été choisie car des essais en élevages conventionnels ont montré son efficacité pour réduire la teneur du tissu gras en scatol (S) qui est, avec l'androsténone (A), en grande partie à l'origine des odeurs de la viande de verrat (Parois *et al.*, 2018).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Les animaux et le protocole expérimental

L'essai s'est déroulé sur l'élevage de l'exploitation agricole de l'EPLFFPA Théodore MONOD (35650 Le Rheu), conduit en agriculture biologique. Quatre bandes de porcs à l'engrais (trouilles Naïma X verrats Piétrain) ont été suivies au cours d'une

année, soit au total 337 porcs dont 165 porcs mâles non castrés. Les mâles non-castrés sont répartis en deux traitements et suivis de l'âge de 12 semaines jusqu'à l'abattage. Dans le traitement Témoin, l'aliment standard de l'élevage est utilisé et en moyenne 77 kg de paille sont distribués par porc en cours d'engraissement. Le traitement Test utilise un aliment enrichi en luzerne déshydratée (10 %) au cours du dernier mois d'engraissement. Les cases Test reçoivent 20 % de paille supplémentaire pendant toute la durée de l'engraissement (90 kg de paille / porc) et un paillage supplémentaire est réalisé 48 heures avant les départs à l'abattoir.

Pour chaque bande, les animaux sont répartis dans deux cases identiques adjacentes qui comportent des porcs des trois sexes (femelles, mâles castrés et mâles entiers) en début d'engraissement. Afin de répartir équitablement les mâles entiers des différentes portées entre les deux groupes expérimentaux, des couples de mâles de poids similaire sont constitués dès la naissance. Ces couples sont élevés dans la même case en post-sevrage puis sont répartis entre les deux cases d'engraissement. De la 2^{nde} à la 4^{ème} bande, les femelles sont retirées des cases après 5 à 6 semaines d'engraissement, afin d'éviter les comportements excessifs de monte effectués par les mâles entiers lors de la première bande. Ces comportements avaient donné lieu à des blessures importantes.

1.2. Le suivi en élevage

Des notations sont réalisées sur tous les animaux présents dans la case après 3 ($N_{\text{Témoin}}=169$; $N_{\text{Test}}=168$) et 6 ($N_{\text{Témoin}}=147$; $N_{\text{Test}}=145$) semaines d'engraissement, puis 5 jours avant le premier départ à l'abattoir ($N_{\text{Témoin}}=98$; $N_{\text{Test}}=86$) pour apprécier le bien-être des animaux. Elles sont effectuées pour chaque bande. Trois indicateurs de la qualité du logement sont relevés : l'accès à l'eau en notant le nombre d'abreuvoirs sales et/ou non-fonctionnels, la propreté des animaux, en considérant qu'un porc est sale si plus de 50 % de la surface du flanc observé est salie par des déjections et le confort thermique en notant la répartition des porcs au repos (en tas, normale, ou animaux dispersés) lorsque plus de 50 % des animaux sont allongés. Six indicateurs de la santé sont observés : la mortalité, la présence de diarrhées dans la case, la présence de toux et d'éternuements dans la case, la présence de porcs en mauvais état général ou avec des hernies importantes, le nombre de porcs boiteux et la gravité de la boiterie (démarche hésitante / boiterie avérée / impossibilité d'utiliser la patte). En complément, les plaies importantes (> 5 cm) et le nombre de porcs ayant plus de 15 griffures sur un flanc sont relevés pour apprécier l'agressivité des animaux, la caudophagie est mesurée selon la grille de notation IFIP allant de 0 (pas de morsure) à 3 (morsure grave) et un test d'approche est réalisé en mesurant le temps par le premier porc à venir au contact de l'observateur immobile (en secondes).

1.3. Le suivi à l'abattoir

Les porcs non-castrés (respectivement, 85 et 80 pour les traitements Témoin et Test) sont abattus et les caractéristiques de leurs carcasses sont mesurées à l'abattoir (poids de la carcasse, taux de muscles par pièce (TMP), épaisseurs de muscle M2 et de gras G2, notes de nez humain). Des prélèvements de gras de bardière sont réalisés afin d'effectuer le dosage des teneurs en A et S par HPLC (Batorek *et al.*, 2012).

1.4. Analyses statistiques

L'unité expérimentale est la case pour les indicateurs relatifs à l'accès à l'eau, au confort thermique, à la présence de diarrhée et de toux / éternuements. Des tests non-paramétriques de Khi-deux ou des tests de Fisher sont utilisés pour analyser les observations en phase d'élevage. Pour les autres indicateurs, l'unité expérimentale est la carcasse. Les données d'abattoirs sont analysées par une analyse de variance prenant en compte les effets du traitement et de la bande et introduisant le poids de carcasse en covariable pour le TMP, le G2 et le M2. Le logiciel SAS® (v9.4, SAS Inst. Inc., Cary, NC) est utilisé.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les analyses des indicateurs recueillis en élevage ne montrent aucune différence statistique entre les traitements. Le paillage supplémentaire n'a pas eu d'effet sur la propreté des animaux

Les pourcentages moyens d'animaux sales sur toute la période d'engraissement sont de 14 % et 15 % respectivement pour les cases Témoin et Test, similaires aux valeurs relevées par Temple *et al.* (2011) qui constatent trois fois plus de porcs sales sur litière que sur caillebotis. Plus globalement, le traitement n'a pas eu d'effet sur la santé et l'agressivité des porcs.

Tableau 1 – Caractéristiques des carcasses et teneurs en androsténone et en scatol selon le traitement (moyennes)

| Traitement | | Témoin (N=85) | Test (N=80) | Effets ¹ |
|-------------------------------|---|---------------|-------------|---------------------------|
| Caractéristiques de carcasses | Poids de carcasse, kg | 98,8 | 95,7 | B** |
| | TMP, % | 59,2 | 59,8 | B*, P** |
| | Épaisseur de gras G2, mm | 15,7 | 14,8 | T [†] , B**, P** |
| | Épaisseur de maigre M2, mm | 58,7 | 58,3 | B**, P** |
| Odeurs sexuelles | S, µg/g de gras liquide | 0,15 | 0,06 | T** |
| | A, µg/g de gras liquide | 1,18 | 0,74 | T* |
| | Notes de nez humain ≥ 1, % ² | 8 | 2 | T [†] |

¹Analyse de variance des effets du traitement (T) et de la bande (B), et le poids carcasse (P) en covariable. Niveaux de signification : $t = P < 0,10$, $* = P < 0,05$, $** = P < 0,01$.

²Exprimé en pourcentage de porcs dépassant les seuils indiqués

A l'exception d'une tendance à la diminution de l'épaisseur de gras des carcasses du lot Test, il n'est pas observé de différence significative des caractéristiques de carcasse entre les deux traitements (Tableau 1). Cependant, les teneurs en S et A sont significativement réduites dans le lot Test, ce qui laisse supposer une réduction du risque de rejet de la viande par les consommateurs en raison des odeurs sexuelles. Ce résultat est conforme à la littérature pour le scatol (Parois *et al.*, 2018).

CONCLUSION

Les indicateurs de bien-être animal mesurés en engraissement sont similaires dans les deux traitements expérimentaux. L'association des deux leviers fonctionne pour réduire le risque d'odeurs sexuelles. Les deux leviers étant appliqués conjointement, il n'est pas possible de connaître leur rôle respectif dans la réduction des odeurs sexuelles. Des essais distinguant les deux leviers sont nécessaires pour identifier plus précisément les pratiques permettant aux éleveurs de porcs en agriculture biologique d'élever des porcs mâles non-castrés.

REMERCIEMENTS

L'expérience a reçu un financement conjoint des projets PPILOW (projet européen financé par le Programme Horizon 2020 Recherche et Innovation de l'UE, accord de financement No 816172) et Farinelli (CASDAR financé par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire). La responsabilité des financeurs ne saurait être engagée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Batorek N., Škrlep M., Prunier A., Louveau I., Noblet J., Bonneau M., Čandek-Potokar M., 2012. Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 4593-4603.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRA Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Temple D., Courboulay V., Manteca X., Velarde A., Dalmau A., 2011. The welfare of growing pigs in five different production systems: assessment of feeding and housing. *Animal*, 6, 656-667.



Etude de l'acceptabilité de l'immunocastration des porcs par les consommateurs français

Morgane LEROUX (1), Céline TALLET (2), Anne HEMONIC (3)

(1) Association LIT OUESTEREL, 101 route de Gachet, 44 300 Nantes, France

(2) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35 590 Saint Gilles, France

(3) IFIP, la Motte au Vicomte, 35 651 Le Rheu, France

morgane@assolitouesterel.org

Study of the acceptability of pig immunocastration to French consumers

Since 1 January 2022, castrating piglets without anesthesia has been banned in France. Various alternatives to this practice were then proposed to professionals: some maintain surgical castration with pain management (anaesthesia), others replace it with non-surgical castration (immunocastration), and still others suppress it (entire male). Among these alternatives, immunocastration has seen limited adoption due to concerns about consumer acceptability. A survey was thus performed from June-November 2022 to assess its acceptability among French consumers. To this end, 297 French people participated in an online survey conducted by the Laboratoire d'Innovation Territoriale Ouest Territoires d'Elevage (LIT OUESTEREL) association, in partnership with IFIP and INRAE. This survey revealed that these consumers were unfamiliar with the concept of immunocastration: 95 % of respondents had never heard of it. Without any explanation of the concept, few respondents said they would be willing to buy products made from the meat of immunocastrated pigs (9 %), and most showed hesitation (76 %) or even resistance (15 %). After a brief explanation of immunocastration, 36 % of the respondents finally stated their readiness to consume meat from immunocastrated pigs, while 57 % remained hesitant and 7 % continued to express reluctance. This study suggests that French consumers would accept meat from immunocastrated pigs if they had been informed about immunocastration beforehand. By determining how to communicate this information effectively to them, some of the reluctance of pork professionals to develop this practice could be overcome.

INTRODUCTION

Depuis le 1er janvier 2022, la castration à vif des porcelets est interdite en France (Arrêté du 24 février 2020). Cette pratique, majoritaire en élevage porcin au moment de son interdiction, a nécessité une adaptation de la part des professionnels. Ainsi, certains ont maintenu une castration chirurgicale mais en prenant en charge la douleur (anesthésie et analgésie), d'autres l'ont remplacée par une castration non chirurgicale (immunocastration) ou l'ont supprimée (mâles entiers). Parmi ces alternatives, le recours à l'immunocastration fait figure d'exception. En effet, bien qu'elle semble être un juste équilibre entre amélioration du bien-être des porcs (Fabrega *et al.*, 2010) et préservation de la qualité de la viande (Font i Furnols *et al.*, 2008), elle reste peu développée, concernant environ 2,6 % des porcs fin 2023. Une enquête, réalisée en 2022 par l'association Laboratoire d'Innovation Territoriale Ouest Territoires d'Elevage (LIT OUESTEREL) auprès de 61 professionnels de la filière porcine française, a révélé que l'incertitude quant à la réaction des consommateurs en était la principale raison. Pourtant, des études ont déjà été menées pour tenter d'en appréhender la perception, mais les données récoltées sont soit anciennes, soient non spécifiques aux consommateurs français (Vanhonacker et Verbeke, 2011). Face à ce constat, une nouvelle enquête a été lancée par l'association LIT OUESTEREL, en partenariat avec l'IFIP et INRAE, pour recueillir la perception

actuelle de l'immunocastration par les consommateurs français et, par extension, leur acceptabilité à consommer de la viande porcine issue de cette méthode de castration.

1. MATERIEL ET METHODES

Cette enquête a été réalisée en France entre juin et novembre 2022. Autoadministrée en ligne, elle visait à travers 22 questions à connaître le profil socio-géographique des consommateurs interrogés, comprendre leur habitude de consommation, évaluer l'état de leur connaissance sur la castration en élevage porcin et plus particulièrement l'immunocastration, recueillir leur réaction sans puis après l'apport d'explications sur l'immunocastration et établir si et comment ils souhaiteraient être informés de la méthode de castration lors de leur acte d'achat de produits porcins.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'échantillon interrogé compte 297 consommateurs de viande de porc, avec 69 % de femmes et 31 % d'hommes. Tous ont plus de 18 ans (18-24 ans : 26 %, 25-34 ans : 30 %, 35-59 : 33 %, 60 ans et plus : 11 %). La majorité est issue de la région Bretagne (34 %). Leur fréquence de consommation en viande porcine est variable mais régulière : 90 % déclarent en manger couramment (56 % de façon hebdomadaire et 34 % mensuellement).

2.1. Les connaissances des consommateurs sur l'immunocastration

Près de 55 % des consommateurs interrogés n'avaient pas connaissance de la pratique de castration en élevage porcine et 95 % n'avaient même jamais entendu parler de l'immunocastration. Après leur avoir demandé de deviner seul le sens de ce mot, on peut s'apercevoir qu'instinctivement, aidé par l'étymologie du terme, les sondés ont compris qu'il s'agissait d'une injection faisant réagir le système immunitaire de façon à rendre l'animal stérile. Mais ils s'avèrent plus partagés quant à la nature du produit injecté pour y parvenir : hormones pour certains, anticorps pour d'autres ou encore produits chimiques pour la majorité (Figure 1).



Figure 1 – Nuage des mots les plus cités dans les réponses des consommateurs à la question « A quoi vous fait penser le terme « immunocastration » ? (n = 297 réponses) »

2.2. L'acceptabilité des consommateurs à consommer des produits issus de porcs immunocastrés

Avant de leur apporter des éléments d'explication sur l'immunocastration, seuls 9 % des répondants se sont déclarés tout à fait prêts à acheter ce type de produits. La majorité s'est montrée hésitante, avec 76 % de réponses « pourquoi pas » et « pas vraiment ». Les autres étaient réfractaires (15 % de réponses « pas du tout ») (Figure 2).

Après une explication succincte de cette méthode, la même question leur a été posée (Figure 2). Au total, 59 % d'entre eux se sont alors déclarés plus favorables à la consommation de viande porcine, en sommant toutes les réponses qui passaient à un niveau d'acceptabilité supérieur par rapport à la question précédente. Les personnes ayant changé d'avis l'ont par exemple expliqué ainsi : « Je comprends mieux ce que c'est, même si ça reste encore très technique, mais en tout cas je vois l'intérêt ! », 35 % n'ont pas changé d'avis et ont pu le justifier ainsi : « J'attends de voir des résultats de test plus précis ». Enfin, 7 % se sont déclarés moins favorables après l'explication, comparé à avant, en s'interrogeant par exemple de la manière

suivante : « J'ai du mal à me dire que c'est sain, surtout après les scandales aux USA où on injectait des hormones ».

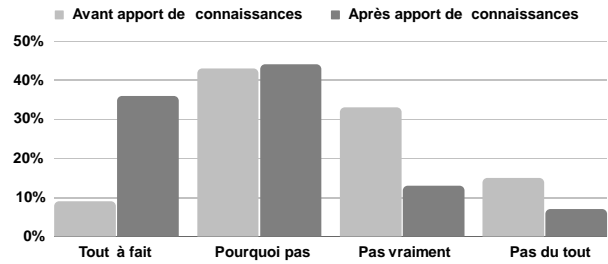


Figure 2 – Répartition des réponses à la question « Seriez-vous prêt à consommer de la viande de porcs immunocastrés ? », avant et après l'apport d'explication sur l'immunocastration (n= 288 réponses)

Pour la majorité des répondants, cette acceptabilité déclarée ne dépend pas du mode d'élevage porcine « Si la castration était déjà pratiquée sur tous les types de productions, alors je ne vois pas pourquoi, pour cette méthode de castration, ce serait différent : autant la démocratiser ». Néanmoins, 17 % ne partagent pas cette opinion et estime qu'elle ne devrait être possible que sur des porcs non élevés sous signes officiels de qualité car « On bloque quand même un phénomène naturel [...] ça peut poser des questions pour certains labels ».

2.3. L'impact sur l'acte d'achat des consommateurs

Quoiqu'il en soit, 77 % des consommateurs interrogés déclarent souhaiter savoir si la viande achetée provient d'un porc immunocastré. Mais pour 8 consommateurs sur 10, cette information n'est pas demandée dans le but de modifier leur acte d'achat, mais plutôt dans celui d'avoir la pleine connaissance du produit acheté afin de contrôler au mieux leur alimentation. Pour accéder à cette information, 84 % d'entre eux proposent l'ajout d'une mention sur l'étiquetage.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent ici que la majorité des consommateurs ne savent pas que la castration des porcs se pratique. Après en avoir été informés, la plupart ne sont pas réticents à consommer de la viande de porcs castrés par la méthode d'immunocastration, dès lors qu'ils ont compris en quoi celle-ci consistait. Certaines réticences de la filière porcine pour développer cette pratique pourraient donc être levées.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Banque des Territoires et les Conseils Régionaux de Bretagne, de Normandie et des Pays de la Loire pour leur soutien financier dans le cadre de la mise en œuvre du programme Territoire d'Innovation (TI) LIT OUESTEREL.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arrêté du 24 février 2020 modifiant l'arrêté du 16 janvier 2003 établissant les normes minimales relatives à la protection des porcs. Légifrance. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041645040>.
- Font i Furnols M., Gispert M., Guerrero L., Velarde A., Tibau J., Soler J., Hortos M., Garcia-Regueiro J.A., Perez J., Suarez P., Oliver M.A., 2008. Consumers' sensory acceptability of pork from immunocastrated male pigs. Meat Sci., 80, 1013–1018.
- Fabrega E., Velarde A., Cros J., Gispert M., Suarez P., Tibau J., Soler J., 2010. Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing hormone, using Improvac, on growth performance, body composition, behaviour and acute phase proteins. Livest. Sci., 132, 53–59.
- Vanhonacker F., Verbeke W., 2011. Consumer response to the possible use of a vaccine method to control boar taint v. physical piglet castration with anaesthesia: a quantitative study in four European countries. Animal, 5, 1107-1118.

Caractéristiques des carcasses et risque d'odeur de la viande de porcs mâles biologiques non castrés

Sarah LOMBARD (1), Florence MAUPERTUIS (2), Antoine ROINSARD (3), Armelle PRUNIER (4)

(1) ITAB, 9 rue André Brouard, 49100 Angers, France

(2) Chambre régionale d'agriculture des Pays de Loire, 9 rue André Brouard, 49100 Angers, France

(3) FOREBIO, 117 rue de Charenton, 75012 Paris, France

(4) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint-Gilles, France

sarah.lombard@itab.asso.fr

Carcass characteristics and boar taint in entire male pigs from organic farms

Rearing entire male pigs should improve feed conversion and lean meat percentage (LMP), but doing so risks tainting meat, due mainly to androstenone (A) and skatole (S) stored in fat tissues. This project focused on the performance and boar taint of entire male pigs in organic farming. Entire male pigs from six organic farms were monitored for one year. Data collection included age at slaughter, carcass weight, LMP ($n = 849$), human nose evaluation ($n = 622$), and S and A concentrations in backfat ($n = 577$). Most boars (84 %) were slaughtered before 210 days of age. Mean carcass weight also varied among farms (90.1 ± 0.7 to 99.2 ± 1.6 kg, $P < 0.001$) as did mean LMP (59.2 ± 0.3 to 60.7 ± 0.3 $P < 0.001$). When assessed by a human nose, most carcasses (94.5 %) were not considered boar tainted. Median S (0.02-0.06 $\mu\text{g/g}$ pure fat) and A (0.54-1.78 $\mu\text{g/g}$) concentrations in backfat varied among farms ($P < 0.001$). A positive correlation was detected between A and S ($P < 0.001$), and between carcass weight and A ($P < 0.03$). Within farms, analyses revealed significant differences among trimesters on one farm for A and on a second farm for S and a positive correlation between age at slaughter and A on two farms ($P < 0.03$). Rearing entire male pigs can be a good alternative to castration in organic farming provided the risk of boar taint is controlled by choosing adapted rearing practices.

INTRODUCTION

En France, depuis le 1^{er} janvier 2022, la castration à vif des porcelets est interdite. Deux alternatives sont possibles : la castration chirurgicale avec prise en charge de la douleur ou l'élevage de porcs mâles non castrés également appelés mâles entiers (ME). L'élevage biologique se caractérisant par des objectifs élevés en termes de bien-être animal, le plus cohérent est la suppression de la castration chirurgicale, les protocoles pratiqués ne soulageant que partiellement la douleur (Prunier *et al.*, 2020). Selon des études menées en élevages conventionnels, les ME auraient une meilleure efficacité alimentaire et des carcasses plus maigres que les porcs mâles castrés (MC) (Batorek *et al.*, 2012). Cependant, il existe chez les ME un risque d'odeurs désagréables de la viande dues principalement à deux molécules : l'androsténone (A) et le scatol (S) (Parois *et al.*, 2018). Les ME présenteraient également plus de comportements sexuels que les MC qui peuvent être nocifs pour les autres porcs (von Borell *et al.*, 2020). Si l'élevage de ME est documenté en élevage conventionnel, peu d'études sont disponibles en agriculture biologique (AB). Cette étude a été réalisée pour évaluer les performances zootechniques et la prévalence de ME odorants dans six élevages biologiques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description des élevages

Afin d'évaluer la faisabilité et l'intérêt de ne plus castrer les porcs mâles, six élevages ont été sélectionnés (Tableau 1), sur

la base du volontariat, des atouts de l'élevage pour la production de ME et de la possibilité de conduire l'étude dans de bonnes conditions. Ils ne sont pas forcément représentatifs de la production en AB.

Tableau 1 – Descriptif des élevages avec des mâles entiers (ME)

| Elevages | Nombre de ME suivis | Génétique des porcs engraisés (hors auto-renouvellement) | Alimentation en engraissement |
|----------|---------------------|--|-------------------------------|
| 1 | 236 | (LW ¹ x LR ²) x P ³ | Soupe, FAF ⁴ |
| 2 | 258 | (LW ¹ x LR ²) x P ³ | Sec, FAF ⁴ |
| 3 | 76 | LW ¹ x P ³ | Sec |
| 4 | 79 | Naïma x P ³ | Sec |
| 5 | 126 | (LW ¹ x LR ²) x P ³ | Sec |
| 6 | 74 | Youna x P ³ puis, (LW ¹ x LR ²) x P ³ | Soupe, FAF ⁴ |

¹Large White ; ²Landrace ; ³Piétain ; ⁴Fabrication d'Aliment à la Ferme

1.2. Données collectées

1.2.1. Performances techniques

L'âge à l'abattage (renseigné par l'éleveur) ainsi que le poids de la carcasse à chaud (PC) et le taux de muscle des pièces (TMP ; bordereaux d'abattage) ont été collectés sur les 849 ME de l'étude.

1.2.2. Notation des odeurs : méthode du nez humain

La méthode du nez humain développée pour le projet avec l'IFIP consiste à chauffer du gras au niveau du cou et à noter l'odeur perçue : 0 (absence d'odeur de verrat), 1 (odeur douteuse) ou 2

(odeur de verrat). Cette évaluation se fait sur la chaîne d'abattage. Au total, 622 carcasses de ME ont été notées.

1.2.3. Concentrations en androsténone et scatol dans le gras

Des prélèvements de gras de bardière ont été réalisés sur l'ensemble des porcs de l'étude mais 577 échantillons ont été sélectionnés pour réaliser des dosages de A et S de manière à représenter de façon équitable les différents élevages et saisons d'abattage. Ces échantillons ont été dosés par HPLC (Batorek *et al.*, 2012). Un seuil a été retenu à partir de la bibliographie pour A (3,0 µg/g de gras pur) et pour S (0,15 µg/g de gras pur) (Bonneau *et al.*, 2012 ; Morlein *et al.*, 2012). Une carcasse est considérée à risque d'odeur si l'une ou l'autre des deux molécules atteint le seuil défini.

1.2.4. Statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.2.1. L'influence de l'élevage sur l'âge à l'abattage, le poids de la carcasse et le TMP a été analysée par analyse de variance (fonction lm). L'influence de l'élevage sur A et S a été analysée par le test non paramétrique de Kruskal et Wallis. Les corrélations entre variables ont été analysées sur l'ensemble de l'échantillon ou par élevage avec le test de Spearman. L'influence du trimestre de prélèvement a été analysée intra-élevage par le test non paramétrique de Kruskal et Wallis.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances techniques

La plupart des ME ont été abattus avant 210 jours d'âge (84 %) mais avec une variation importante entre élevages (Tableau 2, $P < 0,001$). Le PC est également variable entre élevages (Tableau 2, $P < 0,001$), ce qui s'explique notamment par des vitesses de croissance différentes en lien avec le niveau de rationnement alimentaire. La moyenne des TMP des ME de cette étude est de 59,9, ce qui est élevé en AB mais il existe une forte variabilité entre les élevages (Tableau 2, $P < 0,001$).

Tableau 2 – Performances techniques¹

| Elevages | Age abattage, jours | PC, kg | TMP, % |
|----------|---------------------|------------|------------|
| 1 | 197 ± 0,9 | 90,1 ± 0,7 | 59,2 ± 0,1 |
| 2 | 209 ± 1,5 | 91,8 ± 0,7 | 60,5 ± 0,1 |
| 3 | 178 ± 0,4 | 94,8 ± 1,2 | 60,7 ± 0,3 |
| 4 | 185 ± 1,0 | 99,2 ± 1,6 | 59,1 ± 0,3 |
| 5 | 189 ± 0,8 | 95,9 ± 1,0 | 59,9 ± 0,2 |
| 6 | 209 ± 2,1 | 94,2 ± 0,2 | 60,4 ± 0,7 |

¹Moyenne ± erreur standard

2.2. Risque d'odeurs sexuelles

2.2.1. Notes de nez humain

La majorité des carcasses évaluées (94,5 %) ont été notées 0, 4,0 % notées 1 et 1,4 % notées 2.

2.2.2. Concentrations en androsténone et scatol dans le gras

Les concentrations médianes de S (0,02 à 0,06 µg/g de graisse pure) et de A (0,54 à 1,78 µg/g) varient entre les fermes ($P < 0,001$). Sur l'ensemble des données, la corrélation entre A et S ($P < 0,001$), et celle entre A et le poids de la carcasse ($P < 0,03$) étaient positives. Ceci suggère qu'il est possible de réduire le risque d'odeur lié à A en réduisant le poids à l'abattage. L'analyse par élevage montre une variation significative entre les trimestres dans une exploitation pour A et dans une autre pour S, ainsi qu'une corrélation positive entre l'âge à l'abattage et A dans deux exploitations ($P < 0,03$). Ceci suggère des effets de la saison et de l'âge à l'abattage sur le risque d'odeur mais qui sont peu marqués dans notre étude.

Le pourcentage de carcasses considérées à risque de rejet par les consommateurs sur la base des concentrations en A et S est beaucoup plus élevé (Figure 1) que ce qui a été observé avec le nez humain.

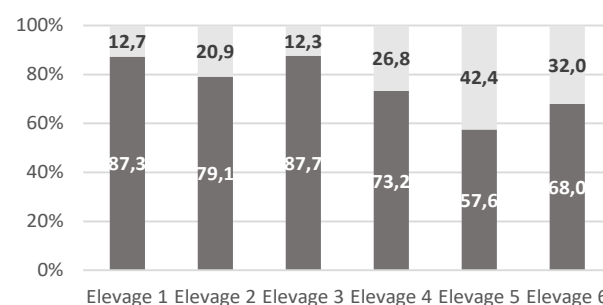


Figure 1 – Pourcentage de carcasses à risque d'odeur selon les concentrations en A et S du gras (577 carcasses)

■ Concentration androsténone < 3µg/g gras pur ET concentration scatol < 0,15µg/g gras pur
 ■ Concentration androsténone > 3µg/g gras pur ET / OU concentration scatol > 0,15µg/g gras pur

CONCLUSION

Cette étude montre qu'il est possible d'atteindre des performances techniques intéressantes avec un faible risque d'odeurs indésirables dans certains élevages mais des adaptations seront à réaliser dans d'autres. La question de la valorisation des carcasses et de l'évaluation économique de l'élevage de ME est essentielle pour une mise en place à plus grande échelle en AB (résultats à venir).

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet CASDAR Farinelli avec la contribution financière du ministère de l'Agriculture et de l'alimentation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Batorek N., Skrlep M., Prunier A., Louveau I., Noblet J., Bonneau M., Candek-Potokar M., 2012. Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 4593-4603.
- Bonneau M., Chevillon P., Nassy G., 2012. Une approche des seuils de teneurs en androsténone et en scatol déterminant l'acceptabilité des viandes de porcs mâles entiers par les consommateurs. *Journées Rech. Porcine*, 44, 37-42.
- Parois S., Bonneau M., Chevillon P., Larzul C., Quiniou N., Robic A., Prunier A., 2018. Odeurs indésirables de la viande de porcs mâles non castrés : problèmes et solutions potentielles. *INRA Prod. Anim.*, 31, 23-36.
- Von Borell E., Bonneau M., Holinger M., Prunier A., Stefanski V., Zöls S., Weiler U., 2020. Welfare aspects of raising entire male pigs and immunocastrates. *Animals*, 10, 2140.
- Mörlein D., Grave A., Sharifi AR., Bücking M., Wicke M., 2012. Different scalding techniques do not affect boar taint. *Meat Sci.* 91, 435-440.
- Prunier A., Devillers N., Herskin MS., Sandercock DA., Sinclair ARL., Tallet C., Von Borell E., 2020. Husbandry interventions in suckling piglets, painful consequences and mitigation. In : Wageningen Academic Publishers, The suckling and weaned piglet, 107-138, The Netherlands.



Impact de la méthode de ponction folliculaire sur la maturation *in vitro* des ovocytes porcins

Victoria SLEZEC-FRICK (1,2), Guillaume LENOIR (2), Loris COMMINS (1), Léa BRAVI (1), Harmonie LAMARQUE (2), Pierre BRUYERE (2), Thierry JOLY (3), Samuel BUFF (1).

(1) Université de Lyon, VetAgro Sup, UPSP ICE 2021.A104 & CRB CryAnim, 69280, Marcy l'Etoile, France

(2) Axiom, 37310, Azay-sur-Indre, France

(3) Université de Lyon, ISARA-Lyon, UPSP ICE 2021.A104, 69007, Lyon, France

victoria.slezec-frick@vetagro-sup.fr

Effect of the follicular puncture method on *in vitro* maturation of porcine oocytes

Protocols for *in vitro* maturation of porcine oocytes usually involve collecting ovaries from an abattoir, transporting them to a laboratory in a phosphate-buffered saline solution at a fixed temperature and finally puncturing them. The oocytes retrieved are then sorted and matured. This study aimed to confirm that the *in vitro* maturation rate could be improved by puncturing the follicles directly on site (*i.e.*, on the slaughter line) and then transporting their contents to the laboratory in a suitable medium at 37°C. To assess oocyte quality after maturation, we compared effects of abattoir puncture to those of laboratory puncture on the nuclear and cytoplasmic maturation rates of porcine oocytes after *in vitro* maturation. Oocytes were stained with Hoechst 33342 for the nuclear stage and FITC-PNA to assess cortical granule (GC) distribution and observed by confocal microscopy. The nuclear stages identified were the germinal vesicle, immature oocyte and mature oocyte. The oocytes were classified into three types according to the GC distribution pattern: immature, incomplete or fully mature. Follicular puncture performed at the abattoir and in the laboratory showed similar rates of nuclear maturation ($90.7 \pm 4.1\%$ and $84.7 \pm 6.2\%$ respectively). However, the abattoir puncture showed a better cytoplasmic maturation rate than the laboratory puncture ($45.3 \pm 12.6\%$ vs $19.0 \pm 14.6\%$, $p \leq 0.01$). In addition, the abattoir puncture yielded higher-quality structures before maturation. It was also easier to maintain oocytes at 37°C than it was to maintain ovaries at room temperature.

INTRODUCTION

La maturation *in vitro* des ovocytes porcins nécessite de réaliser des ponctions folliculaires sur des ovaires de truies. Les protocoles de ponction présentés dans la littérature s'organisent en plusieurs étapes : collecte des ovaires en abattoir, transport des ovaires dans une solution de PBS (phosphate buffered saline) à température fixée (Lin *et al.*, 2011b) et ponction des follicules présents à la surface des ovaires. Les ovocytes collectés sont ensuite triés et mis en maturation (Lin *et al.*, 2011a). L'objectif de cette étude était de comparer deux méthodes de ponction folliculaire : la méthode décrite dans la bibliographie et une méthode de ponction à l'abattoir. Cette dernière consiste à ponctionner les follicules directement à l'abattoir, puis à les transporter dans un milieu de collecte à 37°C jusqu'au laboratoire.

Le processus de maturation de l'ovocyte comprend les maturations nucléaire et cytoplasmique, l'achèvement de la maturation nucléaire ne reflétant pas nécessairement une maturation cytoplasmique normale. La maturation nucléaire de l'ovocyte est caractérisée par l'expulsion du premier globule polaire (métaphase II), tandis que la maturation cytoplasmique est reflétée, entre autres, par le schéma de distribution des granules corticaux (GCs) dans le cytoplasme de l'ovocyte.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Production des milieux

Tous les produits chimiques et réactifs, sauf indication contraire, ont été obtenus chez Sigma-Aldrich (Saint Louis, MO, USA). Les milieux ont été préparés comme décrit précédemment (Abeydeera *et al.*, 1998; Yuan *et al.*, 2017).

Le milieu de tri des ovocytes était composé de 114 mM de NaCl, 3,2 mM de KCl, 2 mM de NaH_2PO_4 , 0,4 mM de NaHCO_3 , 0,5 mM de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 10 mM de Na-lactate, 0,5 mM de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 10 mM d'Hepes, 0,01 % (p/v) d'alcool polyvinylique (PVA), 12 mM de sorbitol, 0,25 mM de Na-pyruvate, 0,01 mg/mL de rouge de phénol et de 10 µg/mL de gentamicine.

Le milieu de maturation était composé de M199 (Pan Biotech, Aidenbach, Allemagne) supplémenté de 0,1 % de PVA, 908,8 µM de Na-lactate, 3,05 mM de D-glucose et 10 µg/mL de gentamicine, supplémenté de 10 mg/mL de facteur de croissance épidermique, 0,5 µg/mL d'hormone lutéinisante, 0,5 µg/mL d'hormone folliculo-stimulante, 0,57 mM de L-cystéine, 40 ng/mL de facteur de croissance des fibroblastes-2 (R&D Systems, MN, USA), 20 ng/mL de facteur inhibiteur de leucémie (R&D Systems) et de 20 ng/mL de facteur de croissance de l'insuline-1 (R&D Systems).

Le milieu de collecte des ovocytes était composé du milieu de maturation sans hormone.

1.2. Ponction folliculaire

Les ovaires ont été prélevés dans un abattoir commercial sur des cochettes destinées à la consommation humaine et n'ayant pas reçu de traitement spécifique.

1.2.1. Ponction à l'abattoir

Les follicules de 3-7 mm (Figure 1) présents à la surface des ovaires ont été aspirés à l'aide d'une aiguille 18 G et d'une seringue de 2 mL. Le contenu de la seringue a été déposé dans des tubes contenant du milieu de collecte et maintenus à 37°C.

1.2.2. Ponction au laboratoire

Les ovaires ont été transportés au laboratoire dans du PBS à température ambiante, puis ont été traités de façon identique.

1.3. Mise en maturation

Le contenu des tubes a été évalué dans du milieu de tri, afin de sélectionner les complexes cumulo-ovocytaires (COCs) de meilleure qualité (Q1 et Q2, Figure 1). Les COCs sélectionnés ont été placés par lots de 80 dans du milieu de maturation pendant 44 heures, à 38,5°C, dans de l'air humidifié et à 5 % de CO₂. Les COCs provenant de la ponction à l'abattoir et au laboratoire seront désignés par *Aba* et *Lab*, respectivement.

1.4. Marquage nucléaire et des granules corticaux

A la fin de la période de maturation, les COCs ont été décoronés mécaniquement, puis fixés dans une solution de paraformaldéhyde (PAF) à 4 % pendant 20 min, à température ambiante. Les ovocytes ont ensuite été lavés dans une solution de PBS contenant 0,1 % de PVA. Puis les ovocytes ont été perméabilisés dans une solution de PBS contenant 0,1 % (v/v) de Triton 100× et 0,5 % de PVA. Les structures ont ensuite été marquées au FITC-PNA (1 mg/mL, 30 min). Enfin les ovocytes ont été marqués au Hoechst 33342 (10 mg/mL, 5 min). Après la coloration, les ovocytes ont été montés dans du Fluoromount-G™ Mounting Medium entre lame et lamelle.

1.5. Evaluation microscopique

Les lames ont été évaluées au microscope confocal à balayage laser (LSM 800, Zeiss, Allemagne). Les ovocytes ont été classés selon les groupes suivants (Lin *et al.*, 2016) : vésicule germinale (VG), immature, mature et dégénéré pour le stade nucléaire ; immature (type III), incomplètement mature (type II) et complètement mature (type I) pour la distribution des GCs.

1.6. Analyse statistique

Le logiciel GraphPad Prism (Boston, MA, USA) a été utilisé pour les analyses statistiques. Les expériences ont été répétées deux fois. Pour les comparaisons entre groupes, une analyse de contingence (test du Khi-deux) a été réalisée.

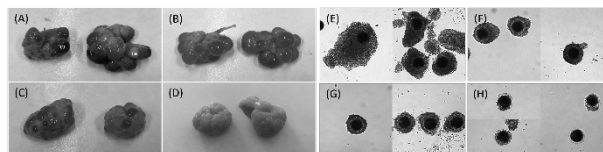


Figure 1 – Photos d'ovaires (A-D) et classement des grades des complexes cumulo-ovocytaires porcins (E-H)

(A) Ovaires présentant des corps jaunes (CJ) et des corps blanc (CB). (B) Ovaires présentant des follicules supérieurs à 8 mm de diamètre. (C) Ovaires présentant des follicules compris entre 3 et 7 mm de diamètre. (D) Ovaires présentant des follicules inférieurs à 3 mm de diamètre. (E) Q1, cinq couches ou plus de cellules du cumulus. (F) Q2, trois à quatre couches de cellules du cumulus. (G) Q3, une ou deux couches de cellules du cumulus. (H) Q4, cellules du cumulus partielles ou ovocytes dénudés.

2. RESULTATS

La qualité ovocytaire, lors du tri, dans le lot *Lab* était globalement inférieure à celle dans le lot *Aba*, avec la présence de Q2 et Q3 majoritairement, contre la présence de Q1, Q2 et Q3 pour le lot *Aba*. De plus, lors du tri ovocytaire, le lot *Lab* comportait un plus grand nombre de cellules ovariennes en suspension que dans le lot *Aba*, rendant la sélection des COCs plus difficile.

Tableau 1 – Maturation nucléaire des ovocytes ponctionnés à l'abattoir (*Aba*) et au laboratoire (*Lab*).

| Lot | n | VG, % | Immature, % | Mature, % | Dégénéré, % |
|------------|-----|-----------|-------------|------------|-------------|
| <i>Aba</i> | 161 | 0,0 ± 0,0 | 8,1 ± 4,2 | 90,7 ± 4,1 | 1,2 ± 0,0 |
| <i>Lab</i> | 163 | 1,8 ± 2,6 | 9,8 ± 3,6 | 84,7 ± 6,2 | 3,7 ± 0,0 |

VG : vésicule germinale, Aucune différence significative ($0,5 \leq p \leq 0,9$).

Les résultats de maturation nucléaire n'ont pas montré de différence significative entre les deux lots (Tableau 1). Tandis que la maturation cytoplasmique a montré une différence significative avec $45,3 \pm 12,6\%$ d'ovocytes complètement matures contre $19,0 \pm 14,6\%$, respectivement pour le lot *Aba* et le lot *Lab* (Tableau 2).

Tableau 2 – Maturation cytoplasmique des ovocytes ponctionnés à l'abattoir (*Aba*) et au laboratoire (*Lab*).

| Lot | n | Type III, % | Type II, % | Type I, % |
|------------|-----|--------------|-------------|---------------|
| <i>Aba</i> | 161 | 16,1 ± 1,3** | 38,5 ± 11,3 | 45,3 ± 12,6** |
| <i>Lab</i> | 163 | 33,7 ± 18,5* | 47,2 ± 3,9 | 19,0 ± 14,6* |

Des exposants différents dans une même colonne indiquent une différence significative ($p \leq 0,01$).

CONCLUSION

La ponction des follicules à l'abattoir permet donc d'obtenir de meilleurs taux de maturation cytoplasmique que la ponction au laboratoire. Il est également plus facile de maintenir les ovocytes à 37°C que de maintenir les ovaires à une température spécifique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abeydeera L.R., Wang W., Prather R.S., Day B.N., 1998. Maturation in Vitro of Pig Oocytes in Protein-Free Culture Media: Fertilization and Subsequent Embryo Development in Vitro. *Biol. Reprod.*, 58, 1316-1320.
- Lin T., Oqani R.K., Lee J.E., Shin H.Y., Jin D.I., 2016. Coculture with good-quality COCs enhances the maturation and development rates of poor-quality COCs. *Theriogenology*, 85, 396-407.
- Lin Y.-A., Tsai H.-B., Liao M.-H., Chen M.-C., 2011a. Effect of Preserving Condition of Porcine Ovaries on the Development of In Vitro Matured Oocytes: Effect of Preserving Condition of Porcine Ovaries. *Reprod. Domest. Anim.*, 46, 333-337.
- Lin Y.-A., Tsai H.-B., Liao M.-H., Chen M.-C., 2011b. Effects of preservation media on in vitro maturation of porcine oocytes. *Chin. J. Physiol.*, 54, 1-6.
- Yuan Y. et al, 2017. Quadrupling efficiency in production of genetically modified pigs through improved oocyte maturation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 114, E5796-E5804.



Les fruits du gattilier et les feuilles de noyer contiennent des phytoprogestagènes permettant d'envisager l'utilisation de ces plantes comme alternative aux hormones de synthèse pour la synchronisation des cycles des cochettes

Ghylène GOUDET (1), Philippe CHEMINEAU (1), Philippe LIERE (2), Anne-Lyse LAINE (1), Marie-Laure GREIL (3), Marine DELMAS (3), Thibaut CHABRILLAT (4), Stéphane FERCHAUD (5)

(1) UMR PRC, INRAE, CNRS, Université de Tours, 37380 Nouzilly, France

(2) U1195 INSERM Université Paris Saclay, Kremlin Bicêtre, France

(3) UEA, INRAE, 33210 Toulence, France

(4) Phytosynthèse, 63200 Mozac, France

(5) UE GENESI, INRAE, 86480 Rouillé, France

ghylene.goudet@inrae.fr

Avec la collaboration de Chantal Porte, Patrick Manceau, Antoine Pianos

Chasteberry fruits and walnut leaves contain phytoprogestins and could be considered as an alternative to synthetic progestogens for synchronising the oestrus of gilts

On pig farms, sows are often managed in batches because batches have practical and hygiene advantages, but doing so requires synchronising the oestrus of gilts. Synthetic progestogens are commonly used for this purpose, but they may raise concerns about the environment and human health, are prohibited on organic farms and have a financial cost. The objective of this study was to develop natural alternatives for synchronising oestrus. We identified and quantified phytoprogestins in two plants: chasteberry (*Vitex agnus castus*), a shrub from Mediterranean areas, and walnut (*Juglans regia*). High-performance liquid chromatography showed that chasteberry fruits contain the flavonoids kaempferol and apigenin, and that walnut leaves contain kaempferol. These flavonoids interact with the progesterone receptor and elicit progestin effects. Gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry showed that walnut leaves contain high concentrations of progesterone, 5alpha- and 20alpha-dihydroprogesterone, and that chasteberry fruits contain low concentrations of these progestogens. Both plants contain phytosterols (i.e., beta-sitosterol, campesterol, stigmasterol) that are precursors for steroid hormone biosynthesis and induce an increase in progesterone concentrations in plasma when administered to female rats. Thus, chasteberry fruits and walnut leaves contain compounds with progestin effects. Further studies are underway to assess whether these plants could be used as an alternative to synthetic progestogens for synchronising the oestrus of gilts.

INTRODUCTION

En élevage porcin, la conduite en bande présente de nombreux avantages, mais elle nécessite la synchronisation des cycles des femelles. L'usage d'hormones progestagènes de synthèse pour cette synchronisation soulève des questions environnementales et de santé publique, est interdit en élevage biologique et représente un coût financier non négligeable. Notre objectif est d'identifier des substituts naturels aux hormones progestagènes de synthèse.

Plusieurs études ont montré que le gattilier (*Vitex agnus-castus*), un arbuste originaire du bassin méditerranéen, a un

effet progestagène. L'ingestion de fruits de gattilier augmente les taux de progestérone urinaire et fécale et bloque les cycles sexuels chez les femelles chimpanzés et babouins (Emery-Thompson *et al.*, 2008). L'ingestion de gattilier augmente la durée de la phase lutéale chez la vache et la femme et la concentration plasmatique de progestérone chez la vache, la femme, la souris et la ratte (Farhoodi *et al.*, 2011 ; Ahangarpour *et al.*, 2016).

Des travaux antérieurs ont montré que les feuilles de noyer (*Juglans regia*), contiennent de la progestérone en quantités très importantes (8 à 30 mg/kg de feuilles fraîches) avec des différences de concentrations entre variétés et entre saisons (Pauli *et al.*, 2010 ; Chemineau, communication personnelle).

L'ingestion de feuilles de noyer augmente les taux de progestérone plasmatique chez la chèvre (Chemineau, communication personnelle).

L'objectif de cette étude était d'identifier et de quantifier les molécules à effet progestagène dans les fruits de gattilier et les feuilles de noyer.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Fourniture des plantes

Les feuilles de noyer ont été collectées à la main au mois d'octobre 2021 dans l'Unité Expérimentale Arboricole (UEA, INRAE, Toulence) sur des arbres têtards. Trois variétés de noyer riches en progestérone d'après nos analyses antérieures et couramment cultivées en France ont été choisies. Les feuilles ont été séchées sur place dans un séchoir pendant 24 heures puis transportées au laboratoire et réduites en poudre. Les fruits de gattilier ont été cueillis en été 2021 et 2022 par des producteurs marocains puis achetés par la société Phytosynthèse. Deux origines ayant une forte teneur en huiles essentielles et en casticine (marqueurs de qualité) d'après nos analyses antérieures et disponibles en grande quantité ont été choisies. Les fruits ont été séchés et réduits en poudre, puis envoyés au laboratoire.

1.2. Analyse des molécules à effet progestagène

L'analyse des molécules à effet progestagène a été réalisée sur le mélange des deux origines de gattilier et sur le mélange des trois variétés de noyer.

Deux flavonoïdes, l'apigénine et le kaempferol, ont été quantifiés par HPLC (high performance liquid chromatography) à l'ITEIPMAI (institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales, aromatiques et industrielles). L'apigénine et le kaempferol sont capables de se fixer sur les récepteurs de la progestérone, de les activer et d'avoir un effet progestagène (Dean *et al.*, 2017).

L'ensemble des stéroïdes, en particulier la progestérone, ses précurseurs et ses métabolites, ont été analysés par GC-MS/MS (gas chromatography coupled to tandem mass spectrometry) à l'INSERM (U1195).

Le cholestérol et trois phytostérols, le campestérol, le β -sitostérol et le stigmastérol, ont été analysés par GC-MS/MS à l'INSERM (U1195). Ces phytostérols ont une structure similaire au cholestérol et peuvent servir de précurseurs pour la synthèse d'hormones stéroïdiennes (Tarkowska, 2019).

L'administration de phytostérols à des rattes ovariectomisées provoque une augmentation des concentrations plasmatiques de progestérone (Swar *et al.*, 2017).

2. RESULTATS

L'analyse des flavonoïdes par HPLC a montré que les fruits du gattilier contiennent du kaempferol et de l'apigénine et que les feuilles de noyer contiennent de grandes quantités de kaempferol (tableau 1).

L'analyse des stéroïdes par GC-MS/MS a montré que les fruits du gattilier contiennent peu de stéroïdes, alors que les feuilles de noyer sont très riches en prégnénolone, progestérone, 5α - et 20α -dihydroprogestérone (tableau 1).

L'analyse des phytostérols par GC-MS/MS a montré que les fruits du gattilier et les feuilles de noyer contiennent du cholestérol, du campestérol, du β -sitostérol et du stigmastérol (tableau 1).

Tableau 1 – Composition des fruits du gattilier et des feuilles de noyer (en $\mu\text{g/g}$ ou ng/g de matière sèche)

| | Fruits de gattilier ¹ | Feuilles de noyer ¹ |
|---|----------------------------------|--------------------------------|
| Flavonoïdes | | |
| Kaempferol ($\mu\text{g/g}$) | 34,5 | 2800 |
| Apigénine ($\mu\text{g/g}$) | 88,4 | < SD ² |
| Stéroïdes | | |
| Prégnénolone (ng/g) | 6,4 | 1859 |
| Progestérone (ng/g) | 2,9 | 24533 |
| 5α -dihydroprogestérone (ng/g) | 2,6 | 13971 |
| 20α -dihydroprogestérone (ng/g) | 0,2 | 1703 |
| 3α -dihydroprogestérone (ng/g) | 207,7 | < SD ² |
| Phytostérols | | |
| Cholestérol ($\mu\text{g/g}$) | 5,4 | 2,1 |
| Campestérol ($\mu\text{g/g}$) | 31,3 | 8,4 |
| β -sitostérol ($\mu\text{g/g}$) | 499,7 | 895,9 |
| Stigmastérol ($\mu\text{g/g}$) | 79,2 | 5,5 |

¹ fruits de gattilier : mélange de 2 origines, feuilles de noyer : mélange de 3 variétés ; ² < SD : inférieur au seuil de détection

CONCLUSION

Les fruits du gattilier et les feuilles de noyer contiennent donc des substances ayant un effet progestagène. Une étude est en cours afin de vérifier si ces plantes pourraient être utilisées comme substituts naturels aux hormones progestagènes de synthèse et si la distribution de ces plantes dans la ration alimentaire permettrait une synchronisation des œstrus des cochettes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahangarpour A., Najimi S.A., Farbood Y., 2016. Effects of vitex agnus-castus fruit on sex hormones and antioxidant indices in a D-galactose-induced aging female mouse model. *J. Chin. Med. Assoc.*, 79, 589-596.
- Dean M., Murphy B.T., Burdette J.E., 2017. Phytosteroids beyond estrogens: Regulators of reproductive and endocrine function in natural products. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 442, 98-105.
- Emery-Thompson M., Wilson M.L., Gobbo G., Muller M.N., Pusey A.E., 2008. Hyperprogesteronemia in response to Vitex fischeri consumption in wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*). *Am. J. Primatol.*, 70, 1064-1071.
- Farhoodi M., Khorshid M., Eyvani D., 2011. Vitex agnus-castus effects on inter estrus interval in dairy cows. *Proc. XVth International Congress of the International Society for Animal Hygiene, Vienna, Austria, 3-7 July 2011, Volume 3, 1305-1308, ref.10e.*
- Pauli G.F., Friesen J.B., Gödecke T., Farnsworth N.R., Glodny B., 2010. Occurrence of progesterone and related animal steroids in two higher plants. *J. Nat. Prod.*, 73, 338-345.
- Swar G., Shailajan S., Menon S., 2017. Activity based evaluation of a traditional Ayurvedic medicinal plant: Saraca asoca (Roxb.) de Wilde flowers as estrogenic agents using ovariectomized rat model. *J. Ethnopharmacol.*, 195, 324-333.
- Tarkowska D., 2019. Plants are capable of synthesizing animal steroid hormones. *Molecules*, 24, 2585.



Une enveloppe sanitaire pour une insémination plus saine, simplifiée et sécurisée

Marion BERVAS, Isabelle MEROUR, Romain BRARD, Garance CHATAIN, Justine ABARNOU, Valentine MARRE

Equipe R&D, YXIA, 15 St Hubert, 35590 Saint-Gilles, France

A sanitary envelope to avoid the need to clean sow vulvas before insemination

Pig insemination requires long and tedious steps. Innovations have focused on the insemination probe, while cleaning the vulva alone represents 50% of the overall time taken. In addition, this step is tedious and carried out in very different ways between farms and operators. The effectiveness is uncertain in terms of cleanliness and remains uncomfortable for breeder and animal. It is therefore interesting to test alternatives to cleaning the vulva, such as the use of an innovation: a protective sanitary envelope located on the tip of the packaged probe. Its aim is to protect the probe's tip from vulvar contamination while inserting it. After opening the probe packaging, the breeder inserts the probe head, which is protected by the sanitary envelope. Once it has passed the vulva, a mark on the envelope indicates to the breeder that the envelope can be pierced by the probe to continue inserting it. Consequently, the probe head never touches the vulva, which no longer needs to be cleaned. Work comfort, animal wellbeing and insemination time are greatly optimized. To verify the benefit of the innovation, preclinical field trial with 250 sows was carried out. The conclusive health and performance results led to the conduct of a clinical trial with 716 sows, in 7 different farms. This innovation is easy for breeders to use but remains complex in its technical design: the quality and positioning of the pre-cut, compatibility of materials, and positioning of the marker are all elements that need to be mastered. The sanitary envelope is universal and fits all probes.

INTRODUCTION

En élevage de porc, pour réaliser des inséminations artificielles dans un contexte sanitaire acceptable, on ne peut insérer la sonde d'insémination sans introduction de salissures externes. En effet, l'introduction de la sonde d'insémination est une voie d'entrée directe d'agents pathogènes dans l'appareil génital, avec des effets potentiellement négatifs sur les résultats de fertilité et de fécondité.

Pour pallier cette problématique, les éleveurs de porcs ont plusieurs solutions, comme l'utilisation de lingettes imprégnées d'une solution nettoyante, la vaporisation des vulves puis usage d'un linge sec, ou encore l'humidification aqueuse. Une dernière solution brevetée (Kisfeld, 1995) consiste à utiliser un manchon rigide sur la vulve au moment de l'insémination, avant introduction de la sonde. Il est important de noter que ce manchon rigide est indépendant de la sonde d'insémination. Le nettoyage et séchage des vulves est chronophage, contraignant et son efficacité reste discutable. Cette étude a pour but d'évaluer l'intérêt de l'utilisation d'une enveloppe sanitaire souple (produit test) comme alternative au nettoyage des vulves. Cette enveloppe sanitaire souple, de longueur définie, est intégrée à la sonde d'insémination, et munie d'un repère d'introduction maximum au niveau de la vulve, et d'une prédécoupe à son extrémité proximale.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'objectif de l'expérimentation est de vérifier l'intérêt de l'utilisation de l'enveloppe sanitaire Easy&Clean (produit test)

en élevage de porc. Pour cela, l'ergonomie d'utilisation est évaluée, ainsi que son efficacité (maintien des performances d'élevage). L'expérimentation s'est déroulée en deux essais : préclinique puis clinique, pour prouver le maintien des résultats zootechniques après insémination avec le produit test. A chaque fois, deux lots indépendants d'individus sont comparés. Les truies sont réparties de façon homogène (rang de portée, problèmes passés de mises bas). Le lot Témoin est inséminé après nettoyage des vulves avec une lingette désinfectante, puis insertion de la sonde d'insémination habituellement utilisée par l'éleveur. Les doses de semence inséminées sont celles habituellement commandées par l'éleveur. Le lot Essai est composé de truies inséminées par une sonde munie du produit test, sans nettoyage préalable de la vulve. Le reste du protocole est identique à celui suivi pour le lot Témoin.

1.1.1. Essai terrain préclinique

L'essai terrain préclinique s'est déroulé dans trois élevages différents, sur un effectif total de 249 truies, soit 141 truies Témoin (inséminations habituelles des éleveurs, avec nettoyage des vulves) et 108 truies essai (inséminations réalisées sans lavage des vulves, avec l'innovation). Le produit test était inconnu pour ces éleveurs, afin d'obtenir un avis objectif sur l'utilisation.

1.1.2. Essai terrain clinique

L'essai terrain clinique s'est déroulé dans sept élevages différents, dont les trois ayant participé à l'essai préclinique pour un effectif total de 716 truies (indépendantes de l'essai préclinique). Le lot témoin représente un effectif de 309 truies et le lot essai représente un effectif de 407 truies. Le protocole d'insémination est identique à celui suivi pour l'essai terrain préclinique.

1.2. Analyse de données et statistiques

Dans chacun des élevages, chaque truie fait l'objet d'une échographie réalisée quatre semaines après insémination, pour analyser le succès de l'insémination : le résultat de l'échographie est collecté. Après gestation (114 jours), les données de mise bas sont collectées de façon précise : nombre de porcelets nés vivants, morts nés, momifiés et nés totaux. Les analyses statistiques sont réalisées à partir de ce jeu de données.

A l'aide du logiciel R (version 4.2.1), un test de comparaison de moyennes est réalisé. Pour cela, nous avons comparé deux catégories (Témoin et Essai) de données indépendantes. L'égalité des variances et la distribution normale des données par modalité sont testées. Suite à cela, un test de Wilcoxon, de Mann-Whitney ou un T-test est utilisé pour évaluer la significativité de la différence de moyennes.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Maintien des résultats zootechniques

2.1.1. Fertilité

Lors de l'essai préclinique, la différence de fertilité (+ 1,1 %) entre le lot Témoin (91,5) et le lot Essai (92,6%) n'est pas significative ($P = 0,75$). Ce résultat est confirmé avec les données de l'essai clinique. En effet, le gain de 1,2 % de fertilité dans le lot Essai (92,1 %) par rapport au lot Témoin (90,9 %) n'est pas significatif ($P = 0,57$). Le maintien de la fertilité après utilisation de l'enveloppe sanitaire est donc vérifié sur ces deux essais terrains.

2.1.2. Prolificité

Lors de l'essai préclinique, l'utilisation de l'enveloppe sanitaire permet le maintien des données de prolificité (nés vivants, $P = 0,98$ et nés totaux, $P = 0,99$) entre les lots Témoin et Essai (voir tableau 1). Les résultats de l'essai clinique montrent une augmentation non significative de nés vivants ($P = 0,10$) et de nés totaux ($P = 0,42$) entre les lots Témoins et Essai (voir tableau 1). L'ensemble de ces résultats montre que l'utilisation d'une enveloppe sanitaire est une bonne alternative au nettoyage des vulves par une lingette désinfectante.

2.2. Gain de temps/ergonomie

Tableau 1 – Effet de l'utilisation d'une enveloppe sanitaire comme alternative au nettoyage des vulves des truies lors des inséminations artificielles, sur les données zootechniques d'élevage.

| | | Essai terrain préclinique | | Essai terrain clinique | | |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|------------------------|-------|------|
| | | Témoin | Essai | Témoin | Essai | |
| Effectif | | 141 | 108 | 309 | 407 | |
| Fertilité | | Moyenne | 91,5 | 92,6 | 90,9 | 92,1 |
| Prolificité | Nés vivants (par truie) | Moyenne | 16,4 | 16,4 | 15,8 | 16,1 |
| | | Ecart-type | 3,2 | 3,5 | 3,5 | 4,0 |
| | Nés totaux (par truie) | Moyenne par truie | 17,7 | 17,7 | 17,7 | 17,8 |
| | | Ecart-type | 3,4 | 3,7 | 4,0 | 4,5 |
| Temps passé par insémination (sec) | | Moyenne | 90 | 60 | 90 | 63 |

Dans chaque élevage, l'avis des utilisateurs a été relevé. En effet, d'après les résultats des essais terrains, l'utilisation de l'enveloppe sanitaire représente une innovation « tout en un ». L'usage de l'enveloppe sanitaire permet un gain de 30 secondes par insémination (tableau 1). L'invention pourrait être incluse sur toutes les sondes d'insémination artificielles déjà proposées aux éleveurs. En fonction de l'organisation et du nombre de truies et de bandes, cela peut permettre de réduire jusqu'à une Unité de Travail Humain sur le poste d'insémination artificielle.

2.3. Baisse de production de déchets

La France possède aujourd'hui environ 900 000 truies (Avelin C, 2023). Ces truies sont inséminées 2,5 fois (Boulot, 2021) par œstrus, soit 5 fois par an. Sachant que deux lingettes sont nécessaires pour la désinfection d'une vulve, la consommation théorique de lingettes s'élèverait au total à 9 000 000 lingettes. Cela représente 42 tonnes de déchets produits par an. La démocratisation de l'utilisation de l'enveloppe sanitaire permettra de réduire de façon significative la quantité de déchets liée au poste d'insémination artificielle, avec une réduction de 27 % du poids de déchets produits par les inséminations artificielles. En effet, le poids d'une insémination complète réalisée avec nettoyage des vulves par une lingette (Bag + sonde intra-utérine+ deux lingettes) est de 28,7 g. Or, une insémination réalisée avec l'enveloppe sanitaire représente un poids de 20,9 g. Ces déchets sont éliminés dans les poubelles de déchets biologiques. L'économie de poids et de volume représente une économie financière directe pour l'éleveur.

CONCLUSION

Le nettoyage des vulves fait partie des bonnes pratiques de l'insémination artificielle des truies, bien que peu ergonomique, chronophage et difficile à réaliser correctement. L'utilisation d'une enveloppe sanitaire améliore non seulement l'ergonomie et le bien être des utilisateurs, mais elle leur fait gagner un temps précieux (1/3 à la moitié du temps d'insémination dans les élevages qui ont testé le dispositif). La simplicité d'utilisation du produit test et son design améliore le bien être de l'animal et de l'utilisateur. Une réduction de 27 % du poids de déchets est également estimée. Tout cela est bénéfique par addition au maintien des performances zootechniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kisfeld A., 1995, Vorrichtung zur künstlichen Befruchtung von Tieren, insbesondere Sauen, Espacenet, DE19952005177U 19950327
- Avelin C., 2023. Les marchés des produits laitiers, carnés et avicoles – Bilan 2022 – Perspectives 2023, FranceAgriMer, 192 p.
- Boulot S., 2021. French Pig AI Industry: short overview. 31st AI Vets Congress, 20-22 oct 2021, Poitiers



Une seule insémination permet-elle de diminuer la prolificité et la mortalité des porcelets en élevage biologique ?

Stéphane FERCHAUD (1), Doryan GRIVAULT (1), Stéphane MOREAU (1), Jean-Pierre BIDANEL (2)

(1) INRAE GenESI, la gouvanière, 86480 Rouillé, France

(2) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, GABI, 78350 Jouy-en-Josas, France

Stephane.ferchaud@inrae.fr

Avec la collaboration de Tony TERRASSON (1) et Franck GUIRAUD (1)

Can a single-dose insemination reduce prolificacy and piglet mortality in organic farming?

Managing large litters is often difficult in organic farming, which raises questions about neonatal mortality rates. Single-dose insemination (SDI) could be on way to reduce litter size at birth and thus piglet mortality. A preliminary trial on the use of SDI was performed at the INRAE #porganic experimental station. As experiments were already underway at #porganic, we were unable to compare the effect of insemination type (SDI vs double-dose insemination (DDI)) on contemporary sows of the same parity. Hence, we simply inseminated 30 third-parity Large White sows with a single dose of semen 24 hours after boar immobilization. The fertility of the 30 SDI sows remained very good (93%), which was similar to that usually observed with DDI. Surprisingly, litter sizes and mortality rates remained high (19.1 total born, 18.1 live born, 12.1 weaned; overall mortality rate: 36.6 %), which were similar to or exceeded the performances of the first two parities and those of third-parity sows in a previous generation that had received DDI. These preliminary results tended to show that SDI might be used to reduce insemination costs, but they do not support using SDI to reduce litter size or piglet mortality. Further studies are still needed to validate these preliminary results and test different SDI-implementation strategies more rigorously.

INTRODUCTION

Dans les élevages conduits en agriculture biologique (AB), la gestion des portées de grande taille est souvent difficile, avec des niveaux de mortalité néo-natale qui posent question (Canario *et al.* ; 2023, Nilsson *et al.*, 2023). Dans la station expérimentale INRAE #porganic le taux de survie des porcelets sous la mère n'est que de 60 % (Ferchaud *et al.*, 2022). Plus de 50 % des porcelets morts sous la mère le sont dès la première journée de vie, ce qui confirme la difficulté à gérer des portées de grande taille. Notre hypothèse est que l'utilisation d'une insémination unique (Insémination Mono Dose - IMD) pouvait être une pratique susceptible de réduire les tailles de portée à la naissance et les taux de mortalité néonatale. En effet, les travaux sur les cinétiques d'ovulation et de fertilisation en cours d'oestrus (Kemp et Soede, 1996), sur les inséminations dites « fixed time », l'utilisation de faibles volumes de semences montrent qu'une réduction du nombre de spermatozoïdes et/ou une insémination précoce diminue le nombre d'ovocytes fécondés, mais sans nécessairement réduire la fertilité. Nous avons donc cherché à tester expérimentalement cette hypothèse. Compte tenu des expérimentations déjà en place sur #porganic, il ne nous était pas possible de mettre en place un dispositif rigoureux de comparaison de l'effet du type d'insémination Mono-Dose (IMD) vs Insémination Double-Dose (IDD) sur des truies contemporaines de même rang de portée.

Nous avons donc décidé de mettre en place un essai préliminaire d'IMD sur un lot de truies et de comparer les résultats obtenus en matière de fertilité, de prolificité et mortalité à ceux précédemment obtenus en utilisant la pratique habituelle d'insémination double-dose (IDD).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Truies et conduite du troupeau

Le cheptel de #porganic est composé de 48 truies de race Large-White, issues des noyaux de sélection des organisations de sélection porcines (OSP) Axiom et Nucléus. La station expérimentale conduit un programme de sélection basée sur la survie des porcelets dans le cadre du projet européen « PPilow » (Canario *et al.*, 2023). Les cochettes nées en 2^{ème} portée remplacent les truies d'une génération donnée après la 3^{ème} portée pour créer la génération suivante. L'élevage est conduit en quatre bandes espacées de 6 semaines ; les truies sont au maximum libérées 4 jours après mise bas, le sevrage a lieu à 49 jours de lactation. Les adoptions ne sont quasiment pas possibles du fait de l'homogénéité des tailles de portées élevées et de l'intervalle de six semaines entre bandes (pas de truies adoptives disponibles). Nous avons utilisé trois bandes de truies de la 2^{ème} génération, soit 30 truies, qui ont été inséminées en mono-dose pour leur 3^{ème} portée.

1.2. Les inséminations

Les oestrus des truies sont détectées matin et soir L'IMD a été réalisée 24 heures après l'immobilisation au verrat. La pratique habituelle est de deux inséminations réalisées 12 et 36 heures après l'immobilisation au verrat. Les doses d'insémination de qualité standard ont été produites au centre d'insémination INRAE de Rouillé à partir de 6 verrats de type génétique Kador (Nucléus). Les doses d'insémination contenaient 2 milliards de spermatozoïdes totaux.

1.3. Analyses statistiques

Les données de prolificité (nés totaux (NT), nés vifs (NV), sevrés (SEV)) et de Taux de Mortalité Globale $TMG = 100 * (NT - SEV) / NT$ ont été analysées à partir d'un modèle linéaire prenant en compte les effets fixes de l'effet combiné génération x rang de portée (GR), de la bande de mise bas intra GR, du verrat et de la truie à l'aide du logiciel SAS (version 9.4).

2. RESULTATS

Au total, 28 des 30 truies inséminées en IMD ont mis bas, soit un taux de fertilité de 93 %, comparable aux valeurs obtenues en IDD (en moyenne de 89,7 %) depuis la création de l'élevage. Les résultats de prolificité et de mortalité sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 – Résultats de prolificité et de mortalité en fonction de la génération (G= 1, 2), du rang de portée (R) et du type d'insémination (IA) (IMD= monodose ; IDD =double dose)

| G | R | IA | NT ¹ | NV ¹ | SEV ¹ | TMG ¹ ,% |
|---|---|-----|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|
| 2 | 3 | IMD | 19,1 a | 18,1 a | 12,1 a | 36,6 a |
| 2 | 2 | IDD | 17,1 ab | 15,8 ab | 10,8 ab | 36,8 a |
| 2 | 1 | IDD | 14,6 c | 14,1 b | 9,8 b | 32,9 a |
| 1 | 3 | IDD | 17,4 ab | 16,1 ab | 11,3 ab | 35,1 a |
| 1 | 2 | IDD | 16,1 bc | 15,4 b | 10,2 b | 36,6 a |
| 1 | 1 | IDD | 15,9 bc | 14,6 b | 10,3 ab | 35,2 a |

¹NT, NV, SEV = nés totaux, nés vifs et sevrés/portée ; $TMG=100 * (NT - SEV) / NT$; a,b,c : des lettres différentes signifient que les moyennes diffèrent entre elles ($P < 0,05$)

Les valeurs moyennes de prolificité obtenues en IMD sur les truies de 3^{ème} portée de la 2^{ème} génération sont très élevées par rapport aux truies de 1^{ère} génération en 3^{ème} portée en IDD. Même si les résultats ne sont que des tendances, les valeurs moyennes semblent supérieures de 1,7 porcelet nés totaux. Les différences sont moindres au sevrage (+0,8 porcelet en tendance).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canario L., Ferchaud S., Moreau S., Larzul C., Prunier A., 2023. Large White genetics in organic system: breeding for piglet survival. 74th Annual meeting of the European federation of animal science, EAAP, Lyon, France, p. 735.
- Ferchaud S., Terrasson T., Moreau S., Grivault D., Billon Y., 2022. Présentation de l'installation porcine biologique INRAE, #porganic : choix techniques et premiers résultats. Journées Rech. Porcine, 54, 307-308.
- Kemp B., Soede N.M., 1996. Relationship of weaning-to-oestrus interval to timing of ovulation and fertilization in sows. J. Anim. Sci., 74, 944-949.
- Nilsson K, Wallenbeck A, 2023. Cross-breeding strategies to optimize litter size- away to improve piglet survival? 74th Annual meeting of the European federation of animal science, EAAP, Lyon, France, p. 204.
- Soede N., Noordhuizen J., Kemp B., 1992. The duration of ovulation in pigs, studies by transrectal ultrasonography, is not related to early embryonic diversity. Theriogenology, 38:653-666.

La taille de portée (NV et NT) des truies en IMD est supérieure ($P < 0,05$) à la plupart des valeurs moyennes en 1^{ère} et 2^{ème} portée en IDD. Par contre, les taux de survie globaux ne diffèrent pas en fonction de la génération, du rang de portée ou du type d'insémination.

Une analyse graphique détaillée de la distribution des tailles de portée est présentée sur la figure 1. A l'exception d'une portée de faible taille (7 nés totaux), les tailles de portées sont élevées (14 à 23 porcelets), n'offrant pas de degrés de liberté pour homogénéiser les portées via des adoptions.

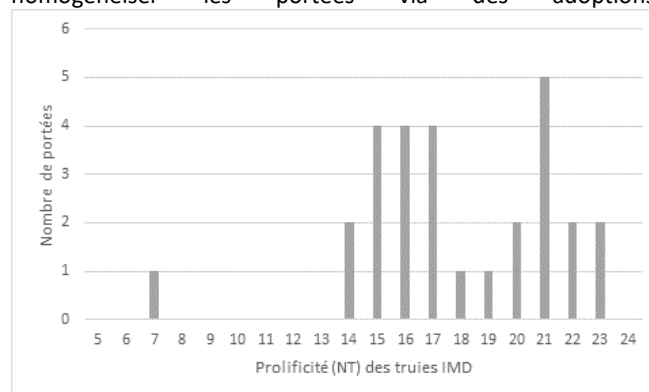


Figure 1 - Distribution du nombre de nés totaux (NT) issus de truies en Insémination Mono Dose (IMD)

DISCUSSION ET CONCLUSION

Même si le dispositif utilisé est de taille réduite et ne permet pas d'estimer les effets du type d'insémination, qui est confondu notamment avec les effets du rang de portée, de la bande et de la génération, les résultats préliminaires obtenus ne vont pas dans le sens de l'hypothèse formulée, i.e. une diminution de la taille de portée par l'utilisation d'une simple dose de semence, susceptible de réduire le nombre d'ovocytes fécondés. Il serait intéressant de mettre en place un dispositif de comparaison des deux modalités d'insémination plus rigoureux et de tester d'autres modalités (nombre de spermatozoïde réduit, insémination encore plus précoce...). Il serait également intéressant de mieux connaître la cinétique d'ovulation et la fécondité des ovocytes dans ces populations très sélectionnées. Si ce résultat se confirmait, on pourrait également noter l'effet simplificateur de l'IMD sur le chantier d'insémination (une insémination 24 heures après immobilisation) et les économies réalisées, potentiellement intéressantes pour la filière porcine biologique.



La survie sous la mère : corrélation avec la température tympanique pour les porcelets légers ou de poids « normal »

Sylviane BOULOT et Gwendoline HERVE

Ifip Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35 650 Le Rheu, France

sylviane.boulot@ifip.asso.fr

Pre-weaning survival is related to the tympanic temperature of piglets of low and normal birthweights

In large litters, poor colostrum intake and hypothermia are major causes of high pre-weaning mortality, especially for piglets with low birthweight. As new-borns experience a severe drop in body temperature, detection of hypothermia is essential. The aim of this study was to evaluate the suitability of monitoring tympanic temperature, known to be the most accurate alternative to rectal monitoring. The study was performed at the IFIP experimental farm with 63 litters from three batches of 24 sows (18.7 ± 4.7 total born). Temperatures were recorded for 1013 piglets within 24 h of birth and at the beginning (T1) and end (T2) of standard care procedures, using an infrared ear thermometer, and pre-weaning mortality was monitored. T1 varied from $34.2-40.7^\circ\text{C}$ (mean $38.6 \pm 0.8^\circ\text{C}$), with 14 %, 34 % and 69 % of piglets with temperatures below 38.0 , 38.5 and 39.0°C respectively. Severe hypothermia ($< 38^\circ\text{C}$) increased in large litters and was more frequent (53 % vs 8 %, $P < 0.001$) for piglets < 1 kg at birth. Mortality by day five (13.2 %) was related to hypothermia ($P < 0.001$), with the best prediction accuracy at the 38.0°C threshold. Hypothermia influenced mortality ($P < 0.001$), with more severity for birthweights below 1 kg (87 % vs 34 %) than above 1 kg (25 % vs 4 %). T2 improved during care ($39.0 \pm 0.8^\circ\text{C}$), with only 9 % piglets below the 38.0°C threshold. Mortality peaked (84 %) for piglets that remained cold, and high (> 30 %) when hypothermia was experienced at least once. The results confirm that infrared tympanic temperature monitoring may be suitable for early on-farm detection of hypothermia and mortality risks.

INTRODUCTION

Dans l'heure qui suit la naissance, le porcelet peut voir sa température chuter rapidement. Le risque d'hypothermie est élevé pour les porcelets légers et dans les grandes portées, et il sera pénalisant pour la prise colostrale, la survie et la croissance (Baxter *et al.*, 2008, Leneveu *et al.*, 2023). La prise de température dans les 24 heures suivant la naissance est d'ailleurs conseillée pour évaluer et prévenir ce risque (Eureden, 2022). La température rectale est la mesure de référence, mais elle peut être difficile chez les jeunes animaux avec des erreurs possibles en cas de mauvaise insertion ou de mesure trop rapide. Chez le porc, la température tympanique, peu invasive, et bien corrélée aux mesures rectales, serait la meilleure alternative (Schmid *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'intérêt de la température tympanique pour détecter les porcelets en hypothermie et préciser les liens avec leur survie selon les seuils utilisés, les poids de naissance et les tailles de portées.

MATERIEL ET METHODES

L'étude a été réalisée à la station expérimentale de l'IFIP pendant l'été 2022, sur 63 portées issues de 3 bandes de 24 truies ($18,7 \pm 4,7$ nés totaux). Les températures ont été relevées sur 1013 porcelets à l'aide d'un thermomètre auriculaire infrarouge Thermoscan IRT 6520 (www.braunhealthcare.com). Les contrôles ont été réalisés entre 12 et 24 heures de vie, dans les deux oreilles, au début (T1) et à la fin (T2) des soins néonataux

(épointage des dents, caudectomie, injection de fer). Ceux-ci étaient réalisés dans une salle spécifique et les porcelets placés sous une lampe chauffante après le premier contrôle. Ils étaient identifiés individuellement et leur survie a été évaluée jusqu'au sevrage, avec enregistrement des âges, poids et causes de mort. Les effets des tailles de portées et du poids de naissance sur la fréquence de porcelets en hypothermie et le lien entre hypothermie et mortalité précoce à 5 jours d'âge ont été évalués en utilisant des tests de Chi2, à partir de variables mises en classes.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les températures n'étant pas différentes dans les oreilles droites et gauches ($P = 0,13$ Test de Wilcoxon pour données appariées), les analyses suivantes portent sur les moyennes individuelles.

La température avant les soins (T1) varie selon les porcelets de $34,2$ à $40,7^\circ\text{C}$ (moyenne $38,6 \pm 0,8^\circ\text{C}$), avec 14, 34 et 69 % des porcelets en dessous de 38 , $38,5$ et 39°C respectivement. Selon les portées, 0 à 43 % des porcelets ont une température inférieure à 38°C . L'hypothermie sévère ($< 38^\circ\text{C}$) est plus fréquente dans les grandes portées ($P < 0,001$). Ainsi, dans les portées > 18 nés totaux (51 % des porcelets examinés), 20 % des porcelets sont « froids » ($< 38^\circ\text{C}$), contre 10 et 4 %, respectivement, dans les portées de 15 à 18 (34 % des examens) et moins de 15 nés totaux (15 % des examens).

Dans nos conditions, le réchauffement pendant les soins permet de réduire l'hypothermie (Figure 1). Avant les soins,

14 % des porcelets ont une température inférieure à 38 °C, contre seulement 9 % après les soins dans une salle chauffée ($P < 0,01$). Nos résultats confirment que le réchauffement des porcelets dans les 24 premières heures de vie est essentiel pour la survie : 55 % des porcelets « froids » sont morts dans les 5 jours suivant la naissance contre 6 % des porcelets « chauds » ($\geq 38^\circ\text{C}$). Néanmoins quelques porcelets ne parviennent pas à se réchauffer pendant les soins. La mortalité est maximale (84 %) chez ceux restés froids à T1 et T2 (6 %) et élevée (30 %) pour ceux en hypothermie au moins une fois (11 % des porcelets).

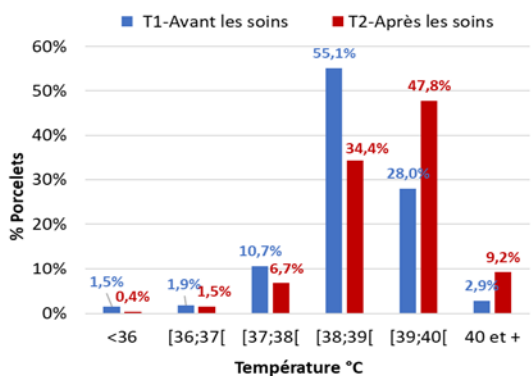


Figure 1 – Distribution des températures tympaniques avant (T1) ou après (T2) les soins réalisés dans les 12-24h (n=1013).

Le poids de naissance ($1,48 \text{ kg} \pm 0,40$ – moyenne \pm écart-type) et la température sont liés. Ils impactent tous les deux la survie ($P < 0,001$) et leurs effets négatifs se cumulent (Figure 2).

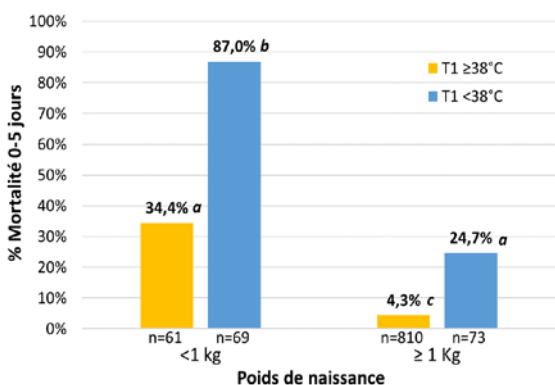


Figure 2 – Impact du poids de naissance et de la température avant les soins (T1) sur la mortalité à 5 jours.

Les lettres différentes indiquent des écarts significatifs ($P < 0,001$).

Avant les soins, l’hypothermie est plus fréquente chez les porcelets légers. Les porcelets de moins de 1 kg représentent 13 % des mesures et 53% d’entre eux sont « froids ». Le taux de mortalité est maximum (87 %) chez les porcelets légers et « froids ». Les effets plus marqués de l’hypothermie sur la survie des porcelets légers sont bien connus (Baxter *et al.*, 2008) et s’expliquent par des handicaps spécifiques liés à la taille

(moins thermorégulation, immaturité ...) ou aux grandes portées dont ils sont souvent issus (mises bas longues, mauvaise prise colostrale ...). Même si le taux de porcelets froids est plus faible chez les porcelets de plus de 1 kg (8 %), leur risque de mortalité reste non négligeable (25 %). Ils pourraient donc aussi bénéficier d’un réchauffement rapide avant ou pendant les soins.

Tableau 1 – Comparaison de différents seuils de température tympanique pour la prédiction de la mortalité des porcelets.

| | Seuils (T1) | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | < 38 °C | < 38,5 °C | < 39 °C |
| Exactitude globale | 0,88 | 0,73 | 0,42 |
| Sensibilité | 0,58 | 0,78 | 0,93 |
| Spécificité | 0,93 | 0,72 | 0,35 |
| Odds ratio | 17,7 | 8,9 | 7,3 |
| % Porcelets < Seuil (T1) | 14 % | 34 % | 69 % |
| % Mortalité à 5 jours | | | |
| T1 < Seuil | 55 % | 30 % | 18 % |
| T1 \geq Seuil | 6 % | 5 % | 3 % |

Nos résultats confirment que la mortalité précoce (13,2 %) dépend de la température mesurée avant les soins ($P < 0,01$). L’analyse de la relation avec la survie aux seuils de 38, 38,5 et 39 °C suggère un seuil de prédiction à 38 °C (Tableau 1). Il correspond à l’exactitude maximum (88 %). C’est aussi le meilleur seuil permettant de minimiser le nombre d’erreurs de prédiction liées aux porcelets froids qui survivent (spécificité). La moindre sensibilité peut s’expliquer par les autres causes de mortalité. Ce seuil est inférieur à celui de 38,5 °C proposé pour la température rectale dans l’outil Pilot° par Eureden (2022). Ceci pourrait en partie s’expliquer par l’écart entre les 2 techniques de 0,2 °C estimé par Schmid *et al.* (2021).

CONCLUSION

Ces résultats confirment que la température tympanique peut être utilisée en élevage pour une détection précoce des porcelets en hypothermie. Cet outil peu coûteux peut s’intégrer aux démarches de diagnostic et de prévention de la mortalité.

Des outils sans contacts seraient intéressants pour limiter les manipulations, mais leur exactitude reste à améliorer. Si l’hypothermie est plus impactante chez les petits porcelets, nos résultats montrent que les gros porcelets sont aussi concernés et que des stratégies de réchauffement devraient sans doute être plus largement mises en œuvre.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel de la station, L. Chopin, A. Collin, A. Debroye, K. Deroine, D. Pilorget et les étudiants pour leur participation active aux mesures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baxter E.M., Jarvis S., D’Eath R.B, Ross D.W., Robson S.K., Farish M., Nevison I.M., Lawrence A.B., Edwards S.A., 2008. Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology*, 69, 773–783.
- Eureden, 2022. Evaluer la prise colostrale des porcelets avec Pilot°. <https://www.paysan-breton.fr/2022/05/evaluer-la-prise-colostrale-des-porcelets-avec-pilot/>.
- Leneveu P., Durand A., Lahuac B., Gilet A., Lewandowski E., Solignac T., 2023. Etude de la prise colostrale en élevages à taux de pertes sur nés vivants élevés. Analyse de la situation en lien avec les pratiques d’élevage, l’homéothermie des porcelets et la production colostrale des truies. *Journées Rech. Porcine*, 54, 269-274.
- Schmid S.M., Büscher W., Steinhoff-Wagner J., 2021. Measuring body core and skin temperatures in suckling piglets. *Animals*, 11, 1004.



La socialisation du porcelet en élevage biologique

Stéphane FERCHAUD (1), Nicolas KOLYTCHEFF (2), Stéphane MOREAU (1), Tony TERRASSON (1), Grégory KHELIFI (1), Julie HERVE (3)

(1) INRAE GenESI, station #porganic, la Gouvanière 86480 Rouillé, France

(2) Chambre d'agriculture de Bretagne, P. A. De Ronsouze, 56800 Ploermel, France

(3) Oniris, INRAE, IECM, La Chantrerie, 44300 Nantes, France

stephane.ferchaud@inrae.fr

Avec la collaboration de Solenn GAVAUD (3)

Socialising piglets in organic farming

At the INRAE organic experimental station, piglets are weaned at 49 days of age. At this age, individuals are heavy, and fights between litters can sometimes be violent. As early socialisation was reported to decrease aggressiveness at weaning, we performed a trial with four batches of pigs from March to September 2023. From 21 days of age, in each batch, piglets from six litters in the "socialised" group were given the opportunity to mix in the maternity pens, with their mothers remaining in their 10 m² pens. Each of the other six litters was kept separate. At weaning, the socialised piglets were separated by sex, while the piglets reared per litter were pooled and then separated by sex. The four groups thus created, which contained approximately 30 pigs each, were then kept unchanged until slaughter. Growth under sows and post-weaning performance were measured. Post-weaning scratches were counted, and hair cortisol was measured as an indicator of chronic stress level. The overlapping behaviour of males at the end of fattening was also assessed. Early socialisation significantly decreased pre-weaning growth only in males, with no other effect on growth until slaughter. At weaning, hair cortisol was significantly lower in socialised females than in control females. Finally, as expected, early socialisation significantly decreased the aggressiveness of piglets at weaning. Altogether our data confirm that early socialisation of piglets is a tool to increase animal welfare in commercial farms.

INTRODUCTION

La socialisation précoce des porcelets en maternité est une pratique d'élevage déployée sur le terrain par certains éleveurs, principalement en agriculture biologique, avec pour objectif d'améliorer le bien-être et la santé des porcelets. En effet, les données de la littérature rapportent que la socialisation des porcelets pendant la période de lactation engendre une réduction des comportements agressifs et des lésions corporelles au sevrage (Salazar *et al.*, 2018). Il a également été démontré que la socialisation en maternité, associée au maintien des groupes sociaux établis jusqu'à l'abattage, permettait de limiter les comportements de monte et d'améliorer le bien-être des mâles entiers (Rydhmer *et al.*, 2013). Dans ce contexte, nous présentons les résultats d'un essai conduit à la station expérimentale biologique Porganic visant à analyser les effets de la socialisation précoce des porcelets sur quatre bandes de porcs charcutiers.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

L'étude porte sur quatre bandes de mises-bas en 2023 dans la station porcine biologique INRAE #porganic. Les porcelets ont été produits à partir de 38 truies Large White de parité trois de la station, inséminées avec six verrats Kador (Nucléus) en

homospermie. Au total, 433 porcelets (224 mâles, 209 femelles) ont été suivis, dont 279 socialisés (S) et 154 témoins (T).

1.2. Conduite d'élevage

A partir de 21 jours d'âge, les porcelets de cinq à six portées par bande ont eu la possibilité de se mélanger en maternité (S), leurs mères restant dans leurs cases de 10 m² avec courettes. Les autres portées ont été conduites en individuel (T) pendant toute la phase d'allaitement. Au sevrage, à 49 jours d'âge, les porcelets socialisés ont été séparés par sexe, tandis que les porcelets témoins ont été mélangés puis séparés par sexe. Dans les deux cas, les groupes d'environ 30 porcs ainsi constitués ont été maintenus en l'état jusqu'à l'abattage vers 170 jours d'âge.

1.3. Prélèvements individuels et dosage du cortisol pileire

Les porcelets ont été pesés individuellement à la naissance, à J21, au sevrage à J49 et à J70. Le nombre de griffures sur le corps des porcelets a été dénombré le jour du sevrage, puis quatre jours après, en dénombrant individuellement sur tout le corps les griffures de taille supérieure à 2 cm. Les cases de post-sevrage ont été filmées en continu : le nombre, la durée (en secondes) et l'intensité (note de 1 à 4) des combats ont été analysés pendant 15 minutes après l'entrée dans les salles. Des soies ont été prélevées par tonte sur l'encolure, à J49 et à J98, pour doser le cortisol pileire selon le protocole décrit par Gavaud *et al.* (2023). Les comportements de chevauchement

des mâles ont été évalués à J140, J150 et J160 par comptage des montes et agressions par case pendant 15 minutes, 9 h après le repas.

1.4. Analyses statistiques

Les graphiques et les analyses statistiques ont été réalisés avec le logiciel Graph Pad Prism (version 9.0). Des tests non paramétriques de Mann-Whitney ont été utilisés pour comparer les médianes. Seules les différences significatives sont indiquées sur les graphiques (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$).

2. RESULTATS - DISCUSSION

2.1. Effets de la socialisation précoce sur les performances

La mortalité sous la mère ne diffère pas entre les deux groupes, avec 10/279 porcelets socialisés morts entre 21 et 49 j contre 3/154 porcelets T (test de χ^2 , n.s.), ni celle en post sevrage qui s'élève à 0,6 %.

Comme indiqué sur la figure 1, la socialisation en maternité impacte négativement la prise de poids des individus mâles avant le sevrage. Cette différence n'est pas retrouvée chez les femelles, ni en fin de post-sevrage chez les individus des deux sexes.

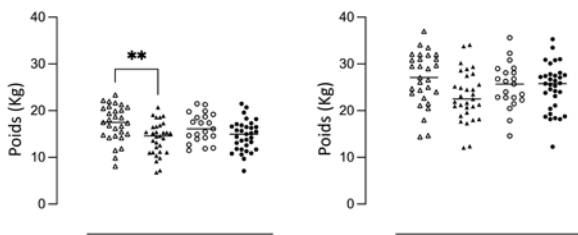


Figure 1 - Suivi des poids des porcs mâles (triangles) et femelles (cercles), socialisés (symboles pleins) ou non (symboles vides), en début (graphique de gauche) et en fin (graphique de droite) de post-sevrage. ** $P < 0,01$

2.2. Effets de la socialisation précoce sur le comportement

2.2.1. Effet de la socialisation sur les griffures au sevrage

Les griffures sont significativement plus nombreuses à J54 pour les porcelets T ($P < 0,001$). L'analyse des enregistrements vidéo confirme l'impact positif de la socialisation sur l'agressivité au sevrage, avec un temps cumulé de bagarres de 2 796 secondes pour 38 combats pour les 60 Témoins (1 626 pour les femelles et 1 170 pour les mâles) vs 130 s pour 11 combats pour les 60 socialisés (respectivement 30 et 100 s selon le sexe) pour la bande 1.

2.2.2. Effet de la socialisation sur les montes en engraissement

La socialisation n'a pas permis de limiter les comportements délétères des mâles en fin d'engraissement avec environ 10 chevauchements et bagarres relevés sur une période de 15 minutes pour les porcs S contre 8 pour les T ($P = 0,06$).

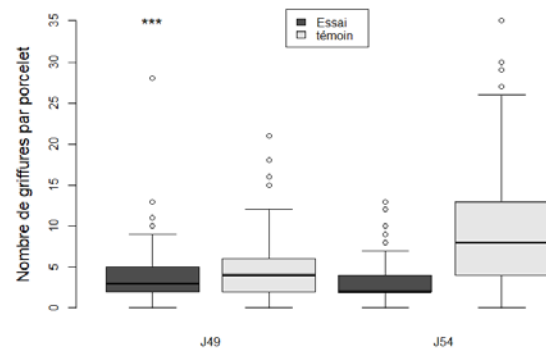


Figure 2 - Griffures, avant et après sevrage. *** $P < 0,001$

2.3. Effets de la socialisation précoce sur le stress

Comme attendu, la concentration en cortisol retrouvée dans les soies des porcs est plus importante en maternité (environ 80 pg/mg de soies accumulé jusqu'à J49) qu'aux stades physiologiques ultérieurs (environ 30 pg/mg de soies accumulé entre J49 et J98) (Figure 3). De façon intéressante, la concentration en cortisol pileire est significativement plus faible au sevrage chez les femelles socialisées par rapport aux témoins.

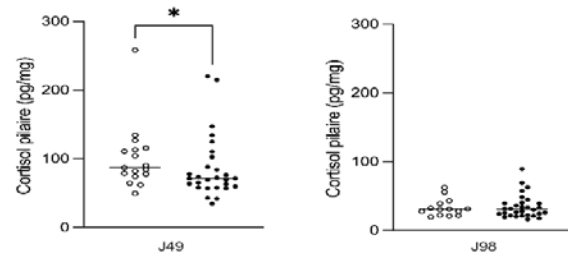


Figure 3 - Concentrations en cortisol pileire mesurées chez les porcs femelles, témoins (symboles vides) ou socialisés (symboles pleins), au sevrage à J49 (graphique de gauche) et en engraissement à J98 (graphique de droite). * $P < 0,05$

CONCLUSION

Dans notre étude, sur paille, en grandes cases, avec sevrage à 49 jours, les effets bénéfiques de la socialisation sur les performances de croissance et sur la diminution des comportements délétères des mâles non castrés n'ont pas été confirmés. Une socialisation naturelle à partir de 10-12 jours ayant été conseillée (Rydhmer *et al.*, 2013), il est possible que nos résultats soient liés à une socialisation trop tardive à 21 jours. Néanmoins, dans ces conditions, nous confirmons que la socialisation en maternité permet de diminuer de manière significative les bagarres au sevrage et le stress associé.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DeKeuwer A., Hurdebise J., Laitat M., Wawreille J., 2019. Sociabilisation des porcelets en maternité : effets sur le comportement et les performances. Journées Rech. Porcine, 51, 1-6.
- Gavaud S., Haurogné K., Buchet A., Garcia Vlnado I., Allard M., Lhébel A., Leblanc-Maridor M., Bach J.M., Belloc C., Lieubeau B., Hervé J., 2023. Effects of improved early-life conditions on health, welfare, and performance of pigs raised on a conventional farm. Animal, 17 (6).
- Rydhmer L., Lundström k., Fàbrega E., Andersson K., 2013. Elevage de porcs mâles entiers sans mélange d'animaux non familiaux. Journées Rech. Porcine, 45, 103-108.
- Salazar L., Ko H., Yang C., Llonch L., Manteca X., Camerlink I., Llonch P., 2018. Early socialisation as a strategy to increase piglets' social skills in intensive farming conditions. Appl. Anim. Behav. Sci., 206, 25-31.



Analyse approfondie des causes de mortalité des porcelets dans une maternité alternative

Sylviane BOULOT (1), Sophie AMBROIS (2), Mathilde RADEK (2)

(1) IFIP - Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex, France

(2) Le GOUessant, 1 Rue de la Jeannaie Maroué, 22400 Lamballe, France

sylviane.boulot@ifip.asso.fr

Etude financée par la région Bretagne et soutenue par Valorial et Images & Réseaux, avec le concours des éleveurs (projet EPP).

In-depth analysis of piglet mortality on a farm with alternative free-farrowing housing

Free-farrowing without any kind of restraint is associated with high rates of piglet death. As in standard housing systems, improvement relies upon analysis of causes and risk factors. Mortality rates were audited on a farm where sows farrowed freely, in straw-bedded pens with individual outdoor access (Physior® concept). A total of 71 piglets found dead between birth and 3 days of age were collected from two batches, in 2022 and 2023, and frozen. The time and place of death (indoors/outdoors), status (stillborn/born alive), and probable causes of death were recorded for each. In-depth analysis of thawed piglets included the weight, Intra Uterine Growth Retardation score (IUGR), hoof-tip status, abnormalities, wounds, or signs of crushing. Birth status and stomach contents were investigated by lung ultra-sonography and autopsy, respectively. Litter characteristics were recorded in the farm's software (Pig'UP®). Thirty-seven percent of dead piglets were true stillborn, which agreed well with on-farm records. The mean weight of dead piglets varied ($1\,270 \pm 422$ g), with few runts under 700 g (10 %), IUGR (15 %), and 37 % heavy piglets ($\geq 1\,400$ g). Live born piglets were found dead in large litters (83 % > 16 total born), mainly indoors (89 %), and the main cause was crushing (84 %). A high rate of empty stomachs (53 %), including among heavy piglets (35 %), may explain the high crushing rates. This may have been related to poor colostrum intake and/or hypothermia, as usual standard care procedures (drying, suckling assistance) are difficult to implement in this kind of housing with both free-farrowing and outdoor access.

INTRODUCTION

Les mise bas en liberté sont associées à un risque de surmortalité des porcelets (Glencorse *et al.*, 2019), mais des résultats équivalents à ceux des maternités conventionnelles sont également possibles (Weber *et al.*, 2009). Les résultats publiés pour des mise bas en liberté en bâtiment avec un accès extérieur sont rares, et concernent surtout des élevages biologiques (Prunier *et al.*, 2014). Ils sont difficiles à extrapoler et varient selon les tailles de portée et pratiques d'élevage. L'analyse des facteurs de risque de mortalité spécifiquement associés aux mise bas en liberté est essentielle pour progresser (Spörri-Vontobel *et al.*, 2023). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'intérêt d'une analyse approfondie de la mortalité néonatale dans une maternité alternative associant mise bas en liberté et accès extérieur.

1. MATERIEL ET METHODES

L'analyse a été réalisée dans un élevage « concept Physior® » équipé de maternités Schauer de type Welcon®. Les truies y sont conduites en liberté totale dans des cases individuelles paillées avec accès extérieur à des courettes couvertes.

Le bâtiment n'est pas chauffé, mais les porcelets disposent de nids paillés équipés de lampes régulées. Les truies entrent en maternité 10 jours avant leur terme spontané. Au 1^{er} semestre 2023, on a observé en moyenne 16,3 nés totaux par portée, 15,4 nés vivants et 12,3 sevrés, soit un taux de mortalité total de 24,8 %. Un audit a été réalisé sur deux bandes de mise bas les 4-7 Mai 2022 et 15-17 Mars 2023. Des porcelets morts entre la naissance et 3 jours ont été collectés et congelés en notant les dates, lieux de mort (dehors/dedans), leurs statuts (mort-né vs né vivant) et causes probables. L'examen après décongélation incluait des critères externes : poids, score de Retard de Croissance Intra Utérin (RCIU), état des onglons, sexe, signes d'écrasement, de blessures ou d'anomalies. Le statut réel à la naissance a été déterminé par échographie des poumons (Boulot *et al.*, 2016) et la présence de lait dans l'estomac recherchée par autopsie. Les caractéristiques des portées d'origine ont été extraites du logiciel Pig'UP®. L'exactitude des enregistrements a été évaluée en confrontant les déclarations et les résultats des examens. La mortalité (causes, moment) a été analysée en lien avec les caractéristiques des porcelets, de leurs portées de naissance et selon les bandes à l'aide de tests de Chi2 ou Fisher exact.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Au total, 71 porcelets ont été examinés, soit 50 % des morts des deux bandes. Ils ont été collectés auprès de 30 truies de parités 1 à 4, soit 50 % des femelles. Les caractéristiques des morts étant identiques selon leurs statuts et dans les deux bandes (Chi2 $P>0,05$), les résultats sont présentés globalement pour tous les porcelets examinés. D'après les échographies, les mort-nés représentent 37 % de l'échantillon. Leur nombre est légèrement surestimé par les déclarations (46 %), ce qui est souvent le cas en liberté, en lien avec le manque de repères sur les zones de naissance. L'exactitude globale des déclarations (82 %) dépend du poids, avec 33 % d'erreurs à moins de 1 kg vs moins de 15 % au-delà. L'examen des onglons est à conseiller aux éleveurs, car il donne le statut avec une exactitude globale de 90 %. Malgré quelques erreurs de statuts, les profils et causes de mortalités déclarés ou après examen ne sont pas différents (Fisher exact, $P=0,49$).

Tableau 1 – Statuts, causes et lieux de morts des porcelets ; comparaison des déclarations et des examens

| Statut / Cause | Déclaré | Examens |
|-------------------------------|----------|-------------------------|
| | N (%) | N (%) |
| Mort-nés | 33 (46%) | 26 (37%) |
| Nés vivants | 38 (54%) | 45 (63%) |
| Ecrasés | 32 (45%) | 38 (54%) |
| Autres causes | 6 (8%) | 7 (10%) |
| <i>Ecart déclaré- examens</i> | | $P=0,49$, Fisher exact |
| Lieu de mort | N | % |
| Morts à l'intérieur matin | 54 | 78% |
| Morts à l'intérieur journée | 8 | 11% |
| Morts dehors | 8 | 11% |

En accord avec Weber *et al.* (2009), l'écrasement (84 % des nés vivants examinés) est la première cause de mortalité précoce (Tableau 1), devant d'autres causes rares ou absentes (faiblesse, anomalies, agressions, pathologies...). La majorité des porcelets sont morts à l'intérieur, le matin ou dans la journée de mise bas. Des morts ont été constatées dehors (11 %) dans les deux bandes, y compris en cas de températures basses. Il s'agissait plutôt de mort-nés, pour des portées de 12 à 20 nés totaux. Pour prévenir la mortalité associée, les motivations des sorties restent à étudier : matériaux de nidification insuffisants à l'intérieur, abreuvoirs à l'extérieur ... ? La prolificité élevée explique partiellement la mortalité. En effet, les morts ont été collectés pour 50 % et 33 % respectivement dans des portées de grandes (16 à 18 nés totaux) à très grandes tailles (> 18 nés totaux), mais aussi dans les portées plus petites (17 %). Le poids moyen des morts (1 270 ± 422 g) ne dépend pas du statut, mais diminue de 300 g dans les très grandes portées ($P<0,05$ Figure 1).

Dans cet élevage, le poids de naissance n'est sans doute pas le facteur le plus limitant vu les faibles taux de morts chétifs (< 700 g, 10 %), RCIU (15 %) et le taux élevé de porcelets lourds de plus de 1 400 g (37 %). Le taux moyen d'estomacs vides est élevé : 53 % des nés vivants. Il ne varie pas selon la taille de portée ou le sexe, mais dépend du poids de naissance (Figure 2). Ces chiffres élevés, y compris chez les porcelets de plus de 1 kg (39 %), confirment les résultats obtenus en case liberté par Hales *et al.* (2013). Le défaut de prise colostrale et les tétées manquées sont en effet considérées comme des causes primaires majeures d'écrasement. Le défaut de confort thermique est une autre cause primaire, à évaluer dans ce type d'élevage (Spörri-Vontobel *et al.*, 2023).

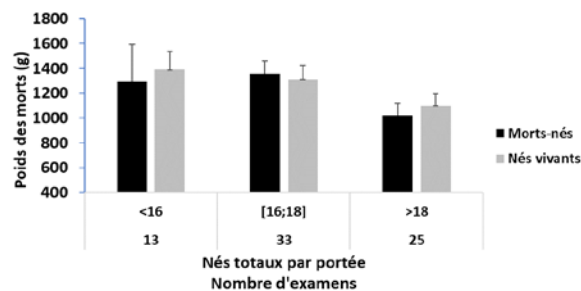


Figure 1 – Poids des porcelets morts selon leur statut et la taille de leurs portées d'origine (moyennes ± erreur-types)

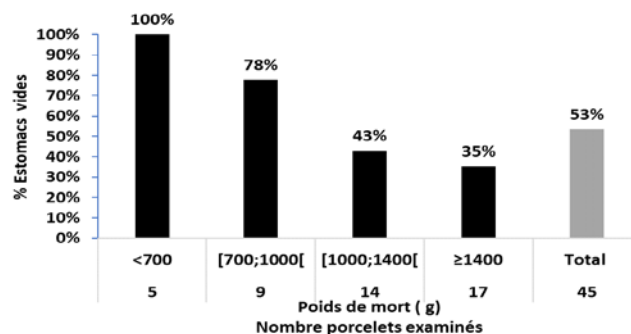


Figure 2 - Fréquence des estomacs vides chez les porcelets morts après la naissance, selon leur poids (Fisher, $P=0,024$)

CONCLUSION

Parmi les risques associés aux écrasements, le défaut de prise colostrale et l'hypothermie associée semblent être importants dans ce type de maternité alternative. En effet, leurs maîtrises (séchage, assistance aux tétées) sont plus difficiles en lien avec la liberté totale et l'accès extérieur. Les stratégies permettant de prendre en compte le comportement des truies libres et de maximiser le confort thermique des nouveau-nés sont sans doute des axes de travail prioritaires pour améliorer la survie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boulot S., Loiseau D., Richard R., Quiniou N., 2016. Vrai ou faux porcelets mort-nés : une nouvelle méthode rapide d'évaluation par échographie. Journées Rech. Porcine, 48, 253-254.
- Hales J., Moustsen V.A., Nielsen M.B.F., Hansen C. F. J., 2013. Individual physical characteristics of neonatal piglets affect preweaning survival of piglets born in a noncrated system. Anim. Sci., 91, 4991-5003.
- Glencorse D., Plush K., Hazel S., D'Souza D., Hebart M., 2019. Impact of non-confinement accommodation on farrowing performance: A systematic review and meta-analysis of farrowing crates versus pens. Animals, 9(11), 957.
- Prunier A., Dippel S., Bochicchio D., Edwards S., Leeb C., Lindgren K., Sundrum A., Dietze K., Bonde M., 2014. Characteristics of organic pig farms in selected European countries and their possible influence on litter size and piglet mortality. Org. Agr. 4, 163-173.
- Spörri-Vontobel C., Simmler M., Wechsler B., Scriba M.F., 2023. Risk factors differ for viable and low viable crushed piglets in free farrowing pens. Front. Vet. Sci., 10, 1172446.
- Weber R., Keil N.M., Fehr M., Horat R., 2009. Factors affecting piglet mortality in loose farrowing systems on commercial farms. Livest Sci 124(1-3), 216-222.



Soutenir les performances de reproduction des truies dès la mise-bas

Florian MOREAU (1), Marion BERVAS (2), Julien REDOR (1), Yann WACHE (1), Jean-Marc BENOIST (1)

(1) Techna Natual SAS, 52 Route de Vauvelle – BP 39 – Châteauneuf sur Sarthe, 49330 Les Hauts d'Anjou, France

(2) YXIA, 15 Saint Hubert, 35590 Saint Gilles, France

florian.moreau@groupe-techna.com

Supporting the reproductive performance of sows from farrowing

The course of farrowing directly impacts the postpartum health of sows, their uterine involution and consequently their reproductive performance. To support sows during peripartum and prepare them for their future reproduction, the aim of this study was to assess impacts of a dietary supplement on the course of parturition and the health and involution of the sow's reproductive system. The solution was tested in 2022 on nine farms in western France and on 716 sows divided into two equivalent batches: Trial and Control. Both batches had the same management, except for the distribution of the test solution to the Trial sows, three days before and two days after theoretical farrowing, at a dose of 30 ml per day per sow. The trial demonstrated an improvement in the course of farrowing when using the tested solution through a significant reduction in the percentage of strong assistance at farrowing (from 10.3 % to 5.0 %; $P=0.01$) and a decrease in the number of litters with more than 3 stillbirths (from 11.7 % to 6.6 %; $P=0.03$). The duration of delivery estimated using video cameras was thus significantly lower for the Trial batch (93 minutes; $P=0.002$), as was the number of sows showing signs of hyperthermia 5 days after farrowing (0.4 % vs. 3.2 %; $P=0.02$). The reproductive capacity of the uterus of the sows from the Trial group two weeks postpartum was also better according to an involution score determined using ultrasound (2.1 vs. 2.4; $P<0.001$). In contrast, a positive impact on insemination success (96.9 % vs. 95.3 %) could not be demonstrated statistically.

INTRODUCTION

Le déroulement de la mise-bas impacte directement la santé post-partum des truies, leur involution utérine et en conséquence leurs performances de reproduction (Oliviero *et al.*, 2013 ; Björkman *et al.*, 2018). Cette étude a pour objectif d'évaluer l'intérêt d'un aliment complémentaire diététique (produit test) sur le déroulement de la mise-bas, la santé et l'évolution de l'appareil reproducteur de la truie afin de la préparer à sa future reproduction.

1. MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation a été mise en place entre janvier et août 2022 au sein de neuf élevages de l'ouest de la France et sur un ensemble de 716 truies. La génétique des truies était Youna (50%), Adénia (28%) et Danol (23%). Les animaux ont été répartis en deux lots équivalents : Témoin et Essai. L'allotement a été réalisé en fonction de l'élevage, la génétique, la bande et le rang de portée. Le rang était de $3,1 \pm 2,1$ pour les 362 truies témoins et de $3,1 \pm 2,3$ pour les 354 truies essais. La prolificité était de $17,8 \pm 3,9$ porcelets par truie témoin et $17,8 \pm 3,7$ porcelets par truie essai. La conduite était identique entre les deux lots, exceptée la distribution du produit test dans l'auge des truies du lot Essai, trois jours avant et deux jours après la mise-bas, à hauteur de 30 ml par jour et par truie. Le produit test, commercialisé sous le nom X'Pulse, est constitué de pépins

de raisin, d'actée, de saule, d'achillée millefeuille, de vitamines A, D3, E, K et de sélénium.

L'intérêt du produit test a été évalué de la mise-bas à la réussite à l'insémination pour six élevages et uniquement sur le résultat de l'insémination pour trois élevages. L'évaluation sur le déroulement de la mise-bas et la santé post-partum a été réalisée sur 281 truies essais et 301 truies témoins via les pourcentages d'animaux ayant : nécessité une aide forte à la mise-bas caractérisée par la réalisation d'au moins deux fouilles, plus de trois mort-nés par portée, une perte d'appétit correspondant à une sous-consommation d'aliment par rapport au plan prévu d'alimentation, une température rectale supérieure à 39,5 °C ou des écoulements vulvaires purulents. Ces données ont été collectées dans les élevages via une fiche de suivi sur laquelle était également indiquée les traitements réalisés sur la truie. En complément, la durée entre la sortie du dernier porcelet et l'expulsion totale du placenta et des débris fœtaux a été déterminée via des caméras sur un effectif sélectionné de 68 truies, représentatives de l'ensemble des truies de l'étude en termes de conditions d'élevage, de date de mise-bas et de rang. Une notation de l'involution utérine a pu être réalisée sur 207 truies témoins et 220 truies essais via un échographe à 13 ± 3 jours post mise-bas et sans connaissance du lot de la truie par l'opérateur. Les notes étaient comprises entre un et cinq : un pour une involution complète et cinq pour aucune involution. En dernier lieu, pour toutes les truies de l'étude ayant été mises à la reproduction (96 %), le taux de fécondation en saillie première a été repris lors de la mise-bas

suivante via les informations du logiciel de gestion des truies. L'analyse statistique a été réalisée sur le logiciel R® (Version 2.6-2). Les données qualitatives, correspondant aux taux de mise-bas avec une aide forte, de portées de plus de trois mort-nés, ainsi que le pourcentage de truies avec une perte d'appétit, une hyperthermie ou des écoulements vulvaires purulents en post-partum, ont été comparées via un test du Chi² si les effectifs par modalité étaient supérieurs à cinq ou dans le cas contraire via le test exact de Fisher. Les données quantitatives correspondant aux données de durée de délivrance, du nombre de traitement par truie, de note d'involution utérine et de taux de fécondation en saillie première des élevages ont été analysées via le test de Student lorsqu'elles suivaient une distribution normale et une homogénéité des variances ou alors via le test de kruskal-wallis.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les pourcentages d'aide forte à la mise-bas et de portées avec plus de trois mort-nés sont respectivement plus faibles de 51 % et 44 % pour le lot Essai par rapport au lot Témoin. A la suite de la mise-bas, le temps de délivrance était significativement plus faible de 93 minutes pour le lot Essai par rapport au lot Témoin. Cette différence s'explique par deux raisons. La première est un meilleur déroulement de la mise-bas, puisque lors d'une aide forte, le temps de délivrance a été multiplié par deux ($P=0,007$). La seconde est un effet direct du produit test sur la durée de délivrance, puisque pour les truies sans problème de mise-bas, c'est-à-dire sans aide forte ni portée avec plus de trois mort-nés, elle est significativement plus faible pour le lot Essai de 94 minutes par rapport au lot Témoin (Tableau 1).

Tableau 1 – Critères de suivi de mise-bas et de reproduction

| Lot des truies | Témoin | Essai | P |
|--|-------------|-------------|--------|
| Aide forte à la mise-bas, % truies | 10,3 | 5,0 | 0,01 |
| Plus de 3 mort-nés, % truies | 11,7 | 6,6 | 0,03 |
| Durée de délivrance, min | 301 ± 209 | 208 ± 257 | 0,002 |
| - Mise-bas sans problème* | 281 ± 201 | 187 ± 200 | 0,005 |
| Note d'involution utérine | 2,41 ± 0,71 | 2,10 ± 0,62 | <0,001 |
| - Mise-bas sans problème* | 2,39 ± 0,70 | 2,10 ± 0,63 | <0,001 |
| Taux de fécondation en première saillie, % | 95,3 ± 3,5 | 96,9 ± 3,6 | 0,47 |

*sans aide forte et sans portée avec plus de 3 mort-nés

La durée délivrance était ensuite directement corrélée aux écoulements vulvaires purulents lors des cinq jours post-partum. Elle était multipliée par deux pour les truies en ayant ($P=0,04$). L'effet direct du produit test sur ce critère n'a pour autant pas été démontré statistiquement (Figure 1). Son intérêt est par contre significatif sur la santé des truies cinq jours après la mise-bas au travers d'une réduction de 3,2 % à 0,4 % des truies en hyperthermie ($P=0,02$). L'intérêt du produit sur ce critère est indirectement lié au déroulement de la mise-bas, puisque les truies témoins avec une aide forte ont eu 2,5 fois plus d'hyperthermie ($P<0,001$). L'effet du produit semble

également être direct, car pour les truies ayant bénéficié d'aide forte, le pourcentage d'hyperthermie avait tendance à être 69 % plus faible pour le lot essai par rapport au lot témoin ($P=0,09$), et cela, sans différence significative du nombre total de traitements vétérinaires par truie pendant les cinq jours post-partum. Ils étaient uniquement numériquement moindres de 19 % pour le lot Essai par rapport au lot Témoin.

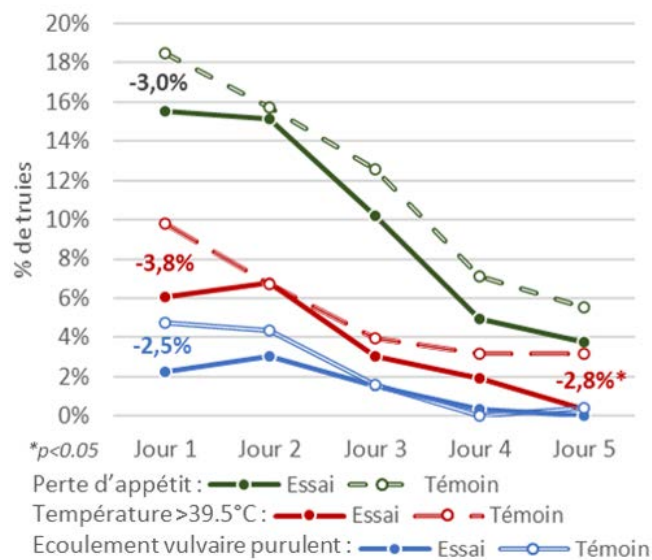


Figure 1 – Santé des truies les jours suivant la mise-bas (J0)

La note d'involution utérine est significativement meilleure de 13 % pour le lot Essai par rapport Témoin ($P<0,001$). Cela s'explique indirectement par une dégradation de 11 % de la note d'involution utérine lors d'aide forte à la mise-bas ($P=0,04$), mais également de par un effet direct du produit test puisque la note d'involution est améliorée également chez les truies sans problème à la mise-bas de 12 % ($P<0,001$). L'involution utérine tend ensuite à être corrélée au taux de fécondation en saillie première avec une note de $2,23 \pm 0,69$ pour les truies gestantes contre $2,51 \pm 0,64$ pour les non-gestantes ($P=0,07$). Cependant entre les deux lots, la différence de 1,6 % de taux de fécondation en saillie première en faveur des truies essais n'est pas significative malgré l'effet significatif du produit test sur la note d'involution utérine. Une étude sur un effectif plus important est nécessaire pour évaluer correctement l'effet du produit test sur ce critère (Tableau 1).

CONCLUSION

L'intérêt du produit test dans le soutien de la truie lors du péripartum est démontré par la diminution de 51 % des truies ayant eu besoin d'une aide forte lors de la mise-bas, de 44 % du pourcentage de portées avec plus de trois mort-nés, de 93 minutes du temps de délivrance et de 2,8 % de truies en hyperthermie à cinq jours. Les répercussions sur la future reproduction de la truie sont ensuite visibles par l'amélioration de 13 % de la note d'involution utérine. Aucune différence statistique n'a par contre pu être démontrée sur le taux de fécondation en saillie première.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Björkman S., Oliviero C., Kauffold J., Soede N. M., Peltoniemi O. A. T., 2018. Prolonged parturition and impaired placenta expulsion increase the risk of postpartum metritis and delay uterine involution in sows. *Theriogenology*, 106, 87–92.
- Oliviero C., Kothe S., Heinonen M., Valros A., Peltoniemi O., 2013. Prolonged duration of farrowing is associated with subsequent decreased fertility in sows. *Theriogenology*, 79(7), 1095–1099.



Influence de l'épaisseur de lard dorsal sur les performances des truies à la mise-bas

Charlotte TEIXEIRA COSTA (1), Céline CHEVANCE (1,2), Théo NICOLAZO (1), Justine JEUSSELIN (1,2), Valérie NORMAND (1,2), Mathieu BRISSONNIER (2), Gwenaël BOULBRIA (1,2), Arnaud LEBRET (1,2)

(1) REZOLUTION, ZA de Gohélève, 56920 Noyal-Pontivy, France

(2) Porc.Spective, ZA de Gohélève, rue Joseph et Étienne Montgolfier, 56920 Noyal-Pontivy, France

c.teixeira-costa@rezolution.fr

Influence of backfat thickness on the farrowing performance of sows

Controlling sows' body reserves is a key factor to optimize farrowing performances. The aim of this study was to describe the relationship between backfat thickness (BFT) and farrowing performances. A total of 4510 Large White x Landrace crossbred sows were included in the study. Their BFT were measured at weaning, at pregnancy diagnosis (determined by echography) and before farrowing using an ultrasonic device. Based on BFT at each stage, sows were categorized as thin, correct or fat. At the same time, all farrowing data were recorded: the number of total born (TB), the percentage of stillborn piglets and the number of weaned piglets. Reproductive performances were compared as a function of parity and BFT category using non-parametric tests. At weaning, thin sows had the highest TB, regardless of parity. For older sows, the stillborn percentage tended to decrease as BFT increased ($P = 0.06$). Similarly, thin sows before farrowing had higher TB, regardless of parity, and TB was significantly higher for gilts and sows of parities 5 and more ($P < 0.05$). Moreover, thin sows before farrowing had a higher stillborn percentage than correct and fat sows (6.8 % vs. 5.5 %, respectively). This study revealed higher prolificacy for thin sows, particularly for parities 5 and more. The results also showed that it is important to have sows in good condition before farrowing to decrease the stillborn percentage.

INTRODUCTION

Contrôler les réserves corporelles des truies est un point clé pour optimiser leurs performances. Pour cela, il est important d'ajuster régulièrement l'apport alimentaire. En effet, il est essentiel d'éviter l'engraissement ou la diminution des réserves corporelles durant la gestation (López-Serrano *et al.*, 2000). La gestation est un moment clé pour reconstituer un niveau adéquat de réserves corporelles. Il a déjà été rapporté de meilleures performances à la mise-bas lorsque les truies étaient jugées en état à l'insémination et avant mise-bas selon les références utilisées dans les différentes études (Filha *et al.*, 2009 ; Carrión-López *et al.*, 2022 ; Muro *et al.*, 2022). L'objectif de la présente étude était de décrire, à partir des données d'un élevage, la relation entre l'épaisseur de lard dorsal (ELD) et les performances à la mise-bas dans un élevage naisseur.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Données analysées

Au total, 4510 truies croisées Large White x Landrace ont été incluses dans cette étude, à partir de données collectées entre 2014 et 2021. Toutes sont issues d'une maternité collective conduite en 10 bandes toutes les deux semaines avec un sevrage à 21 jours. Les mesures d'épaisseur de lard dorsal (ELD)

ont été réalisées au sevrage, à l'échographie de diagnostic de gestation et une semaine, avant la mise-bas sur les deux côtés de la colonne à l'aide d'un appareil à ultrasons (Renco Lean-Meater®, site P2). Uniquement la mesure des deux premières couches de lard a été prise en compte. Une moyenne des deux mesures arrondie à l'unité supérieure est calculée. Les catégories utilisées pour classer les truies selon leur ELD par stade sont détaillées dans le tableau 1 et sont conformes à celles citées dans la littérature (Quiniou, 2016 ; Thongkhuy *et al.*, 2020).

Tableau 1 – Catégories d'état des truies (ELD en mm) utilisées selon leur stade physiologique

| | Sevrage | Echographie | Mise-bas |
|---------|---------|-------------|----------|
| Maigre | ≤ 12 | ≤ 12 | ≤ 14 |
| En état | 13-14 | 13-16 | 15-20 |
| Grasse | ≥ 15 | ≥ 17 | ≥ 21 |

Les pertes d'ELD en maternité (différence entre l'ELD au sevrage et l'ELD à l'entrée en maternité) au cycle précédent et le gain durant la gestation (différence entre l'ELD à l'entrée en maternité et l'ELD à l'échographie) ont également été pris en compte dans l'analyse. En parallèle, toutes les données de mise-bas à savoir, le nombre de porcelets nés totaux, le pourcentage de porcelets mort-nés et le nombre de sevrés ont été enregistrés.

1.2. Analyses statistiques

Les données ont été saisies et traitées à l'aide d'un tableur Excel. Une fois le jeu de donnée nettoyé, les analyses ont été menées à l'aide du logiciel R Studio (R Core Team, version 4.0.2). Les valeurs mesurées ont fait l'objet d'analyses descriptives (moyenne, écart-type) et d'analyses bivariées (comparaisons de moyennes). Des tests non paramétriques ont été utilisés pour comparer les performances zootechniques par rang de portée et catégories d'ELD. Les résultats étaient considérés significatifs avec une P -value $\leq 0,05$. Une P -value comprise entre 0,05 et 0,10 était considérée comme une tendance.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Description de l'échantillon

Dans cet élevage, un nombre important de données a pu être analysé compte tenu du fait que les mesures ont été effectuées sur plusieurs années (Tableau 2). Les truies ont été regroupées par rang de portée et par état corporel.

Tableau 2 – Effectifs par rang de portée et stade physiologique

| Stade | Sevrage | Echographie | Mise-bas |
|--------------|---------|-------------|----------|
| Cochettes | 699 | 711 | 736 |
| Rang 2 | 702 | 716 | 703 |
| Rangs 3-4 | 1061 | 1282 | 1100 |
| Rangs 5 et + | 959 | 1345 | 1162 |

A l'échographie, 57 % des truies étaient en état, 50 % à l'entrée en maternité et seulement 40 % au sevrage. Quel que soit le stade, le pourcentage de truies grasses oscillait autour de 20 %.

2.2. Impacts des épaisseurs de lard sur les performances à la mise-bas

Même si la littérature diverge sur la relation entre l'épaisseur de lard à un stade donné et les performances (Muro *et al*, 2022), nous avons pu mettre en évidence les résultats suivants.

2.2.1. Au sevrage

Les truies de rangs 5 et plus considérées maigres au sevrage précédent ont eu significativement plus de nés à la mise-bas que celles en état ou grasses (16,15 nés totaux contre 15,35 et 14,96 respectivement, $P < 0,001$). Cette différence n'est pas confirmée chez les truies plus jeunes. En ce qui concerne le taux de mort-nés, les truies grasses de rangs 5 et plus avaient significativement moins de mort-nés à la mise bas suivante par rapport aux truies maigres (8,51 vs 10,68 % respectivement, $P = 0,04$). Enfin, aucune différence significative n'a été démontrée concernant le nombre de sevrés.

2.2.2. A l'échographie

A l'échographie, les résultats sont moins tranchés. Néanmoins, les mêmes observations que précédemment sont visibles sur les truies de rangs 5 et plus entre les truies maigres et les truies grasses. A savoir, un nombre de nés totaux et un pourcentage de mort-nés plus élevé chez les truies maigres à l'échographie ($P < 0,01$).

2.2.3. Avant mise-bas

Globalement, on constate un nombre de nés totaux plus important chez les truies maigres avant mise-bas quel que soit le rang de portée comparé aux truies en état ou grasse (15,10 nés vs 14,86 et 14,48 respectivement). Cet effet est significatif pour les cochettes : 14,42 nés pour les cochettes maigres contre 13,57 pour les cochettes grasses ($P < 0,01$). Il en est de même pour les truies de rangs 5 et plus pour lesquelles les truies maigres font en moyenne 0,8 porcelet de plus que les truies grasses ($P = 0,02$). Pour les truies de rang 2, une tendance en faveur des truies maigres est là-aussi constatée comparé aux truies grasses ($P = 0,09$). Enfin, le constat est identique chez les truies de rangs 3 et 4 sans pour autant être significatif ($P = 0,14$). En ce qui concerne le taux de mort-nés, les truies maigres avant mise-bas avaient un pourcentage plus élevé de mort-nés (6,8 vs 5,5 % en moyenne, tous rangs de portée confondus). Chez les truies plus âgées, le taux de mort-nés a tendance à diminuer lorsque les truies sont en état ($P < 0,06$).

2.3. Variations d'état et performances à la mise-bas suivante

Aucun résultat tangible n'est ressorti des analyses en ce qui concerne un lien potentiel entre les variations d'état durant la gestation et les performances à la mise-bas. Cependant, concernant les pertes durant la lactation au cycle précédent, nos résultats soulignent un taux de mort-nés significativement plus élevé chez les truies de rangs 2 et plus qui perdent plus de quatre millimètres d'épaisseur de gras ($P < 0,01$).

CONCLUSION

Cette étude montre une prolificité plus élevée chez les truies maigres quel que soit le stade, en particulier chez les plus âgées. L'interprétation reste difficile quant au sens de la relation, mais laisse supposer que les besoins nutritionnels des truies ne sont pas couverts. Pour autant, l'analyse du lien entre l'état et le taux de mort-nés montre que tendre vers un maximum de truies en état tout au long de la gestation et en particulier avant mise-bas semble souhaitable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Carrión-López M.J., Orengo J., Madrid J., Vargas A., Martínez-Miró S., 2022. Effect of sow body weight at first service on body status and performance during first parity and lifetime. *Animals*, 12, 23-3399.
- Filha W.S., Bernardi M.L., Wentz I., Bortolozzo F.P., 2010. Reproductive performance of gilts according to growth rate and backfat thickness at mating. *Anim Reprod Sci.*, 121(1-2), 139-144.
- López-Serrano M., Reinsch N., Looft H., Kalm E., 2000. Genetic correlations of growth, backfat thickness and exterior with stayability in Large White and Landrace sows. *Livest. Prod. Sci.*, 64(2), 121-131.
- Muro B.B., Carnevale R.F., Leal D.F., Almond G.W., Monteiro M.S., Poor A. P., Schinckel A.P., Garbossa C.A., 2022. The importance of optimal body condition to maximise reproductive health and perinatal outcomes in pigs. *Nut. Res. Rev.*, 1-21.
- Quiniou N., 2016. Conséquences de l'hétérogénéité des réserves corporelles de la truie à la fin de la gestation sur le déroulement de la mise bas et les performances de lactation. *Journées Rech. Porcine*, 48, 207-212
- Thongkhuy S., Chuaychu S.H.B., Burarnrak P., Ruangjoy P., Juthamanee P., Nuntapaitoon M., Tummaruk P., 2020. Effect of backfat thickness during late gestation on farrowing duration, piglet birth weight, colostrum yield, milk yield and reproductive performance of sows. *Livest. Sci.*, 234, 1871-1413.



Développement d'un outil d'aide à la décision pour améliorer le suivi de la mise-bas et prédire le taux de mort-nés chez les truies

Charlotte TEIXEIRA COSTA (1), Gwenaël BOULBRIA (1), Christophe DUTERTRE (2), Céline CHEVANCE (1), Théo NICOLAZO (1), Valérie NORMAND (1), Justine JEUSSELIN (1), Arnaud LEBRET (1)

(1) REZOLUTION, ZA de Gohélève, 56920 Noyal-Pontivy, France

(2) Humanola, 338 route de Philondenx, 64410 Cabidos, France

c.teixeira-costa@rezolution.fr

Supervised machine learning as a tool to improve farrowing monitoring and stillborn rate in sows

A large percentage of piglet mortality is caused by stillbirths. The stillborn rate continues to increase as sow prolificacy increases. The objective of this study was to build a predictive model of stillborn rate on three farms in Brittany, France. On each farm, the number of total born (TB), born alive (BA), and stillborn (S) for a given farrowing; the same data for the previous farrowing (TB_{n-1} , BA_{n-1} and S_{n-1}), backfat thickness (BFT) just before farrowing and at weaning; and parity rank were added to a dataset. In total, 3686 farrowing datapoints were recorded. As an integrated modelling approach, Bayesian networks were used to analyse the stillborn rate using BayesiaLab® software. The first result was a hybrid model to predict the stillborn rate at farrowing. It retained three significant major risk factors: parity rank (percentage of total mutual information (MI)=64 %), S_{n-1} (MI=25 %) and TB_{n-1} (MI=11 %). The model also retained BFT just before farrowing for sows of parity five or more (MI=0.4 %). As a practical example, under the best conditions (i.e., low litter rank, less than 8 % of piglets stillborn and a prolificacy < 14 piglets at the previous farrowing), the model predicted a stillborn rate at the next farrowing of 3.5 %, nearly half the mean risk predicted for the dataset (6.5 %). Under the worst conditions, the predicted stillborn rate would be 15.7 %, 2.5 times as high. These results highlight the impact of previous prolificacy and stillborn rate on the probability of stillborn piglets. Moreover, BFT should be considered, especially on old sows. These promising results would allow farmers to manage sows according to their risk of giving birth to stillborn piglets.

INTRODUCTION

Le pourcentage de mort-nés varie énormément pouvant dépasser les 10 % dans certains cas (Schoos *et al*, 2023). Ce constat est exacerbé avec l'amélioration constante de la prolificité des truies dans les élevages. Plusieurs facteurs augmentent le risque de mort-nés en conséquence du caractère multifactoriel de la mortinatalité : la durée de mise-bas a souvent été évoquée (Langendijk et Plush, 2019). En effet, plusieurs études ont démontré que la probabilité de mortinatalité intrapartum était phénotypiquement augmentée lors de mises bas prolongées (Canario *et al*, 2006). Le risque de mort-nés résulte également d'un effet propre à la truie comme la génétique (Vanderhaeghe *et al*, 2010). Dans ce contexte, prédire le risque pour une truie d'avoir des mort-nés constitue une priorité afin de faciliter sa surveillance lors des mise-bas. La présente étude répond à cet objectif, ce projet visait à développer un modèle prédictif du taux de mort-nés chez la truie en considérant plusieurs facteurs de risque connus et facilement mesurables en élevage.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Collecte des données

Les données de deux élevages naisseurs-engraisseurs (Large White x Landrace) et un élevage naisseur (Large White x Landrace x Tai Zumu) situés en Bretagne ont été enregistrées. Dans chaque élevage, les nombres de nés totaux (NT), de nés vivants (NV), de mort-nés (MN) ainsi que le rang de portée de chaque truie ont été relevés. De même, les données à la mise-bas précédente ont été saisies : NT_{n-1} , NV_{n-1} et MN_{n-1} . Les épaisseurs de lard dorsal au sevrage précédent (ELD Sev $_{n-1}$) et avant mise-bas (ELD MB) ont également été enregistrées.

1.2. Analyses des données

L'ensemble des données a été saisi dans un tableur Excel. A partir des données enregistrées, les taux de mort-nés à la mise-bas n (%MN) et $n-1$ (%MN $_{n-1}$) ont été calculés via l'équation suivante :

$$\%MN = MN/NT$$

Les réseaux bayésiens en tant qu'approche de modélisation intégrée ont été utilisés pour analyser le taux de mort-nés à la mise-bas suivante à l'aide du logiciel BayesiaLab®.

La prise en compte conjointe de bornes utilisées communément sur le terrain et de la discrétisation proposée par le logiciel ont permis la prise en compte des catégories présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 – Catégories utilisées pour la création du modèle¹

| Variables | Catégories retenues |
|--------------------|---|
| Rang de portée | Cochettes et rang 2 Rangs 3 et 4 Rangs 5 et plus |
| %MN _{n-1} | %MN _{n-1} ≤ 8 % 8 % < %MN _{n-1} ≤ 15 % %MN _{n-1} > 15 % |
| NT _{n-1} | NT _{n-1} ≤ 14 porcelets 14 < NT _{n-1} ≤ 18 porcelets NT _{n-1} > 18 porcelets |
| ELD MB | ELD ≤ 15 mm ELD > 15 mm |

¹Le choix des catégories est un choix arbitraire basé sur l'expérience.

La validation croisée K-Folds a été utilisée dans le cadre de l'apprentissage supervisé avec K différents ensembles d'apprentissage. Dans cette étude, la couverture de Markov a été choisie comme algorithme d'apprentissage avec K=10 comme nombre de sous-échantillons à analyser.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Création du modèle

Au total, 3686 données de mise-bas ont été enregistrées. Le modèle retenu (Figure 1) inclut trois facteurs de risque significatifs pour la prédiction du taux de mort-nés : à savoir, le rang de portée, le taux de mort-nés et le nombre de nés totaux à la mise-bas précédente. L'épaisseur de lard dorsal avant mise-bas s'est avéré être un facteur de risque significatif uniquement pour les truies de rangs 5 et plus.

Les divergences de Kullback-Leibler (KL) ou pourcentages d'information mutuelle, ont été utilisées pour mesurer la force des relations entre deux variables. Le rang de portée est la variable la plus informative (KL = 64 %). Les variables NT_{n-1} et %MN_{n-1} contribuent de manière intermédiaire à expliquer le taux de mort-nés (KL = 24 % et KL = 11 % respectivement). Enfin, l'ELD avant mise-bas explique peu la probabilité d'avoir des mort-nés (KL = 0,4 %) lorsque l'on considère la population globale mais est significative pour les truies de rangs 5 et plus, il parut donc pertinent de l'ajouter au modèle.

La précision du modèle (rapport du nombre de prédictions correctes sur le nombre total de prédictions effectuées) est de 72 %. Il s'agit d'une précision élevée pour une étude zootechnique dans laquelle peu de paramètres sont pris en

compte. En effet, on peut imaginer qu'avec un nombre de données explicatives plus important (génétique, conduite, saison, etc.), la précision du modèle aurait été encore plus élevée. Or, dans cette étude, nous avons accordé une attention particulière à la prise en main sur le terrain, un modèle avec plus de variables aurait certainement compliqué sa mise en œuvre.

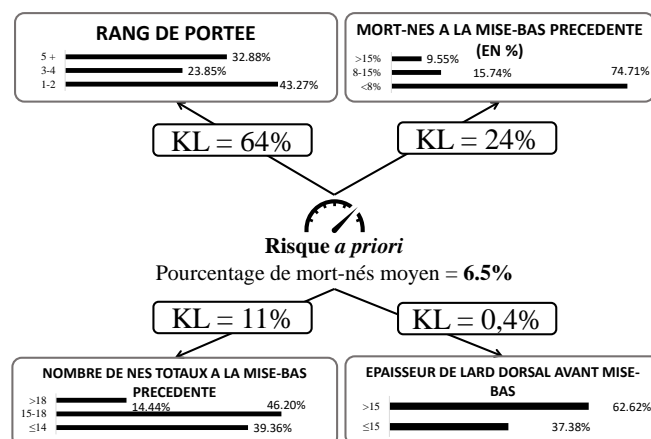


Figure 1 – Modèle final retenu

2.2. Scénarios probabilistes

L'objectif de cette étude était d'actualiser la grille de Blackwell publiée en 1987 (Blackwell, 1987). Les résultats de nos travaux ont permis de mettre en évidence de nouveaux écarts à la moyenne basés sur le risque *a priori*. Celui-ci correspond au taux de mort-nés moyen fixé à 6,5 % dans notre jeu de données. Grâce au modèle final retenu, on constate que dans les meilleures conditions (i.e. faible rang de portée, %MN_{n-1} < 8 % et NT_{n-1} < 14), le taux de mort-nés est presque divisé par deux, faisant passer le risque pour une truie de 6,5 % à 3,5 % à la mise-bas suivante. A l'inverse, dans des conditions détériorées (truies âgées, ELD < 15 mm, %MN_{n-1} > 15 % et NT_{n-1} > 18 porcelets), le risque serait multiplié par 2,5, passant de 6,5 % à 15,7 %.

CONCLUSION

A notre connaissance, il s'agit du premier modèle probabiliste mettant à jour la grille de Blackwell. Les résultats de cette étude mettent en évidence l'impact de la prolificité et du taux de mort-nés à la mise-bas précédente sur la probabilité de mortinatalité. De plus, l'importance de l'épaisseur de lard dorsal, en particulier chez les truies âgées, est à prendre en considération. Les résultats obtenus font de ce modèle un outil précis, innovant et facile à utiliser (peu de données d'entrée nécessaires). Pour les éleveurs, ce modèle permettra d'avoir la liste des truies à risque pour chaque bande. Ainsi, des mesures de gestion et de suivi pourront être priorisées pour ces truies dans un objectif de réduction de la douleur et de la mortinatalité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blackwell T.E., 1987. Predicting stillborn problems. J. Swine Health Prod. F371:371–373.
- Canario L., Roy N., Gruand J., Bidanel J.P., 2006. Genetic variation of farrowing kinetics traits and their relationships with litter size and perinatal mortality in French Large White sows. J. Anim. Sci., 84, 1053-1058.
- Langendijk P., Plush K., 2019. Parturition and Its Relationship with Stillbirths and Asphyxiated Piglets. Animals, 9, 11, 885.
- Schoos A., Muro B.B.D., Carnevale R.F., Chantziaras I., Biebaut E., Janssens G.P.J., Maes D., 2023. Relationship between piglets' survivability and farrowing kinetics in hyper-prolific sows. Porc. Health. Manag. 9, 37.
- Vanderhaeghe C., Dewulf J., Ribbens S., de Kruif A., Maes D., 2010. A cross-sectional study to collect risk factors associated with stillbirths in pig herds. Anim. Reprod. Sci., 118, 62-68.



Température corporelle des truies en lactation : état des lieux en lien avec les performances zootechniques, les apports nutritionnels et les paramètres sanguins

Paul COUËLLAN, Amélie GILET, Anne DURAND, Thierry SOLIGNAC

EUREDEN, 22402 Lamballe, France

thierry.solignac@eureden.com

Body temperature variations in lactating sows: observations and relations to performance, feed intake and blood parameters

An increase in the body temperature of sows can result from pathologies or physiological processes. Their body temperature is often monitored for one week after farrowing but is otherwise rarely measured. We performed a survey to assess the distribution of body temperatures of lactating sows and study the relation between body temperature and sow performances. A total of 255 sows (TaiZumu x Large White x Landrace) and their litters were monitored during lactation. Rectal temperatures of sows and feed intake were recorded daily. Haptoglobin was measured mid-lactation via blood samples. The sows and their piglets were weighed at the beginning and end of lactation. The population was divided into three groups as a function of body temperature at mid-lactation (T^+ = mean of 38.8 °C; $T^{+/-}$ = mean of 38.3 °C; T^- = mean of 37.9 °C). T^+ sows were younger ($P < 0.01$), lighter ($P < 0.01$), weaned more piglets ($P < 0.05$) and consumed more feed at mid-lactation ($P < 0.01$) than T^- sows. In this situation, the rise in body temperature could be related to metabolic heat production (in agreement with Klopfenstein *et al.* (1999)). The population was also divided into two groups as a function of the haptoglobin level at mid-lactation ($HP^+ > 2.0$ g/L; $HP^- \leq 2.0$ g/L). HP^+ sows had a lighter litter weight at weaning ($P < 0.05$) and lower feed intake during lactation ($P < 0.05$) (in agreement with Kyriazakis and Doeschl-Wilson (2009)) than HP^- sows, but their body temperature did not differ (unlike Tesch *et al.* (2018), who observed a close correlation between temperature and inflammatory markers).

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, le nombre de nés totaux par portée augmente et les truies sont très sollicitées en maternité. La température rectale des truies souvent mesurée en élevage sur la première semaine post-partum n'est que peu documentée en milieu de lactation. Les élévations de température corporelle relevées sur les truies en lactation pourraient être liées à différents phénomènes comme l'inflammation ou encore la production de chaleur d'origine métabolique. Il est nécessaire de comprendre les variations de températures corporelles afin d'accompagner au mieux les truies durant leur lactation.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux, logement, alimentation

Afin d'évaluer la distribution des températures corporelles des truies en lactation et d'étudier la relation entre la température corporelle et les performances des truies, une étude a été réalisée sur 255 truies et leur portée dans un élevage commercial. Les truies de type génétique TaiZumu x LargeWhite x Landrace croisées avec un verrat Piétrain NN, réparties sur 7 bandes (environ 37 truies par bande) ont un rang moyen de portée de 3,5. Les truies sont logées en cases de maternité

standard disposant d'un alimentateur individuel automatique (Maternéo, Asserva). Ce système permet de connaître précisément la quantité d'aliment consommée quotidiennement étant donné qu'une dose d'aliment n'est délivrée que si la précédente a été ingérée.

1.2. Mesures et prélèvements réalisés

La température rectale des truies a été mesurée à différents moments : à la mise-bas (MB), à 12, 13 et 14 jours de lactation à l'aide d'un thermomètre digital (Kruuse 291128).

Les truies ont été pesées en début et fin de lactation sur la balance de l'élevage (Visiperf, Asserva, marge d'erreur : 1 kg). Les porcelets ont été pesés à 28 jours d'âge sur cette même balance. La balance était tarée préalablement à chaque pesée.

Des prélèvements sanguins réalisés à 13 jours de lactation ont permis de doser l'haptoglobine par colorimétrie (kit TP-801) au laboratoire Labeo 50 (Caen, 14). Une sous-population de 92 truies a été sélectionnée : la moitié avec une température corporelle $< 38,5$ °C et l'autre moitié avec une température corporelle $> 38,5$ °C au moment du prélèvement. La même distribution des rangs de portée a été respectée dans les deux groupes de truies prélevées.

1.3. Calculs réalisés

Les températures rectales mesurées à 12, 13 et 14 jours de lactation ont permis de calculer une température corporelle moyenne en milieu de lactation.

Les relevés quotidiens d'aliment ingéré ont permis de calculer une consommation moyenne journalière (CMJ) à différents stades (MB, milieu de lactation basée sur la moyenne des CMJ entre 12 et 14 jours de lactation) et sur la lactation entière.

1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec R Studio (R Core Team, 2021). Des analyses de variances ont été effectuées ainsi que des tests de comparaisons de moyenne post-hoc entre les catégories de truies suivantes (Test de Student ou Wilcoxon quand 2 variables, ANOVA ou Kruskal Wallis quand plus de 2 variables). D'une part, les 255 truies ont été réparties en tiers égaux selon leur température corporelle en milieu de lactation. D'autre part, la sous-population de 92 truies a été segmentée en deux groupes selon la médiane du niveau d'haptoglobine sanguin à 13 jours de lactation.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Elévation de température corporelle et métabolisme

La température en milieu de lactation suit une loi normale ($P > 0,05$) avec une moyenne de 38,4 °C. Un tiers des truies ont une température corporelle en milieu de lactation $> 38,5$ °C. Le groupe de truies T°- présente une température corporelle à 15 jours de lactation de 37,9 °C de moyenne, alors le groupe T°+ est à 38,8 °C en moyenne (Tableau 1).

Tableau 1 – Caractéristiques et performances des truies segmentées suivant leur température corporelle en milieu de lactation (n = 255)

| | T°- % inf. | T°+/- % int. | T°+ % sup | P-value |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| NB de truies | 85 | 85 | 85 | |
| T° milieu lactation (°C) | 37,9 ^c | 38,3 ^b | 38,8 ^a | < 0,01 |
| Rang | 4,4 ^a | 3,7 ^b | 2,3 ^c | < 0,01 |
| Poids entrée (kg) | 277 ^a | 259 ^b | 233 ^c | < 0,01 |
| Nés totaux par portée | 17,5 | 17,5 | 16,7 | NS |
| Sevrés par portée | 12,6 ^b | 13 ^{ab} | 13,2 ^a | < 0,05 |
| CMJ milieu lactation (g/j) | 5984 ^b | 6553 ^a | 6617 ^a | < 0,05 |

Derrière ces observations, il est possible de mettre en lien le concept de production de chaleur métabolique énoncé par Klopfenstein *et al.* (1999). Ainsi, la CMJ élevée associée à une température corporelle élevée (les truies T°+ ont une CMJ en

milieu de lactation de +633 g que les truies T°- ($P < 0,01$)) peut être considérée comme l'indicateur d'une production de chaleur métabolique additionnelle provenant de l'activité digestive. Cette forte CMJ permettrait d'assurer les bonnes performances en lactation au vu des truies T°+ (elles sèvrant +0,6 porcelets que les truies T°- ($P < 0,05$)), mais aussi leur croissance corporelle car ces truies sont également plus jeunes ($P < 0,01$) et plus légères ($P < 0,01$).

2.2. Elévation de température corporelle et inflammation

Par ailleurs, l'haptoglobine étant une des protéines de la phase aigüe de l'inflammation, ce paramètre a été mesuré sur des prélèvements sanguins à 13 jours de lactation. Le groupe de truies HP+ présente un niveau d'haptoglobine sanguin à 13 jours de lactation de 2,4 g/L en moyenne, alors le groupe HP- est à 1,5 g/L en moyenne ($P < 0,05$) (Tableau 2).

Tableau 2 – Caractéristiques et performances des truies segmentées suivant leur niveau d'haptoglobine sanguin à 13 jours de lactation (n = 92)

| | HP- | HP+ | P-value |
|----------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| NB de truies | 44 | 48 | |
| Haptoglobine (g/L) | 1,5 ^b | 2,4 ^a | < 0,05 |
| Rang | 3,0 | 2,6 | NS |
| Nés totaux par portée | 17,5 | 17,4 | NS |
| Sevrés par portée | 13,3 | 12,8 | NS |
| Poids portée sevrée (kg) | 94,3 ^a | 84,7 ^b | < 0,05 |
| CMJ milieu lactation (g/j) | 6302 ^a | 5732 ^b | < 0,05 |
| CMJ lactation (g/j) | 5719 ^a | 5215 ^b | < 0,05 |
| T° milieu lactation (°C) | 38,4 | 38,5 | NS |

Une hyperthermie traduit habituellement une réaction du système immunitaire comme l'ont observé Tesch *et al.* (2018). Néanmoins, les truies HP+ ne se distinguent pas par une température corporelle plus élevée. Les truies HP+ ont une faible CMJ (-504 g que le groupe HP- ($P < 0,05$)) et de moindres performances (elles sèvrant un poids de portée plus léger que les truies HP- ($P < 0,05$)), ce qui concorde avec les travaux de Kyriazakis et Doeschl-Wilson (2009) associant une diminution de l'ingestion à des problèmes de santé sur les truies.

CONCLUSION

Cette étude confirme la présence d'élévations de la température corporelle en milieu de lactation chez certaines truies. Ces résultats abondent en faveur d'une production de chaleur en milieu de lactation qui n'est pas nécessairement associée à une inflammation. Ce travail en appelle d'autres, notamment sur la consommation d'aliment en lactation qui semble être un des critères majeurs pour sevrer plus.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Klopfenstein C., Farmer C., Martineau G. P., 1999. Diseases of the mammary glands and lactation problems. In: B. E. Straw, S. D'allaire, W. L. Mengeling, D. J. Taylor (Eds), Diseases of swine, 833–860.
- Kyriazakis I. and Doeschl-Wilson A. B., 2009. Anorexia during infection in mammals: variation and its sources. In: D. Torrallardona, & E. Roura (Eds), Voluntary feed intake in pigs, 305-320. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Tesch T., Bannert E., Kluess J., Frahm J., Hüther L., Kersten S., Breves G., Renner L., Kahlert S., Rothkötter H. J., Dänicke S., 2018. Relationships between body temperatures and inflammation indicators under physiological and pathophysiological conditions in pigs exposed to systemic lipopolysaccharide and dietary deoxynivalenol. J. Anim. Physiol. An. N., 102(1), 241–251

Comportement de couchage des truies libres dans une case de maternité liberté équipée d'un sol différencié

Nicolas VILLAIN et Yannick RAMONET

Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex, France

nicolas.villain@bretagne.chambagri.fr

Behaviour of free sows in a temporary crating pens equipped with multiple types of flooring

In France, new farrowing units are now equipped mainly with systems that allow sows to move around during part of their lactation. Farrowing rooms at the Crecom experimental farm were equipped with new temporary crating pens in 2020, and initial performance results were presented at the JRP (Bertin *et al.*, 2020). In the present study, the lying behaviour (i.e. head direction, flooring use and duration) of 10 sows from two batches was studied on 6 days between the opening of the crate and weaning. The pens at Crecom have multiple types of flooring (i.e. concrete, plastic slatted, metal grid, plain rubber) to help the animals define functional zones for activity, rest and excretion. The mean number of daily lying events was 20.5 per sow, with a mean duration of 16.8 minutes each. Sows used different types of flooring when lying. The concrete floor was used the most (70.6 % of lying duration), followed by the plastic slatted floor (61.5 %), plain rubber floor (52.9 %) and metal grid floor (46.3 %). Even when resting, the sow looked at their piglets, as lying facing the nest represented 57.8 % of lying duration, while lying facing away from the nest represented only 10.5 %. Statistical analysis showed that lying duration depended on the sow and its head direction ($P < 0.01$). These results show that sows express lying preferences for both type of flooring and head direction. Further research is needed on other behaviours (e.g. activity, excretion) to understand how pen characteristics influence sows' use of space.

INTRODUCTION

Par crainte d'une éventuelle évolution réglementaire ou d'une impossibilité d'accès au marché, de plus en plus d'éleveurs s'équipent de cases de maternité permettant de libérer la truie pendant une partie de sa lactation (Bertin *et al.*, 2020). Actuellement, en France, plus de 10 000 cases de ce type sont installées et en fonctionnement en élevage. Afin de concevoir un système performant, adapté aux animaux et aux éleveurs, de nombreuses décisions doivent être prises concernant (1) le matériel : le type de case, sa surface, le type de sol, les protections pour porcelets ou (2) la conduite : températures, sécurité du personnel, relation Homme-Animal (Baxter *et al.*, 2022). Dans des cases permettant la liberté de la truie, le sol doit être adapté à la fois à la truie et à ses porcelets. En fonction de ses caractéristiques et en lien avec la surface de la case, il doit également permettre de délimiter des zones fonctionnelles (repos, alimentation, déjection) (Baxter *et al.*, 2011). En parallèle, les pertes par écrasement sont une problématique majeure dans ce type de case. Ceux-ci ont la plupart du temps lieu lors de couchages de la truie ou de roulades d'une position couchée à une autre (Weary *et al.*, 1996). L'objectif de ce travail exploratoire est d'étudier le comportement de couchage de la truie en liberté dans une case avec différents types de sol. Une bonne connaissance des choix de couchage des animaux pourrait permettre d'utiliser la mise en place des sols pour aiguiller le comportement des truies et réduire le risque de pertes par écrasement.

1. MATERIEL ET METHODES

Ce travail exploratoire a été mené à la station porcine des Chambres d'agriculture de Bretagne à Crecom. Elle est équipée de cases de maternité liberté d'une superficie de 6,6 m² (2,45 m x 2,7 m) dont 4,3 m² disponible pour la truie une fois les bat-flancs ouverts. La case est équipée de quatre types de sol dans la partie accessible à la truie : (1) un caillebotis béton situé au niveau de l'emplacement de la cage lorsqu'elle est fermée, (2) un caillebotis fil en fond de case, (3) une zone de sol plein en caoutchouc en milieu de case et (4) un caillebotis plastique antidérapant dans le reste de la case (Figure 1).



Figure 1 - Agencement des types de sol dans les cases de maternité à la station expérimentale de Crecom

Les données ont été collectées entre avril et juillet 2023, sur deux bandes de cinq truies chacune, à l'aide de Caméras Time Lapse Brinno réglées pour prendre une photo toutes les 30 secondes. Les données de comportement sont récoltées sur

6 jours : le jour de la libération (J) – en moyenne $4,2 \pm 0,9$ jours après la mise-bas –, J+1, J+2, J+9, J+16, J+22. Pour chaque jour, les données sont récoltées sur une période de 10 heures, de 8h à 18h. On définit un couchage comme un événement continu où la truie a le corps en contact avec le sol. Il débute par une action de couchage et se termine soit par le passage à la position assise (1) ou debout (2), soit par un changement de direction de la tête (3). Pour chaque couchage, les paramètres suivants sont relevés : (1) direction de la tête de la truie, (2) nombre et type de sols utilisés et (3) durée du couchage. Un sol est considéré comme utilisé par la truie si au moins un cinquième de sa surface corporelle est en contact avec ce sol. L'emplacement des écrasements pour les truies étudiées est également relevé. Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel R (v 3.4.1) par analyse de la variance à plusieurs facteurs pour les effets du jour, de la direction et de la truie sur le temps passé couché et du Chi2 pour la corrélation entre le type de sol utilisé et la direction de la tête.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les truies de l'échantillon ont un rang moyen de $3,6 \pm 2,3$ [min 1 – max 7]. A la libération, elles ont en moyenne $13,5 \pm 1,1$ porcelets. Cinq porcelets sont écrasés en mode liberté par trois truies au cours de la période d'observation. Le faible nombre et la diversité des emplacements ne permettent pas d'identifier une zone à risque.

Le nombre moyen de couchage quotidien est de 20,5 couchages par truie et par jour [min 2 – max 51]. La durée moyenne d'une séquence de couchage est de $16,8 \pm 18,9$ minutes [min 1 – max 201]. Les truies utilisent en moyenne $2,5 \pm 1,0$ types de sol différents lors d'un couchage. Le béton est le sol le plus utilisé devant le caillebotis plastique, le sol en caoutchouc plein et le caillebotis fil avec respectivement 70,6 %, 61,5 %, 52,9 % et 46,3 % du temps total de couchage. La direction de la tête lors des couchages est résumée sur la figure 2. Le couchage avec la tête de la truie orientée vers l'auge ou le nid représentent 57,8 % du temps de couchage total alors que le couchage tête opposée au nid ne cumule que 10,5 % de ce temps. Le type de sol utilisé est très fortement lié à la position prise par la truie lors du couchage (Chi2, $P < 0,01$). L'analyse de la variance n'indique pas d'effet du jour sur le temps passé couché. Le temps passé couché varie significativement en fonction de la truie, de la direction de la tête et de leur interaction ($P < 0,01$).

Les différents types de sol mis en place sur la station de Crécom avaient pour objectif, entre autres, d'aiguiller le comportement de couchage de la truie. Si, en moyenne, le sol béton est bien utilisé, il existe une différence importante de comportement entre truies. L'analyse des vidéos semble montrer des préférences de certaines truies pour une position spécifique de couchage (emplacement dans la case et direction de la tête) sans qu'il soit possible de savoir si le choix est déterminé par le

type de sol, la position dans la case ou la possibilité de surveiller un endroit spécifique. D'autres facteurs peuvent expliquer ces comportements. Ainsi, les truies apprécient d'avoir un support pour se coucher (Baxter *et al.*, 2011). La taille des truies pourrait expliquer également une partie des comportements de couchage proches des parois ou des bat-flancs comme étudié dans les travaux de Moustsen *et al.* (2012). Le couchage de truies sur un type de sol peut aussi être modifié en fonction de facteurs externes comme la température de la salle. Dans une période plus chaude, les truies auront tendance à rechercher le frais sur du caillebotis béton ou sur le caillebotis fil métallique.

Il est intéressant de noter que les truies se couchent régulièrement avec la tête en direction du nid, quand ce n'est pas directement au contact avec les porcelets. Une des critiques des cages en maternité est en lien avec la réduction des possibilités d'interactions entre les truies et leurs petits. Ces premières données semblent indiquer que la truie cherche également le contact avec ses petits dans les phases de repos.

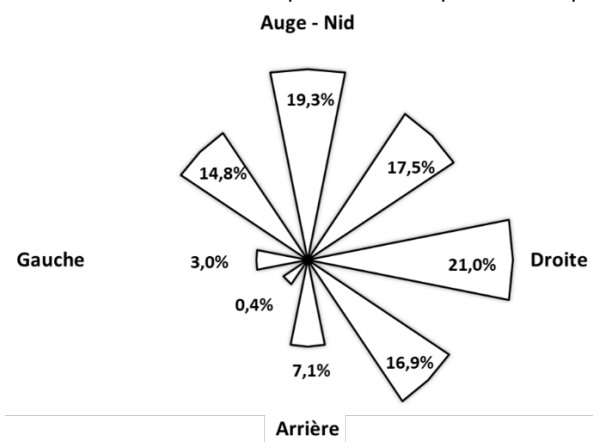


Figure 2 - Pourcentage du temps total de couchage par direction de la tête

CONCLUSION

Ce travail exploratoire montre que les truies expriment des préférences individuelles de couchage. L'étude d'autres paramètres comportementaux (utilisation de supports (bat-flancs/parois/barres), zones de déjections) permettra encore d'augmenter notre compréhension de l'utilisation de l'espace par les animaux.

REMERCIEMENTS

Ce projet est conduit avec la contribution financière du Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural, dans le cadre des Programmes National et Régional de Développement Agricole et rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baxter E.M., Lawrence A.B., Edwards S.A., 2011. Alternative farrowing systems: design criteria for farrowing systems based on the biological needs of sows and piglets. *Animal*, 5, 580-600.
- Baxter E.M., Moustsen V.A., Goumon S., Illmann G., Edwards S.A., 2022. Transitioning from crates to free farrowing: a roadmap to navigate key decisions. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
- Bertin C., Villain N., Ramonte Y., 2020. Truies libres en maternité : retours d'expériences dans cinq élevages équipés. *Journées Rech. Porcine*, 52, 401-402.
- Videncenter For Svineproduktion, Den Rullende Afprøving, 2012 Sørers ligge- og gødeadfærd i en kombisti. Landsudvalget for Svin: Danske Slagterier. Moustsen V.A., Rasmussen J., Pedersen J.H., 15p.
- Weary D.M., Pajor E.A., Fraser D., Honkanen A-M., 1996. Sow body movements that crush piglets: a comparison between two types of farrowing accommodation. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 49, 149-158.



Comparaison de trois types de cases en maternité : effet sur le déroulement des mises bas, l'allaitement et l'activité des animaux au moment de la libération

Valérie COURBOULAY, Valentine GLEVAREC, Sylviane BOULOT

IFIP-Institut du Porc, BP 35104, 35651 LE RHEU cedex, France

valerie.courboulay@ifip.asso.fr

Effects of three pens for lactating sows on parturition, lactation and activity at the time of release

Several types of pens are available in farrowing rooms, but there is little information about the impact of these pens on farrowing, suckling, and animal behaviour. In five successive batches, nine sows were divided equally among three types of pens in a farrowing room: a standard pen with permanent crating (B) or pens with temporary crating (from the Monday of the farrowing week until 5 days after farrowing) that had a lift function active either throughout the confinement phase (AL) or not (L). The pens were video recorded. The duration of farrowing and the time taken for piglets no. 1, 5, 9, and 13 to access a teat were recorded. The percentage of piglets in the comfort zone was observed for 24 hours after the end of farrowing. On day 5 (before opening the crates), 6, and 8, the percentage of piglets in the area accessible to the sow (mixed zone) was recorded for 4 hours, as was the sow's posture and the duration of suckling. The duration of farrowing and the time to access a teat were longer for AL, but did not differ significantly among treatments. It took more time for piglet no. 1 to access a teat than for the other piglets, in particular piglets no.9 ($P < 0.05$). Access to the comfort zone increased during the 24 hours after birth, but the nest was less attractive than a heating lamp placed near the sow. After the crate was opened, sows spent more time standing, and more piglets were observed in the mixed zone than before ($P < 0.01$). These preliminary results need to be confirmed by additional observations.

INTRODUCTION

Avec l'apparition ces dernières années de cages ascenseur et de cases liberté, différents systèmes de logement sont désormais proposés aux éleveurs pour les truies en maternité. Il y a néanmoins peu de données concernant l'impact de ces systèmes sur le déroulement des mises bas (MB), l'allaitement et le comportement des animaux. L'objet de cette étude est d'apporter des premiers éléments de réponse en comparant trois systèmes : cases de MB standard (B) ou cases de MB liberté avec contention partielle et possibilité (AL) ou non (L) d'utiliser une fonction ascenseur.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Conditions expérimentales

L'essai est réalisé à la station expérimentale de Romillé qui dispose de deux salles de maternité de 24 places équipées de cases de MB liberté de 6,5 m². La plateforme sur laquelle est fixée la cage de contention est mobile, monte lorsque la truie se lève et s'abaisse lorsque la truie se couche, afin de limiter les risques d'écrasement de porcelets. Dans chaque bande de 24 truies, 16 sont logées dans ces cases, avec une période de contention allant du lundi de la semaine de MB (entrée le jeudi précédent) jusqu'à cinq jours après la MB. Pour la moitié de ces truies, la fonction ascenseur est activée sur l'ensemble de la période de contention (traitement AL), le traitement L correspondant aux huit autres truies. Les huit autres cases des maternités sont modifiées en retirant le nid à porcelets et en réduisant leur largeur pour obtenir une surface de 4,7 m²,

proche des cases standard (traitement B). Les truies logées dans ces cases sont en contention permanente et la fonction ascenseur n'est pas activée. Au moment de la mise-bas, un tapis est placé à l'arrière de l'ensemble des truies pour isoler les porcelets du froid. Pour les cases AL et L, les porcelets disposent d'un nid de 1 m² sur dalle plastique, couvert et chauffé, et le jour de la MB, d'une lampe placée au-dessus du caillebotis plastique sur le côté de la truie. Les cases B comportent un tapis placé sur le caillebotis plastique parallèlement à la truie, surmonté d'une lampe régulée. La zone de confort des porcelets correspond à ces zones chauffées. Ce dispositif a été répété sur cinq bandes successives.

1.2. Mesures

Dans chaque salle, des caméras sont positionnées au-dessus de trois cases par traitement. Des enregistrements sont réalisés au moment des mise-bas (J0) et jusqu'à 24h après l'expulsion du dernier porcelet, ainsi que sur la période d'ouverture de cages, pendant 4h : le matin de l'ouverture (J5), à J6 et J8. Le nombre de porcelets nés ainsi que l'heure de naissance des 1^{er}, 5^{ème}, 9^{ème}, 13^{ème} et derniers porcelets sont relevés. Le temps mis par les porcelets 1, 5, 9 et 13 pour accéder à la mamelle est noté. Le nombre de porcelets occupant les zones de confort est relevé toutes les 10 min pendant les 24h suivant la fin de la mise-bas. Pour les trois séries d'observation au moment de l'ouverture des cages, le nombre et la durée des allaitements sont notés ; la posture des truies, ainsi que l'occupation de la zone mixte (accès truie et porcelets) par les porcelets est notée toutes les 5 min pendant 4h.

1.3. Analyse des données

Les données sont analysées avec le logiciel R (version 4.3.1). Les variables durées de MB, temps d'accès à la mamelle, nombre et durée des allaitements à J5, J6 et J8 ont été transformées (log) et analysées sous R avec un modèle linéaire. Le modèle prend en compte le traitement, le numéro de naissance du porcelet et l'interaction comme effet fixe ainsi que la durée de MB comme co-variable pour l'analyse des temps d'accès à la mamelle. Le logement seul est pris en compte pour l'analyse de la durée de MB, avec le jour et l'interaction traitement X jour pour le suivi des allaitements autour de l'ouverture de la cage. Les effets bande et truie sont testés comme variables aléatoires et retirés s'ils ne sont pas significatifs. Un test de Kruskal-Wallis est utilisé pour comparer les effets du logement sur le pourcentage de porcelets fréquentant la zone de confort. Les valeurs indiquées sont les moyennes et écart-types bruts.

2. RESULTATS – DISCUSSION

2.1. La mise-bas

Compte tenu d'aléas expérimentaux (MB avant la phase de contention, problèmes mécaniques, assistance aux porcelets) les observations concernant l'accès à la mamelle ont été réalisées sur 14, 14 et 11 truies respectivement pour les traitements B, L et AL, et sur 14, 14 et 15 truies par traitement après la MB.

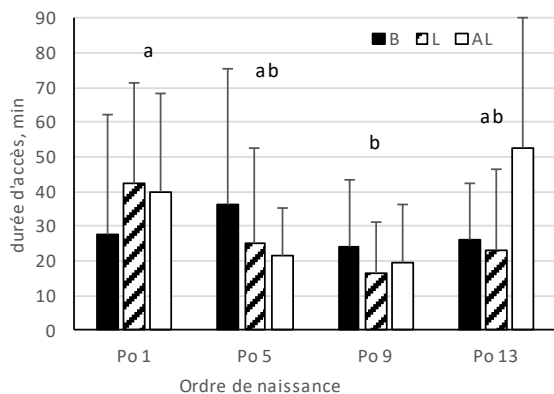


Figure 1 – Délai de 1^{er} accès à la mamelle à la naissance pour les porcelets 1, 5, 9, 13 selon le type de case

Des lettres différentes signalent des différences significatives à $P < 0,05$ entre numéros de porcelets.

Le traitement n'a pas d'effet sur la durée de MB, qui est en moyenne respectivement de 208 ± 103 min, 255 ± 186 min et 335 ± 186 min pour les traitements B, L et AL. Le type de case n'affecte pas non plus les temps d'accès à la mamelle (respectivement de $28,7 \pm 29,0$ min, $27,4 \pm 25,8$ min et $32,3 \pm 27,2$ min) alors que ceux-ci diffèrent selon le numéro de porcelet ($P < 0,05$). Les premiers porcelets mettent plus de temps à atteindre la mamelle que les autres (Figure 1), en particulier pour les cases AL et L, plus grandes que les cases B. Cet effet s'inverse pour les porcelets 5 et 9 : l'observation des vidéos suggère un encombrement plus marqué pour les cases B qui pourrait expliquer une plus grande difficulté d'accès.

Cependant les effectifs observés sont limités et des données complémentaires sont nécessaires pour vérifier ces hypothèses. Durant les 24h suivant la MB, les porcelets migrent progressivement vers les zones de confort qui sont occupées en moyenne par 19 %, 14 % et 17 % des porcelets dans les cases B, L et AL ($P < 0,05$). Pour les cases AL et L, la zone de confort préférentielle est la lampe d'appoint, le nid n'étant occupé que par 1 et 2 % des porcelets (Figure 2). La proximité de la truie et la recherche de colostrum (Baxter *et al.*, 2011), ainsi que la température ambiante élevée (25°C) peu favorable à la recherche du nid, pourraient expliquer ce résultat.

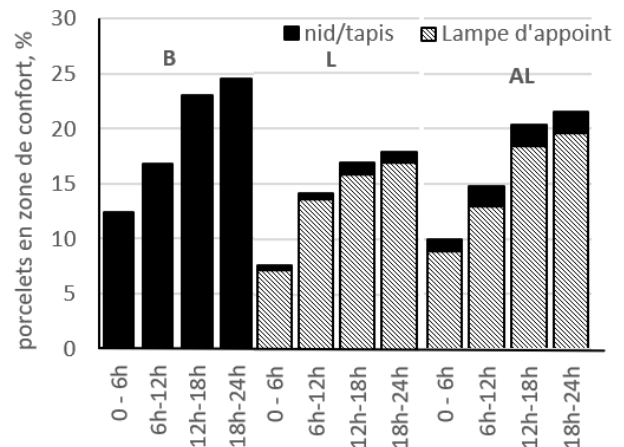


Figure 2 – Evolution de l'utilisation des zones chaudes dans les 24h suivant la MB

2.2. L'ouverture de la cage

Que la truie soit libre ou bloquée, le nombre et la durée des allaitements ne varient pas selon les traitements mais la durée des allaitements diminue entre chaque jour d'observation quelle que soit la case (229, 203 puis 187 s à J5, J6 et J8, $P < 0,01$). Le pourcentage de porcelets occupant la zone mixte augmente après la libération de la truie (17,8 %, 36,5 % et 37,9 % des porcelets à J5, J6 et J8, $P < 0,01$), de la même façon pour les traitements AL et L. Dans le même temps, on constate que les truies sont plus souvent debout (12,3 %, 18,5 % et 20,4 % du temps d'observation à J5, J6 et J8, $P < 0,01$), en particulier dans les cases AL et L (NS), comme le montrent King *et al.* (2019). Ces observations pourraient indiquer une attractivité plus grande d'une mère en liberté pour les porcelets et la possibilité de plus d'interactions mère/jeune.

CONCLUSION

Ces premières observations soulèvent des questionnements sur la difficulté d'accéder à la mamelle pour les porcelets dans des cases standard (défaut d'accès) ou avec ascenseur (activité de la truie). De même, dans les grandes cases, les porcelets fréquentent peu le nid éloigné à la naissance et préfèrent une zone chaude proche de la truie. Reste à savoir comment ce comportement peut jouer sur le choix des zones de couchage au-delà de ces 24h et lors de la libération des truies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baxter E., Lawrence A., Edwards S., 2011. Alternative farrowing systems: Design criteria for farrowing systems based on the biological needs of sows and piglets. *Animal*, 5(4), 580-600.
- King R. L., Baxter E. M., Matheson S. M., Edwards S. A., 2019. Temporary crate opening procedure affects immediate post-opening piglet mortality and sow behaviour. *Animal*, 13(1), 189-197.



Performances de lactation des truies et de croissance de leurs porcelets pendant les 10 premières semaines de vie quand le sevrage intervient 3 ou 4 semaines après la mise bas

Nathalie QUINIOU, Didier GAUDRE, Isabelle CORREGE

IFIP – Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650 Le Rheu, France

nathalie.quiniou@ifip.asso.fr

Avec la collaboration du personnel de la station expérimentale IFIP de Romillé (35).

Impact of a 3- or 4-week lactation on performances of sows and their progeny over their 10 first weeks of life

Two trials (T1 and T2) were performed to quantify impacts of lactation duration on performances of sows and their progeny. In T1, 101 litters were weaned after 4 weeks, and body weight (BW, sows and piglets), backfat thickness (BF, sows) and feed intake (sows) were measured after 3 and 4 weeks. In T2, 48 litters from two batches were weaned at 3 or 4 weeks of age on the same day (3W and 4W, respectively), and piglets were studied up to 69 d of age. The feeding strategy was adapted to the age at weaning, which contributed to the high survival rate after weaning (3W: 96.4 % vs. 4W: 98.8 %, $P = 0.08$). Extending the lactation by 1 week significantly increased the BW of piglets at weaning (T1: +2.7 kg, T2: +2.1 kg, $P < 0.001$), but the difference was no longer significant at 69 d of age (25.9 kg on average, $P = 0.99$). Maternal BF (T1: +1.1 mm, T2: +1.2 mm) and BW (T1: +11 kg, T2: +7 kg) losses were higher for 4W than for 3W ($P < 0.001$), but mean feed intake did not differ ($P = 0.20$). The total net energy intake was calculated per piglet alive at 69 d, based on the dietary net energy consumed by lactating sows and weaned piglets and the amount required during the following gestation to recover a similar level of body reserve at farrowing. Although the housing conditions and feeding program yielded a high survival rate of piglets weaned at 3 weeks (1 week earlier than requirements of EU Directive 2008/120), total net energy intake and feeding costs were 3 % and 4% higher, respectively, than those of piglets weaned at 4 weeks.

INTRODUCTION

En 1996, Dagorn *et al.* concluent qu'un sevrage des porcelets à 26-28 j de vie est optimal pour la productivité laitière des truies. Obtenus avec des portées de moins de 10 porcelets à l'époque, ces résultats n'augurent pas des conséquences de la forte augmentation de la prolificité initiée peu de temps auparavant sur les performances de reproduction des truies après le sevrage, qui inciteront alors de nombreux éleveurs à sevrer les portées 1 semaine plus tôt. En effet, plus la taille de la portée augmente plus la production de lait (et les besoins nutritionnels associés) est élevée (Ngo *et al.*, 2012). L'appétit n'augmentant pas dans les mêmes proportions, la mobilisation des réserves s'accroît et compromet la venue en chaleur après le sevrage et les qualités de la portée à suivre (Koketsu *et al.*, 1996 ; Clowes *et al.*, 2003). Si le tarissement anticipé peut être intéressant pour préserver les réserves de la truie, la question se pose au niveau du porcelet pour lequel un sevrage réalisé 1 semaine avant 28 j d'âge présente un caractère dérogatoire à la Directive UE 2008/120 et nécessite selon ce texte des conditions de logement et une conduite adaptée. Par ailleurs, la réduction de l'usage des antibiotiques conduit à rechercher une meilleure robustesse des porcelets et à adapter la conduite pour relever les multiples défis du sevrage (logement, alimentation).

Cet article se focalisera sur l'incidence d'une durée de lactation de 3 ou 4 semaines (notée respectivement 3S et 4S) sur les performances de lactation des truies et la croissance des porcelets pendant les 10 premières semaines de vie. Corrégé *et al.* (2022) ont déjà présenté les effets sur la santé digestive et la survie des porcelets.

1. MATERIEL ET METHODES

Deux essais sont réalisés à la station Ifip de Romillé. Dans l'essai 1 (noté E1), les performances de lactation de 101 truies croisées Large White x Landrace (LWxLD) issues de sept bandes sont étudiées sur 3S et 4S (Quiniou, 2016). Dans l'essai 2 (noté E2), deux bandes de 24 truies sont suivies en maternité, la moitié de chaque bande étant sevrée à 3S ou 4S. Les porcelets croisés Piétrain x (LWxLD) issus de portées sevrées à 3S ou 4S sont ensuite étudiés du sevrage jusqu'à 10 semaines d'âge. Les mâles des deux essais sont castrés vers 4-5 j. Le programme alimentaire des porcelets est adapté selon l'âge au sevrage (Tableau 1). Les mesures réalisées pendant les essais sont détaillées par Quiniou (2016, E1) et Corrégé *et al.* (2022, E2).

Les données sont soumises à une analyse de la variance (proc GLM, SAS v9.4, SAS Inst. Inc. Cary, NC, États-Unis) avec en effets

Tableau 1 – Programme alimentaire¹ appliqué sous la mère et au cours du post-sevrage² selon l'âge au sevrage (3S ou 4S)

| Lot | Sous la mère ² | Semaines de post-sevrage | | | |
|-----|---------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 et + |
| 3S | Starter | Starter | 1 ^{er} âge | 1 ^{er} âge | 2 ^{ème} âge |
| 4S | 1 ^{er} âge | 1 ^{er} âge | 1 ^{er} âge | 2 ^{ème} âge | 2 ^{ème} âge |

¹ Les aliments ne contiennent pas d'antibiotiques. ² A partir de 10 j de vie ; la consommation d'aliment sous la mère n'est pas mesurée pendant l'essai.

principaux le lot et la bande (essai 1) ou le lot, la bande et la salle de post-sevrage (essai 2). La survie de la cohorte de porcelets est déterminée par un test du Chi² (proc FREQ). L'unité statistique est la truie ou la portée en maternité, et la case après le sevrage. Dans l'essai 2, l'ingéré énergétique des truies allaitantes et le besoin pour reconstituer les réserves corporelles pendant la gestation qui suit sont calculés selon le modèle de Dourmad *et al.* (2005).

2. RESULTATS ET CONCLUSION

Les truies E1 et E2 pèsent en moyenne 277 ± 38 et 274 ± 40 kg à la mise bas, et leur ELD est de 19,7 ± 5,8 et 18,6 ± 2,5 mm. La taille de portée après adoption est de, respectivement, 13,7 ± 1,9 et 15,3 ± 1,6 porcelets, pesant 1,49 ± 0,24 et 1,28 ± 0,22 kg. Le taux de survie après adoption ne diffère pas entre 3S et 4S (E1 : 86,7 vs. 86,3%, $P = 0,74$; E2 : 83,1 vs. 82,0% ; $P = 0,70$). Cela conduit à 11,9 et 11,8 porcelets sevrés/portée, respectivement à 3S et 4S dans l'essai 1, et 12,7 et 12,5 dans l'essai 2 ($P \geq 0,70$, Tableau 2). Dans l'essai 2, bien que plus légers au sevrage, les porcelets 3S rattrapent leur retard à 69 j (25,9 kg, $P = 0,99$). Le taux de pertes après sevrage est faible mais tend à être plus élevé pour le lot 3S (3,6% vs. 1,2% pour le lot 4S, $P = 0,08$).

Malgré environ 55 kg d'aliment de lactation ingérés en plus la dernière semaine de lactation, les truies 4S perdent 11 (E1) et 7 (E2) kg de plus et 1,1 (E1) et 1,2 (E2) mm d'ELD de plus que les truies 3S ($P < 0,001$), ce qui nécessite un apport supplémentaire d'aliment de gestation après le sevrage pour récupérer le niveau des réserves à la mise bas suivante. Après un sevrage à 3S, les porcelets consomment de l'aliment starter (couteux et riche en énergie) et plus d'aliment 2^{ème} âge que les porcelets 4S pour atteindre le même poids à 69 j. Le cumul des quantités d'aliments consommées par porcelet présent à 69 j, pondérées par leur teneur en EN, conduit à une économie équivalente à 17 MJ d'EN et 1,06 € par porc présent à 69 j (contexte de prix de janvier 2022) quand les porcelets sont sevrés à 4S (vs. 3S). En supposant une consommation d'aliment sous la mère de 250 g/porcelet pour les porcelets 4S, l'écart serait réduit à 14 MJ EN et 0,87 €. Ces écarts sont cependant conditionnés à la

Tableau 2 – Performances¹ des truies et de leur portée selon la durée de lactation

| | Durée, j | | Statistiques ² | |
|---|----------|------|---------------------------|--------|
| | 3S | 4S | ETR | P |
| Essai 1 (101 truies avec mesures à S3 et S4) | | | | |
| Perte de poids vif, kg | 13 | 24 | 11 | <0,001 |
| Perte d'ELD, mm | 3,4 | 4,5 | 2,0 | <0,001 |
| Ingéré mesuré, kg/j ³ | 6,60 | 6,97 | 1,36 | 0,20 |
| Taille de portée finale | 11,9 | 11,8 | 1,3 | 0,45 |
| Poids final, kg/porcelet | 6,0 | 8,7 | 0,8 | <0,001 |
| GMQ de portée, kg/j | 2,83 | 3,14 | 0,39 | <0,001 |
| Essai 2 | | | | |
| Lactation (23 truies sevrées à S3 ou à S4) | | | | |
| Perte de poids vif, kg | 26 | 33 | 10 | <0,001 |
| Perte d'ELD, mm | 3,0 | 4,2 | 1,3 | 0,02 |
| Ingéré estimé, kg/j ³ | 5,70 | 6,19 | - | - |
| Taille de portée finale | 12,7 | 12,5 | 1,5 | 0,70 |
| Poids final, kg/porcelet | 6,0 | 8,1 | 0,9 | <0,001 |
| GMQ de portée, kg/j | 2,80 | 3,01 | 0,51 | 0,16 |
| Post-sevrage (28 cases/lot) | | | | |
| Poids à 21 j, kg | 6,3 | 6,3 | 1,1 | 0,85 |
| Poids à 28 j, kg | | 8,5 | - | - |
| Poids à 69 j, kg | 25,9 | 25,8 | 2,8 | 0,99 |
| Aliments, kg/porcelet présent à 69 j | | | | |
| Starter | 0,90 | - | - | - |
| 1 ^{er} âge | 5,16 | 5,21 | 0,8 | 0,60 |
| 2 ^{ème} âge | 24,0 | 18,0 | 2,4 | <0,001 |
| Lactation ³ | 9,7 | 14,0 | - | - |
| Gestation ³ | 29,2 | 30,0 | - | - |
| Budget alimentaire par porc présent à 69 j ⁴ | | | | |
| MJ énergie nette | 650 | 633 | - | - |
| €/porc | 26,2 | 25,2 | - | - |

¹ Abréviations : ELD : épaisseur de lard dorsal, GMQ : gain moyen quotidien, ETR : écart-type résiduel, P : P-value de l'effet du lot. ² Analyse de la variance avec le lot et la bande (essais 1 et 2) et la salle de post-sevrage (essai 2) en effets principaux, ou test du Chi². ³ D'après le modèle de Dourmad *et al.* (2005). ⁴ Sur la base d'une teneur en énergie nette de 11,0, 10,8, 9,5, 9,7 et 9,0 MJ et un coût matières premières de 760, 740, 380, 370 et 310 c€/kg d'aliment Starter, 1^{er} et 2^{ème} âge, lactation et gestation (janvier 2022).

qualité des conditions de logement et de conduite au sevrage ; ils pourraient augmenter en cas de dégradation du taux de pertes des porcelets 3S après sevrage.

REMERCIEMENTS

Les deux parties de cette étude ont été financées, respectivement, par le Programme National de Développement Agricole et Rural et le plan Ecoantibio.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Corrégié I., Quiniou N., Gaudré D., Le Floc'h N., 2022. Impact de l'âge au sevrage sur la prévalence des diarrhées. Journées Rech. Porcine, 54, 399-400.
- Clowes E.J., Aherne F.X., Foxcroft G.R., Baracos V.E., 2003. Selective protein loss in lactating sows is associated with reduced litter growth and ovarian function. J. Anim. Sci., 81, 753-764.
- Dagorn J., Le Cozler Y., Aumaître A., 1996. Influence de la durée d'allaitement sur les performances de reproduction des truies dans les élevages français. Journées Rech. Porcine, 28, 287-294.
- Dourmad J.Y., Etienne M., Noblet J., Valancogne A., Dubois S., van Milgen J., 2005. InraPorc : un outil d'aide à la décision pour l'alimentation des truies reproductrices. Journées Rech. Porcine, 37, 299-306.
- Koketsu Y., Dial G.D., Pettigrew J.E., King V.L., 1996. Feed intake pattern during lactation and subsequent reproductive performance of sows. J. Anim. Sci., 74, 2485-2884.
- Ngo T.T., Quiniou N., Heugebaert S., Paboeuf F., Dourmad J.Y., 2012. Influence du rang de portée et du nombre de porcelets allaités sur la production laitière des truies. Journées Rech. Porcine, 44, 195-196.
- Quiniou N., 2016. Conséquences de l'hétérogénéité des réserves corporelles de la truie à la fin de la gestation sur le déroulement de la mise bas et les performances de lactation. Journées Rech. Porcine, 48, 207-312.



Comparaison de méthodes d'estimation du niveau d'activité de truies gestantes à partir d'enregistrements vidéos

Manon DE LA BOURDONNAYE et Charlotte GAILLARD

PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

Charlotte.Gaillard@inrae.fr

Comparison of methods for estimating the activity level of pregnant sows from video recordings

The individual activity level of pregnant sows can be estimated using accelerometers attached to the ear, but these sensors are fragile and expensive. They can be replaced by manual behavioural analysis of continuous video recordings ("focus"), which is time-consuming, or analysis of still images selected at regular points in time ("scan"). However, do these two video methods yield the same results when estimating the level of physical activity of a sow? What behaviours (e.g., position, type of activity) should be considered to define this activity? The behaviour of 22 pregnant sows was analysed manually using the focus and scan methods from videos of 2 hours recorded over 2 days (i.e., 30 and 103 days of gestation, respectively). The focus method recorded the duration of each type of activity (eating, drinking, exploring, or having social contact), while the scan method recorded, every 5 minutes, the sow's posture (standing, sitting, or lying) and type of activity. Three activity levels (high, medium, or low) were assigned to each sow based on its types of activity and postures. The results indicated that the focus and scan methods estimated the same activity levels for the sows (test de Khi2, 80 % vs 56 % similarity, $P < 0.01$). Activity groups based on types of activity or postures alone also contained the same sows (Khi2, 55-65 %, $P < 0.01$). Finally, with the scan method, the groups based on the eating and drinking activities alone were similar to those based on all types of activities (Khi2, 63 % vs 72 % similarity, $P < 0.01$). The activity level can thus be estimated using only data automatically recorded every 5 minutes. To generalize these results, this study needs to be repeated over a full day.

INTRODUCTION

Le niveau d'activité des truies gestantes peut être affecté par leur santé. Par exemple, les truies infestées par un *Taenia solium* présentent une très faible activité journalière (Trevisan *et al.*, 2017). L'activité des truies est aujourd'hui principalement mesurée grâce à des accéléromètres qui évaluent le temps passé debout, assis, couché ou en marche (Busnel et Quiniou, 2019). Mais ces dispositifs sont fragiles et coûteux, ce qui a entraîné l'apparition de méthodes alternatives. Par exemple, l'analyse comportementale d'enregistrements vidéo permet de relever les postures et les occupations individuelles en continu (méthode « Focus »), ou ponctuellement à des pas de temps choisis (méthode « Scan »). Le Focus est un bon estimateur des comportements longs (comme l'exploration) mais est chronophage, tandis que le Scan nécessite moins de temps et est approprié pour estimer les comportements brefs tels que les interactions sociales (Canteloup *et al.*, 2019). L'objectif de cette étude est de comparer les niveaux d'activités individuels définis en fonction de la méthode d'observation (Focus vs Scan), de la catégorie comportementale utilisée (Occupation vs posture) et des variables de ces catégories.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Matériel biologique

Deux bandes de 20 et 15 truies gestantes Large White x Landrace sont logées en groupe à l'Unité Expérimentale

Physiologie et Phénotypage des Porcs (UE3P, INRAE, 35 ; <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>) dans deux salles de gestation de 7,5 x 8 m équipées de deux distributeurs automatiques de concentré (DAC), de deux abreuvoirs automatiques, et de trois caméras (Hikvision). Les deux bandes sont suivies sur deux gestations, avec cinq truies remplacées entre les deux gestations par des primipares. La distribution alimentaire restreinte débute chaque jour à minuit.

1.2. Mesures

Les automates enregistrent l'heure d'entrée et de sortie de chaque visite ainsi que le numéro d'identification de l'animal. Des analyses de vidéos sont faites en focus et en scan (relevé toutes les 5 min) sur les jours 30 et 103 de chaque gestation, entre 00h00 et 02h00, sur 22 truies. En Focus, pour chaque truie, le début et la fin des occupations suivantes sont enregistrés : « Mange », « Boit », « Explore l'abreuvoir / le DAC / la salle », et « A un contact social Positif / Négatif ». En Scan des occupations complémentaires sont enregistrées (« Se déplace », « Est inactive »), ainsi que les postures : « Debout », « Assise », « Couchée ». Un pourcentage des occupations passées debout est calculé sur l'ensemble des individus. A partir de la durée (Focus) et de la fréquence (Scan) des occupations et postures, des pourcentages d'activités sont également calculés par rapport à l'inactivité, pour chaque truie. Un pourcentage est donné pour chaque méthode d'enregistrement utilisée (Focus vs Scan), chaque catégorie comportementale étudiée (Occupations vs Postures), et variables d'intérêt décrites en

figure 1, pour un total de six pourcentages par truie. Pour chacun de ces pourcentages, un niveau d'activité (Haut, Faible, Bas) est ensuite attribué aux truies, afin d'obtenir trois sous-groupes numériquement homogènes. L'occupation « Est Inactive » n'est pas utilisée dans la variable d'intérêt « Toutes les occupations ».

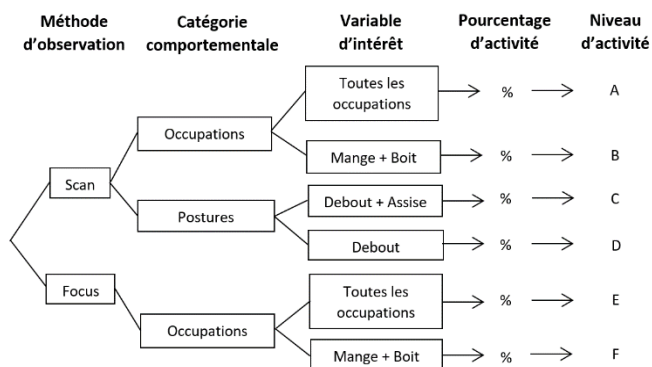


Figure 1 - Récapitulatif des éléments utilisés pour définir le niveau d'activité individuel

1.3. Statistiques

Les tests statistiques sont effectués sur le logiciel R (Allaire, 2011). Les niveaux d'activité individuels de l'ensemble du groupe sont comparés deux à deux grâce à un test du χ^2 d'homogénéité, et à partir de tableaux de contingence. Dans le cas où la p -value est inférieure à 0,01, les niveaux d'activités comparés sont considérés comme identiques.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Comparaison des méthodes d'observation

Les niveaux d'activités individuels sont identiques entre les résultats du Focus et du Scan, que ce soit pour toutes les occupations (A vs E, 80 % de similitude, $P < 0,01$; Figure 2), ou uniquement pour les occupations Mange et Boit (B vs F, 56 %, $P < 0,01$). Les analyses Scan peuvent donc être privilégiées au Focus pour estimer le niveau d'activité. Mitlöchner *et al.* (2001) ont montré des résultats similaires chez les génisses et également que plus le pas de temps d'observation est court (1 vs 30 min) plus les résultats sont similaires.

2.2. Comparaison des catégories comportementales

Avec les scans, la catégorie étudiée n'a pas d'incidence sur les niveaux d'activités individuels estimés (Figure 2) et cela indépendamment des variables d'intérêt (A vs C et D, B vs C et D, similitudes entre 55 et 65 %, $P < 0,01$). Ces résultats s'expliquent car en moyenne, 98,25 % des occupations sont exprimées quand la truie est debout.

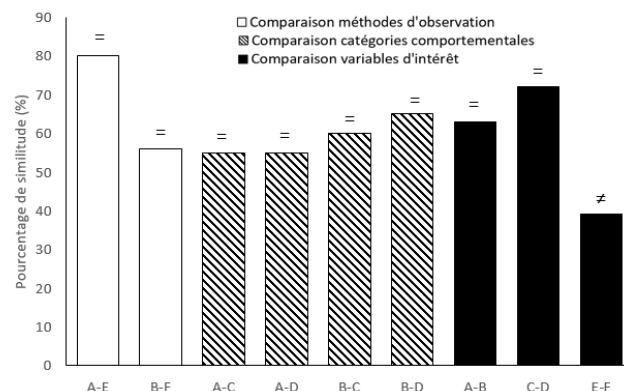


Figure 2 - Similitudes (%) des niveaux d'activités individuels en fonction de la méthode d'observation, la catégorie comportementale et des variables d'intérêts. Tests du χ^2 d'homogénéité, niveaux similaires (=) si $P < 0,01$

2.3. Comparaison des variables d'intérêt

Avec les Scans, les niveaux d'activités individuels sont semblables que l'on utilise toutes les occupations ou seulement « Mange » et « Boit » (A vs B, 63 %, $P < 0,01$). Les observations étant effectuées au moment de la distribution alimentaire, il est donc cohérent d'avoir une dominance de comportements « Mange » et « Boit ». En revanche, pour les Focus, les niveaux d'activités individuels établis à partir des seules occupations « Mange » et « Boit » sont différents de ceux établis grâce à l'ensemble des occupations (E vs F, 39 %, $P > 0,01$). Utiliser « Debout + Assise » ou uniquement Debout (C vs D, 72 %, $P < 0,01$) n'a pas d'incidence sur les niveaux d'activités individuels. Ces résultats sont cohérents avec l'étude de Busnel et Quiniou (2019) qui a montré que la prise en compte de la posture « Assise » dans l'activité n'impacte pas le niveau d'activité du fait de la faible occurrence de cette posture.

CONCLUSION

La méthode d'observation (Focus ou Scan) n'impacte pas les résultats d'estimation des niveaux d'activité des truies. Le Scan est cependant moins chronophage et serait donc à favoriser. De plus, utiliser la posture ou les occupations des truies ne semble pas impacter les niveaux d'activités : choisir l'un ou l'autre permet de réduire le nombre de comportements à observer. La prochaine étape est de vérifier si le niveau d'activité peut être établi en utilisant uniquement les occupations « Mange » et « Boit » relevées automatiquement par les DAC et les abreuvoirs automatiques. Enfin, il faudrait effectuer les analyses vidéos sur toute une journée afin de vérifier que ces résultats s'appliquent à l'ensemble de la journée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allaire, J., 2011. RStudio Team (4.2.2) [Windows 11]
- Busnel, F., Quiniou, N., 2019. Précision de l'information collectée chaque heure par un accéléromètre fixé à l'oreille de la truie gestante pour la caractérisation de son activité physique. Journées Rech. Porcine, 51, 19–24.
- Canteloup, C., Borgeaud, C., Wubs, M., van de Waal, E., 2019. Comparaison de budgets d'activités obtenus avec deux méthodes d'observation différentes - focal et scan - chez les singes vervets sauvages. Proc. Conference "Quels publics pour la primatologie?", Le Guero, France, pp. 7-8.
- Mitlöchner, F. M., Morrow-Tesch, J. L., Wilson, S. C., Dailey, J. W., McGlone, J. J., 2001. Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. J. Anim. Sci., 79(5), 1189–1193.
- Trevisan, C., Johansen, M. V., Mkupasi, E. M., Ngowi, H. A., & Forkman, B., 2017. Disease behaviours of sows naturally infected with *Taenia solium* in Tanzania. Vet. Parasitol., 235, 69–74.

Effets d'une alimentation par appel sonore chez les truies gestantes sur leur comportement et bien-être

Anna BLANC, Clémentine DEROINÉ, Caroline CLOUARD, Charlotte GAILLARD

PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles, France

charlotte.gaillard@inrae.fr

Effects of using a sound signal as a call to feeding on the behaviour and welfare of pregnant sows

Group housing of pregnant sows increases aggression around feeding stations, which decreases their welfare. This study evaluated effects of learning an individual acoustic signal (SSP) as a call to go to the feeder on the behaviour of pregnant sows. In a test room, "learning" sows (n = 16) underwent four individual learning phases (duration: 27 days) to associate the SSP with an invitation to feed from a single-channel automatic feeder, followed by a group-learning evaluation phase (3 days, groups of four sows). The "naive" sows (n = 16) were also introduced individually to the test room (18 days) and then in groups of four (3 days) without following the learning procedure. The number of presentations to the feeder after emitting the SSP (success) or unknown sound signals (SSI, failure), the time taken to arrive at the feeder after a sound was emitted, the duration of feeding and the number of agonistic behaviours were recorded. Sows quickly learnt to associate a sound with feeding, but were unable to distinguish SSP and SSI completely in the time available, as shown by a high failure rate with SSI ($P < 0.001$). However, sows took longer to arrive at the feeder when an SSI was emitted instead of the SSP, indicating that they could partially distinguish the sounds ($P < 0.001$). The learning procedure increased feeding duration by 15 % ($P < 0.001$) and reduced the number of agonistic behaviours by 27 % ($P < 0.05$). In conclusion, using an individual sound as a call to feeding seems to modulate sows' feeding and social behaviours, thus contributing to their welfare.

INTRODUCTION

Les truies gestantes doivent être hébergées en groupes depuis la directive européenne 2008/120/CE. Ainsi, des systèmes d'alimentation individuels et automatiques se développent afin de fournir à chaque truie une ration ajustable à ses besoins. Cela engendre un phénomène de compétition entre les truies, augmentant les interactions agonistiques entre elles autour de l'alimentateur, notamment durant la période d'alimentation (Remience *et al.*, 2008). Le bien-être est donc négativement impacté, avec une augmentation des blessures et du stress (Verdon *et al.*, 2015). L'objectif de l'étude est d'évaluer l'effet de l'apprentissage d'un signal acoustique individuel, comme invitation à se présenter à l'alimentateur, sur le comportement et le bien-être des truies gestantes.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'expérimentation a été menée sur 32 truies gestantes (dont sept primipares), croisées Large White x Landrace, issues de deux bandes de l'Unité Expérimentale Physiologie et Phénotypage des Porcs (UE3P, <https://doi.org/10.15454/1.5573932732039927E12>, Saint-Gilles, France). La salle de test était équipée d'un abreuvoir, d'une station d'alimentation à une voie dont l'ouverture était contrôlée manuellement (DAC), et d'une enceinte. Les truies de chaque bande ont été réparties en deux traitements (truies « apprenantes » vs « naïves ») selon leur poids à l'insémination et leur rang de portée. Les truies apprenantes ont suivi une phase d'adaptation à la salle de test, puis trois phases d'apprentissage individuel sur une durée de 27 jours à raison de 15 min par jour. Pendant ces phases, elles apprenaient

progressivement à se présenter au DAC lors de l'émission d'un signal sonore propre à chaque truie (SSP, mot trisyllabique), et à discerner ce SSP parmi d'autres sons inconnus (SSI) (Tableau 1).

Tableau 1 - Phases d'apprentissage

| | Objectif | Durée (jours) | Description |
|---------|---------------------------|---------------|---|
| Phase 0 | Adaptation | 2 | Entrée spontanée dans le DAC |
| Phase 1 | Conditionnement classique | 5 | Entrée spontanée + émission SSP et présentation aliment |
| Phase 2 | Conditionnement opérant | 5 | Émission SSP donne accès au DAC |
| Phase 3 | Discrimination sonore | 15 | Émission SSP (accès DAC) et SSI (pas accès DAC) |
| Groupe | Évaluation | 3 | Émission SSP des 4 truies et SSI |

Enfin, une phase d'évaluation de l'apprentissage a été faite en groupe (quatre groupes de quatre truies apprenantes) pendant 3 jours (1h30 par jour). Les truies naïves ont également été amenées individuellement dans la salle de test pendant 18 jours (15 min par jour), puis en groupe de quatre truies pendant 3 jours (1h30 par jour) sans suivre la procédure d'apprentissage. Lors des tests, toutes les truies recevaient une portion d'aliment de 600 g, correspondant environ à 40 % de leur ration journalière.

1.2. Mesures expérimentales

Pour les phases 2, 3 et de groupe, des observations directes ont été réalisées dont la latence d'arrivée au DAC, le temps d'alimentation et la réponse de la truie au son (pourcentage d'échec ou de succès). En phase de groupe, le nombre de comportements agonistiques (mord, menace, pousse, poursuit, esquive, fuit, combat) autour du DAC a été comptabilisé par analyse d'enregistrements vidéo.

1.3. Calculs et analyses statistiques

À l'aide du logiciel R (version 1.4.1717), des modèles linéaires généralisés à effets mixtes ont été appliqués afin de déterminer par analyse de variance les effets de la phase (1, 2, 3 et groupe), du jour, du traitement (apprenantes, naïves) et du type de signal sonore (SSP, SSI) sur les différentes variables mesurées. L'identité des truies a été déterminée comme effet aléatoire.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Temps d'alimentation

En phase 1, le temps d'alimentation n'est pas différent chez les truies naïves et apprenantes. En revanche, en phases 2 et 3, les truies apprenantes prennent plus de temps pour manger que les truies naïves (+ 15 %, $P < 0,001$). Robert *et al.* (1997) ont montré qu'un temps d'alimentation plus long engendre une diminution des stéréotypies. L'apprentissage pourrait ainsi permettre d'améliorer le bien-être des truies par l'augmentation de la durée d'alimentation.

2.2. Succès de l'apprentissage

En phase 2, les truies apprenantes se sont présentées devant le DAC manuel à 92,8 % de leurs SSP (succès) quel que soit le jour de test. En phase 3, elles se sont présentées à 97,5 % de leurs SSP (succès) et ne se sont pas présentées à 12,0 % de leurs SSI (succès) donc elles ont eu plus de succès lorsque le son émis était leur SSP plutôt qu'un SSI ($P < 0,001$). Le nombre de succès global (ne répond pas au SSI + répond au SSP) augmente les trois derniers jours de cette phase (+12 %, $P < 0,05$). En phase de groupe, les truies apprenantes ont une moyenne de 45 % de succès. Elles ont eu plus de succès lorsque le son émis était leur SSP qu'un SSI (respectivement 71 et 39 %, $P < 0,001$). Les truies ont donc appris rapidement à associer un son comme invitation à s'alimenter, mais la discrimination des différents sons nécessite plus de temps, malgré l'émission de 50 SSP au total en phase 3. Ce nombre de SSP avait permis d'atteindre le critère de succès de 80 % dans l'étude de Manteuffel *et al.* (2010).

2.3. Latence d'arrivée au DAC

Les truies mettent plus de temps à se présenter au DAC lorsque le son émis est un SSI par rapport au SSP (respectivement 8 et 5 secondes, $P < 0,001$). De plus, la latence suite à l'émission d'un SSI croît au cours des jours de test (+6 s entre le premier et le dernier jour, $P < 0,001$). Cela témoigne d'une discrimination partielle des deux types de sons.

2.4. Bénéfices de l'apprentissage en phase de groupe

En phase de groupe, le nombre de comportements agonistiques est plus élevé le premier jour par rapport aux suivants (Figure 1, $P < 0,001$). Aussi, les truies naïves sont plus agressives le deuxième jour par rapport aux truies apprenantes (respectivement 11 vs 7 comportements agonistiques en moyenne, $P < 0,05$). Ainsi, l'apprentissage a diminué les comportements agonistiques autour de l'alimentateur comme observé par Kirchner *et al.* (2012).

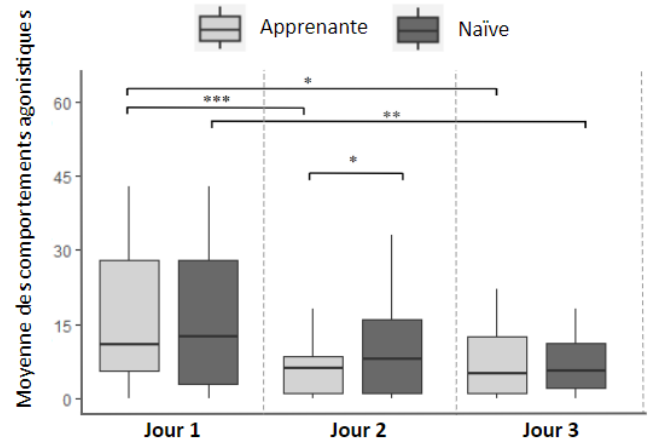


Figure 1 - Nombre de comportements agonistiques en phase de groupe pour les truies naïves et apprenantes.

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

CONCLUSION

L'apprentissage a modifié le comportement des truies en augmentant la durée d'alimentation. L'association d'un son comme invitation à se nourrir s'est effectuée rapidement, mais la discrimination des SSP et SSI n'a pas été complètement réalisée dans le temps imparti. Les différences de latence d'arrivée au DAC en fonction du type de son (SSP, SSI) montrent cependant que les truies ont partiellement discriminé les sons. Enfin, l'alimentation par appel sonore a diminué les comportements agonistiques de manière plus franche chez les truies apprenantes, ce qui suggère que l'apprentissage permettrait d'améliorer le bien-être des truies en élevage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'INRAE (API PHASE) et l'Institut de convergence #DigitAg pour le soutien financier apporté à ce travail réalisé dans le cadre du projet SOSMART.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Kirchner J., Manteuffel G., Schrader L., 2012. Individual calling to the feeding station can reduce agonistic interactions and lesions in group housed sows. *J. Anim. Sci.*, 90(13), 5013–5020.
- Manteuffel G., Mannewitz A., Manteuffel C., Tuchscherer A., Schrader L., 2010. Social hierarchy affects the adaption of pregnant sows to a call feeding learning paradigm. *Appl. Anim. Behav. SCI*, 128(1–4), 30–36.
- Remience V., Wavreille J., Canart B., Meunier-Salaün M.-C., Prunier A., Bartiaux-Thill N., Nicks B., Vandenhede M., 2008. Effects of space allowance on the welfare of dry sows kept in dynamic groups and fed with an electronic sow feeder. *Appl. Anim. Behav. SCI*, 112(3), 284–296.
- Robert S., Rushen J., Farmer C., 1997. Effets d'un ajout de fibres végétales au régime alimentaire des cochettes sur le comportement, le rythme cardiaque et les concentrations sanguines de glucose et d'insuline au moment du repas. *Journées Rech. Porcine*, 29, 161–166.
- Verdon M., Hansen C. F., Rault J.-L., Jongman E., Hansen L. U., Plush K., Hemsworth P. H., 2015. Effects of group housing on sow welfare: A review. *J. Anim. Sci.*, 93(5), 1999–2017.

Suivi du bien-être des truies en gestante et en maternité dans un nouveau modèle d'élevage alternatif

Alexandre POISSONNET (1), Sophie AMBROIS (2), Sylviane BOULOT (1) Valérie COURBOULAY (1).

(1) IFIP – Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, 35651, Le Rheu, France

(2) Le Gouessant, Z.I. 1 rue de la Jeannaie BP 40228, 22402 Lamballe-Armor, France

alexandre.poissonnet@ifip.asso.fr

Etude réalisée dans le cadre du projet EPP soutenu par la région Bretagne et Valorial, avec le concours des éleveurs.

Monitoring the welfare of sows during pregnancy and lactation in a new alternative farming model

The Physior livestock operation of Le Gouessant is based on alternative farming practices primarily focused on animal welfare: outdoor access, the provision of straw, and discontinuation of castration and tooth grinding. One objective of the Pig Farming Pilot Project is to assess the welfare of pigs in this operation. This article presents the indicators chosen and the initial results after one year of monitoring during gestation and lactation. To assess the welfare of sows and piglets, several criteria were tracked every month for 72 gestating sows and all sows in the nursery. The cleanliness of pens (by zone of living area) and animals, animal health, lameness, bursitis, and damaged hooves for sows, as well as significant wounds on the legs for piglets, were recorded, along with other injuries (damaged vulva, facial lesions, etc.). During gestation, combat-related injuries were noted, and a human-animal relationship test was conducted. In the nursery, the thermal comfort of piglets was assessed by observing their distribution within the pen. After one year of monitoring (of 237 sows during gestation and 91 in the nursery), the results were conclusive: all animals were rated as clean because the animals clearly identified outdoor access areas as dirty zones and indoor spaces as resting areas. Very few health problems were observed, except for piglets, with 20 % having facial injuries and 10 % having leg injuries. In gestating sows, combat-related injuries were noted, related mainly to competition for access to feeding areas. In addition, 89 % of the sows trusted humans. The distribution of piglets in the nests was satisfactory in 82 % of cases.

INTRODUCTION

L'élevage Physior développé par la coopérative Le Gouessant repose sur des pratiques d'élevage alternatives orientées principalement sur le bien-être de l'animal : accès au plein air, apport de paille, arrêt de la castration et du meulage des dents. L'un des objectifs du projet Elevage Porc Pilote, financé par la région Bretagne, est d'évaluer le bien-être des porcs dans cet élevage inédit en France. Cet article présente les indicateurs mis en place et les premiers résultats après un an de suivi des truies.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Conception de la case

Les cinq cases de gestantes sont conçues pour 40 truies avec : (i) une zone intérieure sur litière accumulée et (ii) une courette extérieure sur caillebotis intégral. L'alimentation est distribuée par un DAC. Les cases de maternité ont également un accès extérieur ; en revanche, les deux zones sont sur gisoir. La zone intérieure dispose d'un nid à porcelet. Il y a 33 cases maternité pour 2 salles. Pour les deux stades, l'abreuvoir et l'entrée de la zone d'alimentation sont positionnés sur la courette extérieure afin d'obliger les truies à sortir au moins une fois par jour, quelles que soient les conditions climatiques. Le but est qu'elles identifient cette zone, moins confortable, comme zone sale.

1.2. Les animaux suivis

L'élevage est peuplé progressivement. Le suivi est réalisé sur 237 truies au cours de 15 bandes en gestation, correspondant principalement à des truies nullipares et primipares, et sur 91 truies et 1 118 porcelets sur 10 bandes en maternité.

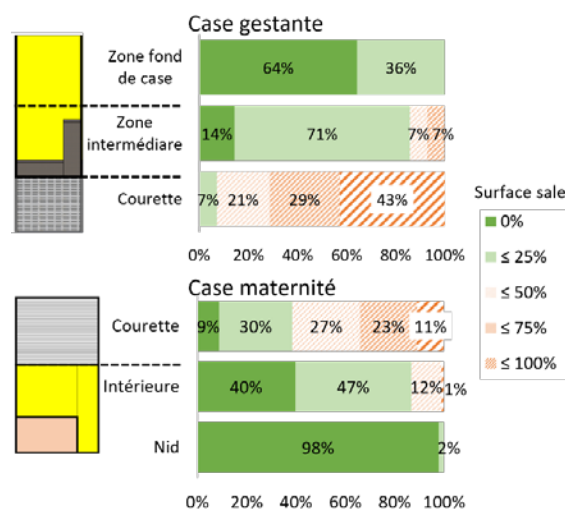


Figure 1 – Schéma des cases de gestantes (haut) et de maternité (bas) et fréquence d'observation des notes de propreté des cases distinguée par zones

1.3. Les mesures

Les mesures sont recueillies au début (minimum deux semaines après l'entrée) et en fin de gestation. En maternité, elles sont réalisées deux semaines après la mise bas. Des indicateurs de propreté sont relevés, en évaluant la proportion de surface au sol sale selon cinq notes : 0 pour 0 % de surface sale, 1 jusqu'à 25 %, 2 de 25 % à 50 %, 3 de 50 % à 75 % et 4 de 75 % à 100% de surface sale. La propreté des cases est évaluée sur trois zones distinctes en gestante et en maternité (Figure 1). La propreté des truies est aussi évaluée en notant un flanc selon trois notes : 0 pour moins de 20 % du flanc sale, 1 de 20 à 50 % sale, et 2 pour plus de 50% sale. Pour les porcelets en maternité, le nombre d'individus sales est relevé. Des indicateurs de santé sont mesurés : les boiteries selon quatre notes (0 pour absence, 1 pour une démarche hésitante, 2 pour une boiterie avérée et 3 si la patte n'est pas utilisée), l'état des vulves et celui des onglons. En maternité, la présence de plus de quatre griffures sur la mamelle ou d'au moins une tétine abimée est notée. Dans les portées observées, est compté le nombre de porcelets avec des lésions à la face (plus de trois griffures), aux pattes (dues aux frottements avec le gisoir) ou à la queue, avec une boiterie ou en mauvais état général. La qualité des sols est évaluée par une notation des bursites des truies selon trois notes : 0 pour absence, 1 pour un gonflement inférieur à la largeur de la patte et 2 pour un gonflement supérieur à la largeur de la patte. Enfin, les indicateurs comportementaux évalués sur les truies gestantes sont la relation homme-animal par un test d'approche (Kling-Eveillard *et al.*, 2018) avec une note de confiance en l'homme allant de 0 (très méfiante) à 4 (très confiante), la présence de stéréotypies, l'agressivité en gestante évaluée indirectement en notant les griffures et plaies selon le protocole Welfare Quality (2009).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les truies sont notées propres pour 82 % des observations en gestante et 73 % en maternité. Ce résultat est dû à une bonne utilisation des zones de vie. Dans les cases de gestantes, la courette sur caillebotis est identifiée par les truies comme zone sale. Dans 93 % des observations, elle est notée sale sur plus de 50 % de sa surface. La zone intermédiaire est légèrement sale (entre 0 et 25 % de la surface sale pour 71 % des observations) principalement sur et autour de la dalle de béton qui donne accès à l'extérieur. La zone au fond de la case est utilisée comme zone de repos : elle est notée propre (64 % des observations) ou légèrement salie (36 % des observations). En maternité, les zones sont également bien respectées : la courette est la zone sale, avec 61 % des observations correspondant à une surface sale de plus de 50%, la zone intérieure est propre, avec 87 % des observations correspondant à moins de 25 % de la surface sale et les nids sont presque systématiquement intacts. Ainsi, la conception des cases semble efficace : les animaux défèquent dans les zones conçues pour cela. Cependant, l'évacuation des

lisiers des cases de gestantes par pompe de relevage est à revoir. Les effluents sont plus secs que prévu, les truies ingérant de la paille et produisant des fèces pailleuses. De plus, elles transportent de la paille de l'intérieur vers l'extérieur. Le logement sur paille contribue également à l'absence de bursite, une seule truie ayant été notée 1 pour ce critère. Les indicateurs de santé sont tous bons : très peu de boiteries (deux truies en note 1), de déformation de la vulve (cinq truies en gestante et une en maternité) ont été relevées. Aucun problème d'onglon ou de lésion à la mamelle n'a été observé. Concernant les porcelets, 20 % sont notés avec des lésions à la face. Une taille de portée importante (Boulot *et al.*, 2024) et l'absence de meulage des dents peuvent expliquer ce résultat. Des lésions aux pattes sont observées sur 10 % des porcelets. Ce résultat pourrait être dû au caractère abrasif du sol neuf. Les futures observations viendront étayer cette hypothèse. Une petite moitié des truies gestantes (42 %) a plus de cinq griffures sur la partie avant de leur corps, indiquant la présence d'agressions. Ces comportements ont été observés à l'entrée des DAC. Certaines truies plus petites y entraînent à deux simultanément créant des conflits importants dans un environnement étroit. Avec le renouvellement du cheptel, les agressions persistent chez les truies (les plus anciennes) présentes depuis le début mais sont absentes chez celles arrivées dans un groupe social déjà existant. Les tests d'approche montrent que 89 % des truies sont confiantes ou très confiantes (Figure 2), résultat nettement supérieur à ce qui a pu être observé dans d'autres études (Courboulay *et al.*, 2020). La mise en place de l'approvisionnement des cochettes en quarantaine, la présence régulière des éleveurs dans la case pour la gestion de la litière, la surveillance des DAC et surtout des animaux améliorent la perception qu'ont les truies des humains.

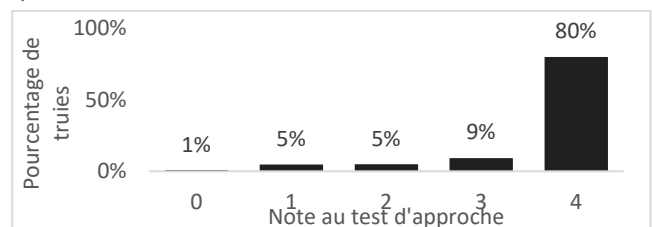


Figure 2 – Répartition des truies selon leur note au test d'approche (0=très méfiante, 4=très confiante)

CONCLUSION

Après une première année de suivi de l'élevage, les résultats sont très positifs. La conception des cases est réussie, les animaux ont correctement identifié leurs zones de vie et ce pour toutes les saisons. Néanmoins, le système d'évacuation du lisier des gestantes doit être repensé pour les futurs projets de construction. L'état de santé des truies et leur comportement sont bons. Des solutions doivent être trouvées pour limiter les lésions observées sur les porcelets.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boulot S., Ambrois S., Radek M., 2024. Analyse approfondie des causes de mortalité des porcelets dans une maternité alternative. Journées Rech. Porcine, 56, 333-334.
- Courboulay V., Kling-Eveillard F., Champigneulle F., Fresnay E., Pol F., 2020. Ce que nous dit la réactivité des truies à l'homme sur leurs performances et leurs conditions de vie. Journées Rech. Porcine, 52, 361-366.
- Kling-Eveillard F., Hostiou N., Ganis E., Philibert A., Courboulay V., Ramonet Y., 2018. L'élevage de précision, quels changements dans la relation homme-animal et la représentation de leur métier par les éleveurs ? Journées Rech. Porcine, 50, 263-268.
- Welfare Quality®, 2009. Welfare Quality® assessment protocol for pigs. Welfare Quality® Consortium, Lelystad, The Netherlands, 114 p.



Construction d'un outil d'aide à la décision visant à optimiser les choix des éleveurs dans la sélection des truies pour l'autorenouvellement

Vivien SAMSON (1), Bastien RIERA (1), Yohan PIEL (2), Arnaud BUCHET (3)

(1) Cooperl Data Science, ZAC du Liffré 64 Rue Mouëxigné, 22403 Lamballe-Armor, France

(2) Cooperl Suite, 18 Avenue Henri Fréville Bâtiment B, 35200 Rennes, France

(3) Cooperl Innovation SAS, 1 Rue de la gare, 22640 Plestan, France

vivien.samson@cooperl.com

Development of a decision support tool to optimise farmers' decisions about selection of sows for self-renewal

Herd renewal is a crucial aspect of improving pig farming performance. Approximately one-third of farmers practice self-renewal, which involves selecting sows that will become gilt mothers. The extensive amount of recorded data allows multiple candidates to be characterised, but without a tool, it is impossible to prioritise and synthesise this large amount of information. Nevertheless, to our knowledge, no one has developed a model for selecting gilt mothers. The objective of this study was to develop a decision support tool for choosing sows for self-renewal. Data from 1,500 farrowings on four farms were analysed. A self-renewal score was designed that included means of the previous parities for the number of live born piglets, the number of weaned piglets, and the number of stillborn piglets. The model selected sows that, on average, had per litter +1.36 total born, +1.61 live born, and +1.23 weaned piglets, as well as -0.25 stillborn piglets in the previous parities, compared to those selected by the farmers ($P < 0,001$). The ranking of sows by the decision tool provides a simple and rapid aid to farmers in the multi-criteria selection of future gilt mothers for the herd. Thus, the process of selecting gilt mothers, which is often single-criterion, complex, and subjective, becomes multi-criteria and objective. This tool opens up the possibility of improving the quality of selecting gilt mothers and thus improving farm performance.

INTRODUCTION

Pour les élevages porcins qui pratiquent l'autorenouvellement, le processus de sélection des futures mères à cochettes peut être complexe, impliquant des choix difficiles et basés principalement sur des critères empiriques plutôt que sur des méthodes de sélection encadrées. Il est rare d'objectiver ces décisions à l'aide de données chiffrées. À notre connaissance, aucun modèle d'aide à l'autorenouvellement n'existe aujourd'hui. L'objectif de cette étude est donc de proposer un outil d'aide à la décision pour l'éleveur dans le choix des futures mères à cochettes.

1. MATERIEL ET METHODES

Les données issues de quatre élevages adhérents de la coopérative Cooperl ont été analysées. Dans ces élevages, 1 500 mises-bas issues de 37 bandes, dont 191 mises-bas visant la production de cochettes de renouvellement, ont été explorées. Les truies sont issues de génétique Nucléus (Large White - Landrace). L'autorenouvellement est réalisé par un croisement alternatif entre deux générations successives (Pellois *et al.*, 2007). Le taux moyen d'autorenouvellement dans ces élevages est de 20,2%.

Pour chaque individu statistique, les principales données consignées sont les suivantes : date de mise-bas, rang de portée de la truie, nombre de nés totaux (NT), de nés vifs (NV), de sevrés (NS), de mort-nés (MN), de momifiés, d'adoptés et de retirés. À partir de ces données, de nouvelles variables ont été calculées : moyenne antérieure de NT, de NV, de NS et de MN.

Les statistiques ont été réalisées sous R studio version 4.2.0 (2022). Des analyses exploratoires et descriptives ont tout d'abord été réalisées afin d'identifier et de caractériser les facteurs associés à la prolificité. Les différences entre groupes sont testées statistiquement à l'aide de multiples ANOVA (analyse de variance - covariance).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Comparaison des performances des truies sélectionnées ou non par l'éleveur pour l'autorenouvellement

Tout d'abord, une comparaison a été réalisée entre les performances des truies sélectionnées par l'éleveur comme futures mères à cochettes (représentant environ 8 à 10 % des truies de la bande) et les autres truies de la bande. Ces données sont décrites dans le tableau 1.

Tableau 1 - Performances des truies sélectionnées ou non comme futures mères à cochettes par les éleveurs des quatre élevages

| Choix de l'éleveur | Truies non sélectionnées | Truies sélectionnées | P - value ¹ |
|---------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Nombre de truies | 1 309 | 191 | |
| Rang de portée moyen | 3,15 | 3,31 | ns |
| Moyenne antérieure de NT | 15,09 | 15,60 | * |
| Moyenne antérieure des NV | 14,31 | 14,83 | * |
| Moyenne antérieure des NS | 12,81 | 13,25 | ** |
| Moyenne antérieure des MN | 0,78 | 0,77 | ns |

¹ * P < 0,05, ** P < 0,01, *** P < 0,001, ns : non significatif

Les éleveurs ont inséminé des truies de rang 1 à 6 pour l'autorenouvellement. Le rang de portée ne diffère pas significativement entre les truies sélectionnées et celles qui ne le sont pas. Les éleveurs ont déclaré choisir les truies retenues comme futures mères à cochettes parmi celles ayant les meilleures prolificités. Dans la réalité, ces truies ont, en moyenne sur les portées antérieures, un plus grand nombre de porcelets nés totaux (+0,51), nés vifs (+0,52) et sevrés (+0,44), mais un nombre de morts nés équivalent, comparativement aux truies non sélectionnées.

2.2. Construction du score d'auto-renouvellement

Les discussions avec les experts métiers et les éleveurs ont permis de déterminer les principaux critères permettant de constituer le score d'autorenouvellement : les moyennes du nombre de nés vifs, de sevrés et de mort-nés sur les rangs antérieurs. Chacune de ces variables a été pondérée en utilisant la méthode de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) afin de maximiser les performances des futures mères à cochettes. Enfin, pour correspondre à ce qui est généralement pratiqué en élevage, les truies sélectionnées pour l'autorenouvellement se situent entre le 2^{ème} et le 6^{ème} rang de portée.

Tableau 2 - Performances des truies sélectionnées pour l'autorenouvellement par les éleveurs et par le modèle¹

| Truies sélectionnées | Par l'éleveur | Par le modèle | P - value ¹ |
|---------------------------|---------------|---------------|------------------------|
| Nombre de truies | 191 | 191 | |
| Rang moyen de portée | 3,31 | 3,32 | ns |
| Moyenne antérieure de NT | 15,60 | 16,96 | *** |
| Moyenne antérieure des NV | 14,83 | 16,44 | *** |
| Moyenne antérieure des NS | 13,25 | 14,48 | *** |
| Moyenne antérieure des MN | 0,77 | 0,52 | ** |

¹ * P < 0,05, ** P < 0,01, *** P < 0,001, ns : non significatif

2.3. Comparaison des performances des truies sélectionnées par les éleveurs et par le modèle comme futures mères à cochettes

En pratique, il est intéressant de noter que 72 % des truies choisies par les éleveurs diffèrent de celles sélectionnées par le modèle (138 truies différentes sur les 191 sélectionnées). Le tableau 2 présente les différences de performances entre les deux groupes. L'application du modèle offre une espérance de gain sur les indicateurs utilisés par les éleveurs nettement supérieure pour les truies sélectionnées comme futures mères à cochettes. En effet, comparées aux truies sélectionnées par les éleveurs, les truies sélectionnées par le modèle pour être des mères à cochettes ont, en moyenne par portée, un plus grand nombre de porcelets nés totaux (+1,36), nés vifs (+1,61) et sevrés (+1,23), et un nombre de morts nés plus faible (-0,25), sur les portées antérieures (Tableau 2). Ces différences peuvent s'expliquer par une meilleure prise en compte par le modèle des différents critères de sélection, ou aussi, par la prise en compte par les éleveurs d'autres critères que de sélection que ceux qu'ils nous ont formalisés.

CONCLUSION

À partir de cet outil, les utilisateurs disposent d'une aide simple et rapide pour sélectionner, de façon multicritères, leurs futures mères à cochettes. Bien sûr, le choix final sera toujours réalisé par l'éleveur. En effet, avec l'utilisation de ce modèle intégrant les critères numériques de la productivité des truies, l'éleveur peut alors se focaliser sur son expertise métier concernant les autres critères de sélection, tels que le nombre de tétines, le comportement à la mise-bas, la facilité de mise-bas, le poids et l'homogénéité des porcelets à la naissance et au sevrage, la qualité des aplombs, l'attache de la mamelle, et bien d'autres encore.

À l'avenir, l'enregistrement de nouvelles informations permettra de préciser le modèle qui se base actuellement uniquement sur des critères de prolificité. Cet outil est donc une première étape qui offre une approche pédagogique et instantanée.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Pellois H., Boulot S., Donet P., Guyomarc'h C., Larour G., Roy H., Badouard B., Gourmelen C., Massabie P., 2007. Le renouvellement des truies : résultats d'enquêtes et simulations. Journées Rech. Porcine, 39, 199-200.



Etude des principaux freins et leviers à la conversion et à l'installation en agriculture biologique des élevages porcins français du point de vue des éleveurs

Cécile MD BONNEFONT (1,2), Clara CHASTAGNER (2), Laura TERZIC (2), Nina USAI (2), Agathe VAILLE (2), Justine FAURE (3),
Lucile MONTAGNE (3), Florence MAUPERTUIS (4), Stéphane FERCHAUD (5), Alain DUCOS (1)

(1) GenPhySE, Université de Toulouse, INRAE, ENVT, Castanet Tolosan, France

(2) Toulouse INP ENSAT, avenue de l'Agrobiopole, 31326 Auzeville-Tolosane, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

(4) Chambre d'Agriculture Pays de la Loire, La Géraudière, 44939 Nantes, France

(5) GenESI, INRAE, La Gouvanière, 86480 Rouillé, France

cecile.bonnefont@inrae.fr

Study of the main obstacles to and mechanisms for conversion to and installation of organic farming on French pig farms from farmers' viewpoints

Only 1.8 % of French sows are certified organic. Consequently, a study was performed to understand the obstacles to and mechanisms for conversion to and installation of organic farming on French pig farms. Interviews were conducted in 2020 with four organic pig farmers and seven conventional pig farmers in southern France and in Brittany (northwestern France). The results of these interviews were used to construct a decision tree that summarized the mental path taken by a pig farmer when deciding whether to convert to organic farming or not. The main obstacle was the farmer's pre-existing opinion of the organic sector. One associated mechanism for addressing it was to increase dissemination of knowledge about the organic pig sector in agricultural training courses. The second obstacle was the uncertainty of outlets, related to the high price of organic pork. The associated mechanisms were to decrease the sales price and production costs, in particular by encouraging feed production on the farm and developing on-farm processing and direct sales, even if doing so changes the farmer's job and greatly increases the workload and investment required. Other obstacles to conversion to organic pig farming were identified, such as concerns about access to local organic feed ingredients and the availability of organic piglets. These obstacles echoed farmers' concerns about the profitability of their farms and their working time. The farmers also reported a lack of consistency by consumers, who want to eat locally but do not want pig farms close to their homes.

INTRODUCTION

En 2020, 1,8 % des truies en France étaient sous certification Agriculture Biologique (AB) (Agence Bio, 2020). La filière porcine faisait et fait encore partie des filières les moins développées en AB en France. Le développement de filières en AB reste néanmoins encouragé en France. Dans ce contexte, le consortium ORIGAMI du programme INRAE METABIO s'est formé afin d'identifier les leviers et les freins à la conversion et à l'installation en AB des élevages de porcs français. Une première étape préliminaire à la mise en place de ce consortium a consisté à mener une enquête qualitative auprès d'éleveurs de porcs français afin de recueillir leurs avis sur cette problématique des freins et des leviers à la conversion ou à l'installation en élevage de porcs en AB.

1. MATERIEL ET METHODES : ENQUETE QUALITATIVE

Quatre éleveurs de porcs biologiques et sept éleveurs de porcs conventionnels ont été interviewés entre le 10/11/2020 et le

7/12/2020. Les enquêtes ont été réalisées sous forme d'entretiens téléphoniques de 30 min en moyenne. En amont, un questionnaire d'enquête a été construit en trois parties avec des questions ouvertes : 1) description de l'enquêté et de son exploitation, 2) sa perception de l'AB et 3) son parcours professionnel (installé en conventionnel ou en AB, ou en cours d'installation en conventionnel ou en AB). Tous les entretiens ont été enregistrés, puis retranscrits. Les informations ont été rendues anonymes afin d'être traitées de façon objective, puis triées dans une matrice ordonnée par site d'élevage. Une analyse inter-sites a été menée afin d'approfondir la compréhension systémique de la problématique. Enfin, un arbre décisionnel a été construit afin d'identifier le cheminement décisionnel d'un éleveur de porcs pour choisir la production en AB.

2. RESULTATS

2.1. Présentation des enquêtés

Les caractéristiques des élevages enquêtés sont présentées dans le tableau 1. Presque la moitié d'entre eux étaient installés

en Auvergne-Rhône-Alpes. La répartition géographique des éleveurs enquêtés n'est donc pas représentative de la distribution des élevages en France. Sept éleveurs étaient déjà installés dont cinq conventionnel et deux en AB, deux étaient en cours de conversion vers l'AB et deux étaient en cours d'installation dont un en conventionnel et un en AB.

Tableau 1 – Présentation des éleveurs enquêtés

| Régions | Caractéristiques |
|-----------------------------|------------------------------|
| Auvergne-Rhône-Alpes : 5 | Engraisseur : 5 |
| Bourgogne-Franche-Comté : 1 | Naisseur-Engraisseur : 5 |
| Bretagne : 1 | Eleveur de cochettes : 1 |
| Nouvelle-Aquitaine : 1 | Filière courte : 5 |
| Occitanie : 2 | Filière longue : 4 |
| Pays de la Loire : 1 | Filière courte et longue : 1 |
| | Plein-air : 3 |
| | Bâtiment : 8 |

2.2. Les principaux freins au développement du porc en AB

Un des principaux freins au développement du porc en AB qui est ressorti de nos entretiens est le prix de vente des produits, estimé trop élevé par la moitié des éleveurs (cinq sur 11). D'après un éleveur, le problème est plus marqué dans la filière longue. Deux éleveurs évoquent des freins de rentabilité du porc en AB et un autre éleveur pense que le porc en AB ne peut être rentable qu'à très petite échelle et avec un atelier de transformation.

Une deuxième catégorie de freins provient de l'aliment des porcs avec des arguments sur le prix de l'aliment en AB d'après deux éleveurs et sur sa disponibilité localement d'après deux autres éleveurs. Trois éleveurs ont également mentionné la difficulté pour se fournir en porcelets en AB.

De plus, d'autres problèmes techniques ont été évoqués par cinq éleveurs autour de l'alimentation, de la gestion des chaleurs regroupées et donc de la conduite en bandes.

Pour la conversion des élevages de porcs en AB, le principal frein identifié est aussi l'investissement trop lourd pour transformer les bâtiments.

2.3. Le chemin décisionnel des éleveurs

Les freins évoqués influencent directement la prise de décision des éleveurs en développant chez eux une sorte d'appréhension et de scepticisme autour des aspects socio-économiques ou techniques. Ainsi, un arbre de décision a été construit pour interpréter et illustrer le chemin décisionnel de chaque éleveur interrogé sur l'AB, afin de hiérarchiser les potentiels freins évoqués selon leur place dans la prise de décision (Figure 1). L'opinion préétablie de l'éleveur oriente principalement ses choix. La question du marché et des débouchés est aussi un gros frein évoqué par les éleveurs. Ensuite viennent des questions sur la disponibilité de l'aliment et des porcelets.

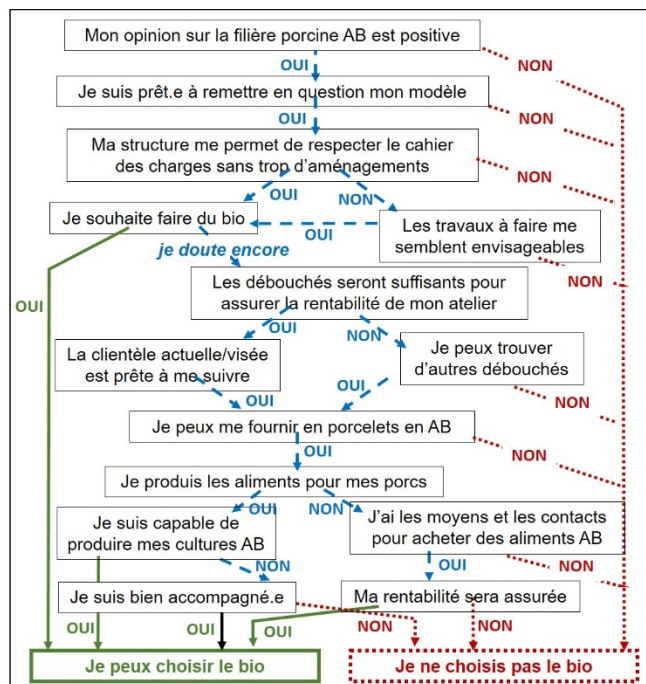


Figure 1 – Arbre décisionnel pour la conversion ou l'installation en AB. Source : Montagne *et al.* 2023, adapté de Chastagner *et al.* 2020.

DISCUSSION ET CONCLUSION

D'après ces enquêtes, il semble que le premier levier pour le développement des élevages de porcs en AB est l'augmentation de la demande. Une des pistes pourrait être de diminuer le prix de vente. En effet, les prix étaient déjà estimés trop élevés par les consommateurs avant la forte inflation des prix alimentaires qui a accentué ce problème. Il faudrait donc réduire les coûts de production. Ces charges plus importantes en AB qu'en conventionnel sont liées aux coûts supérieurs des matières premières, aux baisses de rendements et à l'augmentation des pertes. Un levier serait donc d'axer la recherche sur ces problèmes techniques pour gagner en compétitivité ou de développer des ateliers de transformation afin de maîtriser la marge sur l'ensemble de la filière. Un autre levier consisterait à améliorer la communication sur le porc en AB auprès du grand public pour attirer des consommateurs et auprès des éleveurs ou futurs éleveurs pour susciter des vocations, en développant des formations agricoles spécifiques et/ou en animant des groupes d'éleveurs qui partageraient leurs pratiques et leurs résultats technico-économiques. Le besoin de développer des filières en AB au sein des territoires a été mis en valeur, avec la question de la disponibilité de l'aliment et des porcelets en AB à proximité des élevages. Toutefois le durcissement des règles de biosécurité dans le contexte de fièvre porcine africaine est également identifié comme un frein au développement des élevages de porcs en AB.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence Bio, 2020. Dossier de presse : Les chiffres 2019 du secteur bio, 32 p.
- Chastagner C., Terzic L., Usai N., Vaillat A., 2020. Etude des principaux freins et leviers à la conversion et à l'installation en agriculture biologique des élevages porcins français. Rapport de projet partenarial, ENSAT, 46 p.
- Montagne L., Alibert L., Bonnefont CMD., Choisis JP., Durpoix A., Gilbert H., Harchaoui S., Larzul C., Lebret B., Lombard S., Martel G., Moraine M., Picgirard L., Puech T., Faure J., 2023 Quels défis au développement de la production porcine en agriculture biologique en France ? INRAE Production Animales, accepté.



Vers un compromis biosécuritaire ? L'élevage porcin corse sur parcours face à de nouvelles contraintes sanitaires

Les apports d'une recherche-intervention en Corse

Bastien TRABUCCO (1), François CASABIANCA (1) François CHARRIER (2) Marie GISCLARD (3)

(1) Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux, SELMET-LRDE-INRAE, Corte, France

(2) Laboratoire Interdisciplinaire Sciences, Innovations, Sociétés, LISIS-INRAE, Marne-la-Vallée, France

(3) Agroécologie, Innovations et Territoires, AGIR-INRAE, Castanet-Tolosan, France

bastien.trabucco@inrae.fr

Compromising biosecurity? Dynamic changes in Corsican free-range pig breeding systems under new health constraints.

Free-range breeding systems differ in their land holding, techno-economic orientation and risk of exposure to infectious wildlife. Contemporary biosecurity measures aiming to protect livestock against pathogens introduction potentially result in standardisation of practices, which can undermine local breeding systems. A ministerial order and its technical instruction imposing biosecurity measures for pig farming, notably including the confinement of all animals in double fences enclosures, were considered as unsuitable by Corsican farmers because of free-range importance on the island. According to the French New Health Governance, a technical committee including our laboratory team, the regional organizations involved in animal health management and breeding advice was established to design a regional health plan admissible by regional and national health authorities and pig farmers. In this applied research, we designed a hybrid breeding system that combined biosecurity adaptations and techno-economic requirements. We present here three zootechnical dimensions around which a compromise was built: 1) access to rangelands with a risk acceptance for finishers; 2) breeding compartmentalisation according to the type of animal; 3) progressive monitoring of the farm evolution. The results show that a systemic approach to animal science that integrates biosecurity paradigms is effective when designing compromised free-range systems. We argue that it is relevant to reconcile public health requirements, animal welfare and local food systems that value local breeds, spontaneous resources, and local knowledge.

INTRODUCTION

La biosécurité se définit comme un ensemble de mesures visant à minimiser le risque d'introduction de pathogènes au sein des élevages en évitant les contacts avec d'autres compartiments sauvages ou domestiques. Elle est généralement pensée pour le système de production conventionnel (Vaillancourt, 2009) et en améliore les performances (Corrégé *et al.*, 2011). La biosécurité induit une standardisation des pratiques d'élevage, pouvant mettre en péril des systèmes d'élevage en plein-air, auxquels on reconnaît pourtant des vertus relatives à l'environnement et au bien-être animal (Delsart *et al.*, 2020).

Suite à l'entrée de la peste porcine africaine en Belgique en 2018, l'arrêté ministériel du 16/10/18 a été pris, accompagné d'une instruction technique établissant un plan sanitaire national ne prenant en compte que les élevages conventionnels et en plein-air avec pour éléments clefs : un zonage de l'exploitation, une tenue de registres et l'enfermement total des animaux.

Les systèmes d'élevage en marge se trouvent ainsi conduits vers un modèle inadapté à leurs races et leurs modes d'alimentation, qui ne peut aboutir qu'à une standardisation et une homogénéisation des pratiques.

En Corse, où le secteur porcin est dominé par des systèmes d'élevage très extensifs (Relun *et al.*, 2015 ; Jori *et al.*, 2017), ces mesures de biosécurité se sont révélées inapplicables (conduite sur parcours en zone de montagne, taille des surfaces à clôturer...) (ANSES, 2021 ; Gisclard *et al.*, 2021.). Notre recherche-intervention avait pour objectif, par l'accompagnement d'un comité technique visant à produire un plan de gestion sanitaire adapté à ce contexte, de produire un compromis zootechnique entre exigence biosécuritaire et maintien d'un élevage pastoral ancré dans le territoire.

1. MATERIEL & METHODES

Nous avons relevé les points de tension entre mesures de biosécurité et le système d'élevage dominant en Corse. Puis après avoir modélisé le système d'élevage proposé pour répondre à ces problématiques, nous avons caractérisé les trois leviers zootechniques sur lequel le compromis biosécuritaire s'est collectivement construit.

2. RESULTATS : TROIS DIMENSIONS ZOOTECHNIQUES DU COMPROMIS BIOSECURITAIRE

2.1. Le parcours, un espace non négociable

Le compromis sanitaire s'est constitué autour de trois axes majeurs identifiés comme points de frictions.

Dans un premier temps, il a été nécessaire de faire reconnaître la zone de « parcours ». C'est en effet par l'utilisation de cet espace que les bandes de charcutiers, par une conduite zootechnique ancestrale basée sur le comportement matriarcal d'une truie dite « meneuse » (Figure 1), peuvent valoriser les ressources spontanées telles que l'herbe mais aussi les glands et châtaignes qui conditionnent l'accès aux AOP charcutières.

Cet accès aux parcours des charcutiers et des truies meneuses n'est possible que par l'acceptation d'une prise de risque les concernant notamment en été et automne.



Figure 1 – Truie meneuse et sa bande

2.2. L'allocation d'espaces dédiés

L'atelier de naissance doit permettre de préserver les reproducteurs de toute entrée de pathogène par enfermement sous doubles clôtures comme stipulé dans l'arrêté ministériel (Figure 2). Tous les animaux sortant sur les parcours doivent être inaptes à la reproduction, les charcutiers devant être castrés/ ovariectomisés et les truies meneuses devant être gestantes (cycle de reproduction maîtrisé et confirmé par échographie). Les animaux sortis sur parcours ne pouvant plus regagner l'atelier de naissance doivent avoir la possibilité d'être placés dans une zone de protection en cas d'entrée d'un pathogène sur le territoire. C'est ainsi qu'une zone sanitaire a été créée avec les mêmes exigences que pour l'atelier de naissance (Figure 3).

2.3. Progressivité et pilotage

Compte tenu de la diversité des conditions initiales de biosécurité des élevages dans le territoire, la troisième dimension du compromis est d'établir, collectivement, des outils de monitoring pour aider les éleveurs à piloter l'évolution

de leur système tels qu'une grille adaptée d'évaluation de la biosécurité, un audit initial de l'exploitation, et l'établissement d'un calendrier avec l'éleveur, pour piloter l'évolution de l'exploitation.

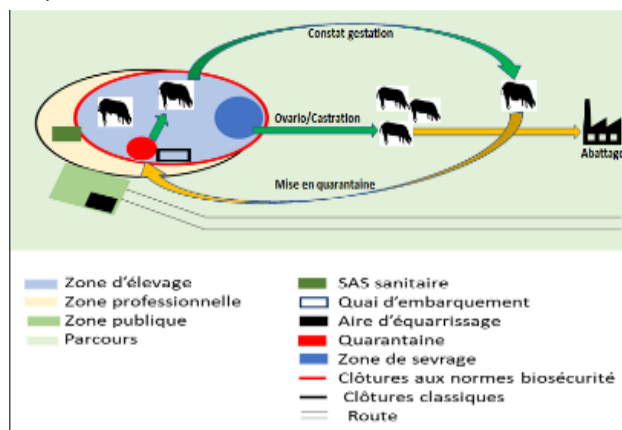


Figure 2 – Système d'élevage réadapté

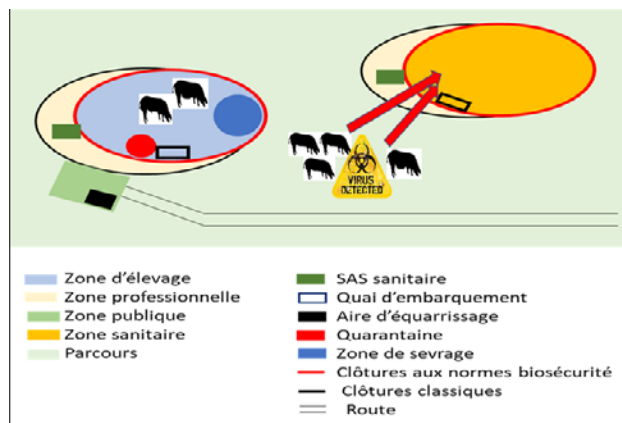


Figure 3 – Adaptation en cas de crise sanitaire

CONCLUSION : CONCEVOIR UN SYSTEME D'ELEVAGE ADAPTE

Le comité technique a su articuler compréhension des systèmes d'élevage et enjeux biosécuritaires. Cette articulation nous a permis de viser une situation réalisable préférable à une situation de blocage et de friction entre institution et monde professionnel.

Cet exemple de prise en compte des aspects biosécuritaires par la zootechnie système lui ouvre de nouvelles fonctions comme la création/adaptation d'itinéraires techniques adaptés à une contrainte sanitaire ou biosécuritaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANSES, 2021. Dispositifs de protection des parcours de porcins en plein air. Rapport d'expertise collective Avis de l'ANSES, Saisine « n°2020-SA-0026 », 133 p.
- Corrége I., Fourchon P., Le Brun T., Berthelot N., 2011. Biosécurité, maîtrise sanitaire, conception et conduite d'élevage : impact sur les performances technico-économiques. Journées Rech. Porcine, 43,265-272.
- Delsart M., Pol F., Dufour B., Rose N., Fablet C., 2020. Pig Farming in Alternative Systems: Strengths and Challenges in Terms of Animal Welfare, Biosecurity, Animal Health and Pork Safety. Agriculture 2020, 10(7), 261.
- Gisclard M., Charrier F., Trabucco B., Casabianca F., 2021. From National Biosecurity Measures to Territorial ASF Preparedness: The Case of Free-Range Pig Farming in Corsica, France. Front. Vet. Sci. 8:689163.
- Jori F., Relun A., Trabucco B., Charrier F., Maestrini O., Chavernac D., Cornelis D., Casabianca F., Etter E., 2017. Questionnaire- Based Assessment of Wild Boar/Domestic Pig Interactions and Implications for Disease Risk Management in Corsica. Front. Vet. Sci. 4:198.
- Relun A., Charrier F., Trabucco B., Maestrini O., Molia S., Chavernac D., Grosbois V., Casabianca F., Etter E., Jori F., 2015. Multivariate analysis of traditional pig management practices and their potential impact on the spread of infectious diseases in Corsica. Preventive Veterinary Medicine, 121 (3-4), 246-256.
- Vaillancourt J., 2009. Une approche régionale à la biosécurité : l'exemple avicole. Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, 162-3, 257-264.

Economie et Sociologie





Impact de l'utilisation d'un exosquelette "dos" sur les conditions de travail lors de la vaccination de porcelets

Caroline DEPOUDENT (1), Marie RANNOU (2), Isabelle CRENN (2), Claudie GUYOMARC'H (3), Alexandre GIRAULT (4)

(1) *Chambres d'agriculture de Bretagne, 24 route de Cuzon, 29322 Quimper Cedex, France*

(2) *MSA Armorique, 3 rue Hervé de Guébriant, 29412 Landerneau Cedex, France*

(3) *Chambres d'agriculture de Bretagne, Crécom, 22480 Saint Nicolas du Pelem, France*

(4) *AGB Solutions, 33 allée Galilée, 74700 Sallanches, France*

caroline.depouident@bretagne.chambaqri.fr

Impact de l'utilisation d'un exosquelette « dos » sur les conditions de travail lors de la vaccination de porcelets

Afin d'élargir le panel de solutions proposées aux éleveurs de porcs pour préserver leur dos, nous avons évalué l'impact de l'utilisation d'un exosquelette "dos" sur les conditions de travail lors des vaccinations de porcelets. L'étude repose sur la comparaison de trois modalités : sans exosquelette, avec l'exosquelette A, et avec l'exosquelette B. Dans un premier temps, les exosquelettes ont été testés dans des conditions contrôlées (ramassage et déplacements de poids) sur un échantillon de quatre personnes. Dans un second temps, des tests ont été réalisés lors de la vaccination des porcelets, sur un échantillon de huit personnes. Durant ces deux phases, nous avons mesuré la fréquence cardiaque, les postures et angles articulaires, le ressenti des utilisateurs et les efforts musculaires, au niveau des muscles suivants : multifide, longissimus, droit antérieur, biceps fémoral, trapèze supérieur et deltoïde antérieur. Dans des conditions contrôlées, l'utilisation des deux dispositifs diminue significativement la sollicitation des muscles extenseurs du rachis (dos), avec une diminution comprise entre -4% et -19% en fonction du modèle utilisé, et n'entraîne pas de variation du coût cardiaque à l'effort. Lors des vaccinations, l'utilisation des deux dispositifs augmente de manière significative la sollicitation des muscles extenseurs du rachis (dos - longissimus) : +16% à +37% selon le modèle utilisé. Elle augmente également significativement la sollicitation des muscles extenseurs et fléchisseurs de la jambe : +47% à +75% selon le modèle utilisé. Dans les deux situations, le temps de travail est augmenté, mais les postures sont peu impactées. En conclusion, les exosquelettes testés apportent un bénéfice léger en conditions contrôlées. En revanche, ils sont davantage source de contraintes que de bénéfices lors de la vaccination des porcelets, sans doute en raison de la diversité des plans dans lesquels se déroule la tâche.

Impact of using two passive trunk-supporting exoskeletons on working conditions during piglet vaccination

To provide more solutions to pig farmers to protect their backs, we assessed the impact of using a passive trunk-supporting exoskeleton on working conditions during piglet vaccinations. The study was based on comparing three conditions: no exoskeleton, exoskeleton A and exoskeleton B. First, the exoskeletons were tested under controlled conditions (picking up and moving weights) with a sample of four people (two men and two women). Second, tests were performed under real working conditions, during piglet vaccination, with a sample of eight people (six men and two women). During these two phases, we measured heart rate, postures and joint angles (using motion capture), user feedback and muscular effort in the following muscles: multifidi, longissimus, rectus femoris, biceps femoris, upper trapezius and anterior deltoid. Under controlled conditions, the use of either device significantly reduced the load on the erector spinae muscles (-4 % to -19 % according to the exoskeleton) but did not change the cardiac cost during exercise. During vaccination, the use of either device significantly increased the load on the erector spinae muscles (+16 % to +37 % according to the exoskeleton) and the extensor and flexor muscles of the leg (+47 % to +75 % according to the exoskeleton). Under both conditions, working time increased, but postures changed little. In conclusion, the exoskeletons tested provided a slight benefit under controlled conditions, but they were more of a source of constraints than benefits when vaccinating piglets, likely because of the variety of planes in which the task takes place.

INTRODUCTION

En élevage porcin, les problèmes de dos sont une problématique majeure pour les éleveurs. Dans une enquête réalisée en 2013 par la MSA Portes de Bretagne auprès d'éleveurs de porcs d'Ille-et-Vilaine et du Morbihan, 93 des 135 éleveurs interrogés disaient souffrir ou avoir souffert de problèmes de dos (MSA, 2015). Parmi ces 93, 71 estimaient que ces problèmes de dos étaient liés au travail. Les tâches associées sont, d'une part, le port ponctuel de charges lourdes (sacs d'aliment, cadavres), d'autre part le port de nombreuses petites charges à un rythme soutenu. C'est notamment le cas lors des soins aux porcelets à la naissance ou lors des vaccinations de porcelets autour du sevrage. Ainsi, pour un élevage de 252 truies conduit en sept bandes et sevrant à 28 jours 13 porcelets par truie et par portée, une séance de vaccination demande de manipuler 468 porcelets d'environ 7,5 kg, soit un poids cumulé d'environ 3,5 tonnes.

Les problèmes de dos ont un impact sur la vie professionnelle et privée des personnes concernées. En effet, 73 % des maladies professionnelles du dos (Tableaux A57 et A57bis du régime agricole : affections chroniques du rachis lombaire provoquées par des vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier et port de charges) entraînent des séquelles (MSA, 2023). Ces problèmes ont également un coût. En effet, un Trouble Musculo-Squelettique (TMS) du dos coûte en moyenne 56 290 € au régime agricole, contre 26 300 € pour la moyenne des TMS (données 2000-22 pour les salariés du régime agricole). Au total, cela représentait 8 millions d'euros en 2021.

Pour réduire les efforts au niveau du dos, différentes solutions ont été développées par des éleveurs (ponts, fosses de vaccination) ou des fournisseurs de matériel (caisses de vaccination réglables en hauteur). Cependant, leur usage reste limité, soit parce que les utilisateurs craignent de perdre du temps, soit parce leur vétérinaire préconise une contention individuelle des porcelets lors de la vaccination.

Les exosquelettes connaissent un fort développement en France depuis 2015, en se positionnant comme une aide au port de charge. Ils sont utilisés dans l'industrie. En élevage, leur utilisation a été testée au moment de la traite de vaches laitières (Collet, 2022). Un exosquelette est « un système mécanique ou textile revêtu par une personne et visant à lui apporter une assistance physique dans l'exécution d'une tâche, par une compensation de ses efforts et/ou une augmentation de ses capacités motrices (augmentation de la force, assistance des mouvements, etc.) » (Theurel *et al.*, 2018). Les exosquelettes sont des Nouvelles Technologies d'Assistance Physique (NTAP) impliquant une contention. L'INRS (2023) différencie deux types d'exosquelettes : les Dispositifs d'Assistance Physique (DAP), qui sont mécaniques, et les Robots d'Assistance Physique (RAP), qui sont automatisés.

Concernant les DAP, l'INRS fait la distinction entre les exosquelettes « actifs » ou motorisés (l'assistance se fait principalement par des moteurs ou systèmes alimentés) et les exosquelettes « passifs » ou non motorisés (l'assistance se fait par des systèmes d'accumulation/restitution d'énergie, comme la déformation d'un élastique par exemple). L'étude s'intéresse ici à deux modèles passifs.

Cette étude vise à évaluer l'impact de deux modèles d'exosquelettes « dos » sur les conditions de travail lors de séances de vaccination de porcelets. Les aspects suivants des conditions de travail seront évalués : temps de travail, organisation du travail, confort de travail ressenti par l'utilisateur et acceptabilité, intensité de l'effort global (investiguée par l'intermédiaire de l'activité cardiaque), intensité des efforts musculaires au niveau du dos, des membres inférieurs et des membres supérieurs et stratégies de mouvement.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Choix des modèles

Les modèles étudiés ont été choisis parmi les technologies disponibles sur le marché français au second semestre 2021. Commercialisés dans les secteurs de la santé et du bâtiment, ces modèles n'étaient pas développés spécifiquement pour l'élevage. Les modèles choisis devaient être utilisables en prévention, ce qui excluait les dispositifs médicaux, plutôt destinés à un maintien en emploi. Les autres critères de choix étaient la possibilité d'activer et désactiver l'assistance sans enlever l'exosquelette, la possibilité de les laver et désinfecter, et l'assistance pour la position « torse fléchi à plus de 45 degrés ».

Les deux modèles retenus sont le Liftsuit (A) d'Auxivo, et le Hapo (B) d'Ergosanté (Tableau 1). Le A a été acheté en taille unique (v1) et en taille 1 (v2), la taille 2 (v2) s'étant révélée après essai trop grande même pour des personnes de 1,80 m et plus. Le B a été acheté en tailles S et M. Les sept premières mesures sur le modèle B ont été réalisées avec la v1, qui présente des passants sous les bras, et les suivantes avec la v2 (sans passants sous les bras), suite à une casse sur les premiers modèles achetés.

Après la livraison, les deux modèles ont été présentés à l'équipe de la station expérimentale de Crécom. Après avoir appris à enfiler, activer, désactiver et enlever les deux modèles, les personnes de l'équipe les ont utilisés ponctuellement pendant quelques semaines, pour des tâches impliquant du port de charge (ex : soins aux porcelets) ou des efforts des muscles du dos. Aucun problème de solidité du matériel ou de sécurité n'ayant été relevé durant cette période, l'étude s'est poursuivie.

Tableau 1 - Comparatif des deux exosquelettes utilisés dans l'étude

| Modèle | A | B |
|--|---------------------------------------|---|
| Points d'ancrage | Epaules Taille Haut des cuisses | Epaules Hanches Au-dessus des genoux |
| Dispositif de compensation des efforts | Elastiques croisés dans le dos | Fibres carbone allant du côté des cuisses à l'avant des épaules |
| Poids, g | 900 | 1 100 |

1.2. Evaluation en conditions contrôlées

Une première évaluation de l'impact de l'exosquelette sur les conditions de travail a été réalisée en conditions contrôlées, hors tâches en élevage, auprès d'un échantillon de quatre personnes.

1.2.1. Panel impliqué

Le panel était composé de quatre techniciens de la station expérimentale de Crécom, deux hommes et deux femmes. Les âges étaient compris entre 23 et 52 ans, les tailles entre 1,62 m et 1,80 m. Une personne pressentie pour participer à l'essai a été exclue de l'échantillon car aucun des exosquelettes testés n'était réglable à sa morphologie (personne de petit gabarit). Un questionnaire de santé confidentiel et un entretien avec une conseillère en prévention des risques professionnels ont été réalisés afin de vérifier, en lien avec le médecin du travail suivant l'étude, l'absence de contre-indication médicale au port des exosquelettes étudiés. En effet, une chirurgie récente du dos, de l'épaule ou du genou constitue une contre-indication stricte ; des antécédents cardiaques, des problématiques de peau telles que l'eczéma, une grossesse ou le fait d'être en croissance (mineurs) amènent à une plus grande vigilance.

1.2.2. Description du contenu du test

Le principal objectif de cette phase d'étude préalable était d'investiguer les effets associés à l'utilisation des différents modèles d'exosquelettes sélectionnés dans des conditions stables et reproductibles, sur des phases d'efforts proches de ceux nécessaires à la réalisation des tâches de travail réelles en exploitation agricole. Pour ce faire, les participants ont été invités à réaliser deux types d'exercices avec et sans dispositifs afin d'observer les effets de ces derniers, dans différentes conditions, sur les différents paramètres mesurés. Ainsi, les exercices réalisés comportaient une phase statique de ramassage répété de charges de différentes masses (3 kg, 6 kg, 8 kg, 12 kg), avec 10 opérations par masses comprenant : flexion pour ramassage de la masse, extension pour retour à la position érigée, masse tenue avec les deux mains au niveau du nombril, flexion pour déposer de la masse au sol, retour à la position érigée "à vide". Ils comportaient également une phase dynamique comprenant le déplacement de charges de différentes masses (3 kg, 6 kg, 8 kg, 12 kg) sur de faibles distances (10 m). Les participants réalisaient un parcours de 2x10 m par masse comprenant : flexion pour prélèvement de la masse au sol, maintien de la masse tenue avec les deux mains au niveau du nombril, déplacement de la masse sur 10 m, déposer de la masse sur un support à hauteur des hanches, déplacement "à vide" pour revenir à la position initiale, déplacement "à vide" sur 10 m vers la masse, récupération de la masse à hauteur des hanches, déplacement de la masse sur 10 m, tenue avec les deux mains au niveau du nombril, flexion pour déposer de la masse au point de départ, et extension pour retour à la position érigée au point de départ. Les trois

modalités (sans exosquelette, exosquelette A, exosquelette B), étaient réalisées dans un ordre aléatoire.

1.2.3. Mesures réalisées

L'entretien d'inclusion des participants s'appuyait sur un questionnaire visant à évaluer le niveau de douleur pour 21 parties du corps. Pour cela, nous avons utilisé une Echelle Visuelle Analogique (EVA). Cette réglette dispose d'un curseur mobile, et de deux côtés différents. Du côté « enquêté », des couleurs matérialisent le côté « sans douleur » et le côté « douleur maximale ». De l'autre, figurent des graduations de 0 à 100. Les correspondances entre les scores et les niveaux de douleur figurent dans le Tableau 2 (Haute Autorité de Santé, 2022). Pour chaque partie du corps, l'enquêté devait positionner le curseur en fonction de l'intensité de la douleur ressentie (le curseur étant initialement en position médiane). L'enquêteur relevait alors le score figurant de l'autre côté.

Tableau 2 - Correspondances entre les scores de la réglette EVA et le niveau de douleur

| Score EVA | Niveau de douleur |
|-----------|-------------------|
| 0 | Pas de douleur |
| 1-39 | Faible |
| 40-59 | Modérée |
| 60-79 | Forte |
| 80-100 | Insupportable |

Source : Haute Autorité de Santé, 2022

Les personnes de l'échantillon ont été équipées d'un cardiofréquencemètre, de 17 capteurs inertiels (visant à analyser les stratégies posturales), et d'électrodes permettant l'enregistrement des signaux neuromusculaires (électromyographie : EMG). Ces capteurs étaient placés sur six muscles (Tableau 3 et Figure 1). La fréquence cardiaque de repos était mesurée avant le début de la séquence de travail après un repos de 10 minutes en position assise dans un endroit calme et silencieux. La fréquence d'acquisition des données d'EMG et de posture était de 1000 Hz. Les séquences de test étaient intégralement filmées afin de pouvoir, *a posteriori*, corréler les résultats aux déterminants du travail observé.

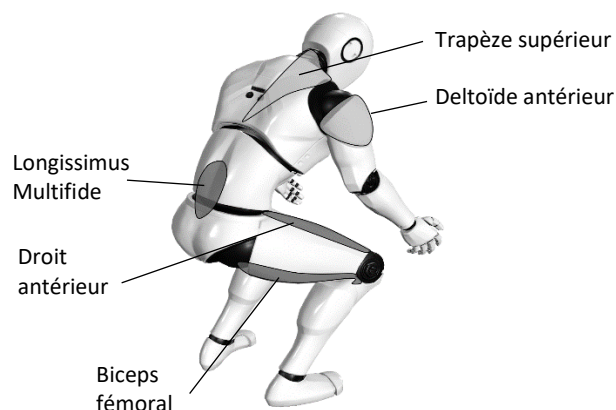


Figure 1 - Emplacement des muscles dont l'activité est étudiée

Tableau 3 – Emplacement des capteurs EMG et valorisation des données associées

| Emplacement des capteurs EMG | Posture / mouvement étudié | Impact étudié |
|---|---|---|
| Multifide Longissimus | Stabilité statique et dynamique de la colonne vertébrale / mouvements d'extension du tronc | Assistance physique du dispositif sur les muscles posturaux et érecteurs du rachis |
| Droit antérieur Biceps fémoral | Extension de la jambe / flexion de la hanche Flexion de la jambe / extension de la hanche | Absence de report de charge sur les membres inférieurs / sollicitation accrue |
| Trapèze supérieur Deltoïde antérieur | Mouvements d'élévation, d'adduction et de stabilisation de la scapula Mouvements d'abduction et de stabilisation de l'épaule | Absence d'impact du dispositif sur la stabilité de la scapula et de l'épaule (sangles), changement de stratégies opératoires (membres supérieurs) |

Lors de la remise de l'exosquelette, et à la suite de la réalisation des mesures, les enquêtés devaient remplir un questionnaire d'acceptabilité de l'exosquelette, en cochant des réponses sur cinq niveaux (de très insatisfait à très satisfait).

1.3. Evaluation en situation de travail (vaccination de porcelets)

1.3.1. Panel impliqué

Suite à cette première évaluation, des mesures en situation de travail ont été réalisées dans trois élevages de porcs finistériens, auprès de huit exploitants agricoles et salariés d'élevage, six hommes et deux femmes. Tous avaient plus de deux ans d'expérience, et l'ancienneté moyenne était de 20 ans. Les âges étaient compris entre 23 et 56 ans, avec une moyenne à 46 ans. Les tailles étaient comprises entre 1,63 m et 1,84 m. Les poids allaient de 68 à 118 kg.

Les exploitations participant à l'étude ont été choisies sur la base de l'intérêt du chef d'exploitation pour ce sujet. Un questionnaire de santé confidentiel et un entretien avec une conseillère en prévention des risques professionnels ont été réalisés afin de vérifier, en lien avec le médecin du travail suivant l'étude, l'absence de contre-indication médicale au port des exosquelettes étudiés.

1.3.2. Remise des exosquelettes

Dans les trois exploitations, une séquence de remise des exosquelettes a été organisée afin d'expliquer l'étude, de former les participants à l'utilisation des exosquelettes (habillage / déshabillage, activation / désactivation), de déterminer la taille adaptée à chacun pour chaque modèle, et de réaliser le questionnaire médical confidentiel. La première séquence de mesures était réalisée plusieurs jours plus tard, afin que les participants puissent s'habituer à porter les exosquelettes dans l'intervalle dans leur milieu de travail habituel.

1.3.3. Tâche étudiée

La tâche étudiée était la tâche de port des porcelets lors de leur vaccination en début de post-sevrage. Les personnes impliquées dans l'échantillon présentaient une diversité de pratiques. Dans une exploitation (deux personnes), la vaccination était réalisée dans le couloir par une personne qui attrapait et vaccinait les porcelets. Dans les deux autres exploitations (six personnes), la vaccination était réalisée dans les cases de post-sevrage. Les porcelets étaient bloqués par un panneau dans un angle de la case ; deux personnes les attrapaient et les présentaient à une troisième personne qui les vaccinait. Les séquences de vaccination observées duraient environ une heure. Durant ces séquences, la personne équipée de capteurs portait, dans un ordre aléatoire, les trois modalités d'équipement (sans exosquelette, modèle A, modèle B) pendant 15 à 20 minutes chacune. La consigne était, pour la personne, de travailler comme à son habitude en termes de rythme, de posture, de modes opératoires, etc.

1.3.4. Mesures réalisées

Les mesures réalisées étaient les mêmes que pour l'évaluation en situation contrôlée (Tableau 1). La fréquence cardiaque de repos était mesurée avant le début de la séquence de travail après un repos de 10 minutes en position assise dans un endroit calme et silencieux.

1.4. Analyses statistiques

Les données de fréquence cardiaque ont été exprimées en % du coût cardiaque relatif (% CCR). Le CCR est une mesure qui tient

compte de l'âge et permet d'apprécier l'adaptabilité individuelle du cœur au travail ou à l'activité physique. Il correspond à l'augmentation de la fréquence cardiaque (FC) entre le repos et sa valeur moyenne pendant la tâche. En d'autres termes, le CCR évalue la capacité du cœur à répondre aux besoins de l'organisme pendant une activité, en prenant en considération l'âge de la personne. Cette mesure est utile dans la gestion du risque lié à l'activité physique, en particulier au travail, pour s'assurer que les individus sont en mesure de supporter la charge de travail sans compromettre leur santé cardiaque.

Les données EMG (moyenne quadratique, amplitude, aire sous la courbe) ont été exprimées en % des efforts maximaux observés en situation standard (sans exosquelette) après traitement des signaux (redressement, filtrage, lissage) et les données posturales en % de temps passé à différents niveaux d'angulation articulaire. Après vérification de la normalité des distributions (test de Shapiro-Wilk, R version 4.2.3) et de l'homogénéité des variances (test de Fisher réalisé sous Excel), l'effet du port d'exosquelette et du modèle a été testé statistiquement par analyse des variances (Anova à un facteur sous Excel ou test de Kruskal-Wallis en fonction des résultats aux tests de Shapiro-Wilk et de Fisher ; le test T de Student a été réalisé avec BiostaTGV, de l'Inserm, fonctionnant sous R version 4.2.3). L'effet « élevage » n'a pas été étudié, les stratégies posturales étant davantage influencées par des facteurs individuels (taille, force, douleurs) que par la configuration du lieu de vaccination.

2. RESULTATS

2.1. Résultats en conditions contrôlées

L'ensemble des participants à cette première phase d'étude présente des douleurs chroniques importantes au niveau du rachis lombaire. Ainsi, le niveau moyen de douleur est de 74,8/100 au niveau des lombaires, avec trois personnes présentant un niveau de douleur forte, et une un niveau de douleur insupportable. Le niveau de douleur moyen est de 6,1 au niveau des dorsales, et de 14,5 au niveau des cervicales.

L'utilisation des exosquelettes A et B n'a pas d'impact sur le CCR lors de l'exercice statique (Tableau 4). On observe une légère réduction du coût cardiaque lors de l'utilisation du modèle B pour l'exercice dynamique ($P < 0,05$).

L'utilisation des deux exosquelettes augmente le temps de réalisation de la tâche (+22 % avec A, +32 % avec B). L'utilisation des exosquelettes réduit significativement ($P < 0,001$) la sollicitation des muscles du dos, le multifide et le longissimus, en exercice statique (respectivement -4 % et -5 % pour A, et -19 et -14 % pour B), et en exercice dynamique (respectivement -13 % et -9 % pour A, et -15 % et -7 % pour B). L'utilisation des exosquelettes n'a pas d'impact sur l'activité des muscles élévateurs de la scapula et de l'épaule en exercice statique. En exercice dynamique, le modèle A réduit significativement de 13 % l'activité du deltoïde, tandis que le B l'augmente significativement de 4 %. Concernant les muscles des cuisses, l'impact est différent selon les modèles. Le modèle A augmente significativement la sollicitation du droit antérieur (+30 % en statique, +18 % en dynamique) et diminue significativement la sollicitation du biceps fémoral (-3 % en statique, -9 % en dynamique). Le modèle B, quant à lui, diminue significativement la sollicitation du droit antérieur (-30 % en statique, -23 % en dynamique), et augmente significativement la sollicitation du biceps fémoral (+5 % en statique, +3 % en dynamique).

En termes de posture, on observe avec le port d'exosquelettes une augmentation forte, mais non significative ($P = 0,12$) de la proportion de temps passé avec le dos formant un angle inférieur à 0° (c'est-à-dire avec une position légèrement penchée vers l'arrière) : ainsi, celle-ci passe de 2,0 % (sans) à 24,2 % (A) et 18,4 % (B).

Le port des exosquelettes entraîne ici un certain redressement du tronc à l'exercice, et donc une diminution du temps passé en flexion (vers l'avant). En dehors de ce point, l'utilisation des deux exosquelettes n'entraîne pas de modification significative des postures et des stratégies de mouvements.

Tableau 4 – Impact du port des deux exosquelettes (Modèles A et B) étudiés sur le coût cardiaque et les efforts musculaires lors des mesures en conditions contrôlées

| | Sans exosquelette | Modèle A | Modèle B | Significativité ¹ |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|
| % du Coût Cardiaque Relatif (% CCR) | | | | |
| Exercice statique | 28,89 | 30,06 | 26,73 | ns |
| Exercice dynamique | 29,84 ^a | 30,80 ^a | 27,67 ^b | * |
| Sollicitation musculaire (exercice statique) : (en % des efforts maximaux « sans exo ») | | | | |
| Trapèze | 62,06 | 64,68 | 57,70 | ns |
| Deltoïde | 82,57 | 87,48 | 79,75 | ns |
| Multifide | 81,09 ^a | 77,79 ^b | 66,02 ^c | *** |
| Longissimus | 82,55 ^a | 78,70 ^b | 70,75 ^c | *** |
| Droit antérieur | 84,51 ^a | 110,27 ^b | 59,16 ^c | *** |
| Biceps fémoral | 77,61 ^a | 75,44 ^a | 81,22 ^b | *** |
| Sollicitation musculaire (exercice dynamique) : (en % des efforts maximaux « sans exo ») | | | | |
| Trapèze | 78,24 | 81,90 | 83,42 | ns |
| Deltoïde | 86,70 ^a | 75,32 ^b | 89,91 ^c | *** |
| Multifide | 83,21 ^a | 72,29 ^b | 71,06 ^b | *** |
| Longissimus | 84,45 ^a | 76,52 ^b | 78,51 ^c | *** |
| Droit antérieur | 67,31 ^a | 79,44 ^b | 51,83 ^c | *** |
| Biceps fémoral | 77,57 ^a | 70,75 ^b | 79,96 ^c | ** |

¹Effet du modèle d'exosquelette. ns : $P > 0,05$; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$. Sur une même ligne, des lettres différentes indiquent une différence statistique à $P < 0,05$.

2.2. Résultats en situation de travail

La plupart des participants à cette deuxième phase d'étude présentent des douleurs chroniques importantes au niveau du rachis lombaire. Ainsi, le niveau moyen de douleur est de 58,9/100 au niveau des lombaires, avec trois personnes présentant un niveau de douleur intense, et quatre un niveau de douleur insupportable. Le niveau de douleur moyen est de 23,3 au niveau des dorsales (deux personnes avec une douleur intense), et de 21,1 au niveau des cervicales (une personne avec une douleur intense).

2.2.1. Effort physique

Lors d'une des séances de vaccination, une des deux tiges du modèle B a été cassée par un utilisateur sur les deux tailles de

ce modèle. L'exosquelette a été remplacé pour la suite de l'étude, ce qui a amené le passage de la version 1 à la version 2.

L'utilisation des exosquelettes A et B n'a pas d'impact sur le coût cardiaque moyen lors des séquences de vaccination (Tableau 5).

L'utilisation des deux exosquelettes augmente numériquement le temps de réalisation (+21 % avec A, +16 % avec B), mais l'écart n'est pas significatif.

L'utilisation des exosquelettes n'a pas d'effet significatif sur l'activité du multifide, mais elle augmente significativement l'activité du longissimus (+16 % pour A, +37 % pour B). Au niveau des épaules, le port des exosquelettes augmente significativement l'activité du trapèze avec B (+18 %), et réduit significativement celle du deltoïde.

Tableau 5 – Impact du port des deux exosquelettes (Modèles A et B) étudiés sur le coût cardiaque et les efforts musculaires lors des vaccinations en élevage

| | Sans exosquelette | Modèle A | Modèle B | Significativité ¹ |
|--|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| Coût cardiaque (% Coût Cardiaque Relatif moyen) | | | | |
| Exercice statique | 31,62 | 30,80 | 34,68 | ns |
| Exercice dynamique | 35,59 | 31,01 | 36,84 | ns |
| Sollicitation musculaire : (en % des efforts maximaux « sans exo ») | | | | |
| Trapèze | 70,45 ^a | 72,91 ^a | 83,15 ^b | * |
| Deltoïde | 65,48 ^a | 36,63 ^b | 56,60 ^c | *** |
| Multifide | 88,95 | 87,16 | 78,59 | ns |
| Longissimus | 89,74 ^a | 103,90 ^b | 122,91 ^c | *** |
| Droit antérieur | 79,97 ^a | 139,82 ^b | 132,41 ^b | *** |
| Biceps fémoral | 79,97 ^a | 117,90 ^b | 118,86 ^b | ** |

¹Effet du modèle d'exosquelette. ns : $P > 0,05$; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$. Sur une même ligne, des lettres différentes indiquent une différence statistique à $P < 0,05$.

Au niveau des cuisses, l'activité des deux muscles étudiés est fortement et significativement augmentée, avec respectivement +75 % et +66 % pour le droit antérieur, et +47 % et +49 % pour le biceps fémoral.

2.2.2. Acceptabilité par les utilisateurs

Les questionnaires d'acceptabilité montrent des valeurs positives (>2,5/5) pour tous les items, avec peu d'écart entre les modèles. Les participants disent réussir à mettre et enlever seuls les deux modèles (note entre 4 et 5). La facilité et la rapidité d'habillage, l'adaptation aux mouvements, l'absence de gêne et l'absence de frottements ont des notes comprises entre 3 et 4. A l'issue de l'essai, une seule personne a répondu positivement à la question : « souhaiteriez-vous vous équiper ? ».

3. DISCUSSION

3.1. Pertinence de l'échantillon

L'étude a été réalisée afin d'évaluer l'intérêt d'exosquelettes « dos » dans une démarche de prévention, c'est-à-dire avant la survenue de problèmes de dos. Les entretiens d'inclusion révèlent que, parmi les 12 participants, un seul ne souffre pas de manière intense ou insupportable du dos. Il n'est donc pas possible de considérer cet échantillon comme un public destinataire potentiel d'actions de prévention primaire. Néanmoins, la prévalence des problèmes de dos étant très élevée en élevage porcin, nous considérons que ce public est représentatif de la population travaillant dans les élevages porcins bretons.

3.2. Intérêt des exosquelettes « dos » lors des vaccinations de porcelets

Les mesures réalisées en situation de travail montrent que l'utilisation des exosquelettes « dos » A et B n'a pas d'impact bénéfique sur l'activité musculaire au niveau du dos. Au contraire, les contraintes augmentent au niveau du longissimus, du trapèze, et des muscles des cuisses. Ceci s'explique sans doute par le fait que la vaccination des porcelets ne s'effectue pas dans le seul plan sagittal, comme c'est le cas pour les exercices en conditions contrôlées. La vaccination exige en effet un déplacement haut/bas, mais aussi des torsions du tronc qui mobilisent des muscles que les exosquelettes testés ne soulagent pas. Dans une démarche de prévention des problèmes de dos, ou de soulagement de problèmes de dos existants, les solutions techniques évitant de porter les porcelets (pont et fosse de vaccination, éleveur) sont donc à privilégier, tout en travaillant sur l'ensemble du poste de travail.

L'exosquelette arrive en fin de raisonnement lorsqu'on mobilise les neuf principes de prévention primaire définis dans l'article L4121-2 du Code du travail. Il ne peut pas être considéré comme un équipement de protection individuelle car les caractéristiques de la personne (morphologie, état de santé), l'environnement de travail et l'organisation de la tâche peuvent réduire, voire annuler, son bénéfice. Aussi, en cas d'utilisation, il est nécessaire d'être très à l'écoute du ressenti de l'utilisateur.

Alors que la population impliquée dans l'étude était a priori intéressée par les exosquelettes, et que les exploitants de plusieurs élevages envisageaient de s'équiper, les intentions d'équipement à l'issue de l'essai sont faibles. Ces résultats s'expliquent sans doute par le manque d'assistance ou les efforts (physiques, cognitifs, organisationnels) supplémentaires à fournir. Ils sont cohérents avec ceux d'autres études réalisées dans le milieu agricole, qui montrent des interruptions d'études faute d'adhésion des participants (Jakob *et al.*, 2023), ou des contraintes trop importantes par rapport aux bénéfices, dans le cas de la traite par exemple (Collet, 2022).

3.3. Intérêt des mesures en situation de travail

Alors que les tests en conditions contrôlées montraient une réduction des efforts musculaires au niveau du dos avec les exosquelettes, les résultats en situation de travail montrent au contraire une absence de bénéfice, et une augmentation des contraintes. En effet, attraper des porcelets au sol puis les maintenir au niveau de la poitrine demande de travailler dans plusieurs plans, avec une « charge » mobile, remuante, dont la contention demande davantage d'efforts qu'un objet du même poids. Cet écart montre l'intérêt d'évaluer l'impact d'équipements sur le travail en situation réelle, afin de prendre en compte l'ensemble des contraintes de la tâche.

CONCLUSION

En conditions contrôlées, les exosquelettes réduisent l'activité des muscles du dos. En revanche, ce n'est pas le cas dans la situation de travail observée. Cela s'explique par les contraintes de la tâche, liées à l'environnement de travail et surtout au fait de manipuler des animaux vivants et donc mobiles. Les exosquelettes « dos » testés ne semblent pas, dans leur version actuelle, permettre d'améliorer les conditions de travail lors de séances de vaccination. Des solutions de prévention primaire, visant à réduire les risques à la source, restent pour l'instant à privilégier.

Cette étude a bénéficié du soutien financier de France 2030 « Territoires d'innovations » et du Programme Régional pour le Développement Agricole et Rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BiostaTGV, Inserm – Université Santé Sorbonne. <https://biostatgv.sentiweb.fr/>.
- Collet C., 2022. Projet Exotraite : test de 3 exosquelettes à la traite en Normandie. 5èmes Rencontres Nationales Travail en agriculture, Clermont-Ferrand, France, 1 p.
- Haute Autorité de Santé, 2022. Liste des échelles acceptées pour mesurer la douleur, 5 p.
- INRS, 2023. Dossier Exosquelettes. En ligne. <https://www.inrs.fr/risques/exosquelettes/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- Jakob M., Balaguier R., Park H., Trask C., 2023. Addressing exoskeleton implementation challenges: case studies of non-acceptance in agriculture. *J Agromedicine*, 28(4), 784-796. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2023.2236605>
- MSA, 2015. Prévention du mal de dos en maternité porcine – Deux nouveaux chariots de soins aux porcelets pour moins d'efforts. Dossier technique Santé Sécurité au Travail, 75 p.
- MSA, 2023. Base sinistralité ATMP salariés 2000-2022
- R - The R Project for Statistical Computing – Version 4.2.3 - The R Foundation for Statistical Computing - c/o Institute for Statistics and Mathematics, Wirtschaftsuniversität Wien, Welthandelsplatz 1, 1020 Vienna, Austria
- Theurel J., Atain-Kouadio J-J, Desbrosses K., Keranguéven L., Duval C., 2018. 10 idées reçues sur les exosquelettes. INRS, 17 p.



L'influence des enjeux sociétaux sur les représentations du métier d'éleveur.euse et du changement

Elsa DELANOUE (1), Manon FUSELIER (2), Caroline DEPOUDENT (3), Morgane MELAN (4), Clémence VERMOT-FEVRE (5), Coralie ZIELINSKI (6), Anna BOUCARD (6), Agathe DORNIER (5), Tyfenn OGEL (3), Eloïse GAUQUELIN (2)

(1) Institut de l'élevage - IFIP Institut du porc - Itavi, 8 rue de Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex, France

(2) Institut de l'élevage, 8 rue de Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex, France

(3) Chambres d'agriculture de Bretagne, 24 route de Cuzon, CS 26032, 29322 Quimper Cedex, France

(4) CIVAM de Valencay et du Pays de Bazelle, 7 rue des Templiers, 36600 Valencay, France

(5) ADAR-CIVAM, 10 rue d'Olmor, 36400 La Châtre, France

(6) Chambre d'agriculture Pays de la Loire, 6 place Hélène Boucher, 44150 Ancenis, France

elsa.delanoue@idele.fr

L'influence des enjeux sociétaux sur les représentations du métier d'éleveur.euse et du changement

Le projet Entr'ACTES (CASDAR 2023-2026) vise à améliorer la compréhension de la diversité des représentations des éleveurs de leur métier et des enjeux sociétaux (environnement, bien-être animal, qualité de vie, etc.). Pour cela, une cinquantaine d'entretiens semi-directif ont été réalisées dans trois territoires d'étude (Bretagne, Pays-de-la-Loire, Centre) auprès d'éleveurs et d'accompagnants. L'échantillon d'éleveurs a été construit à partir de plusieurs critères de diversité (l'âge, le genre, le système, l'origine agricole, la filière, etc.). Les entretiens retranscrits intégralement et l'élaboration d'une grille de dépouillement ont permis la réalisation d'une analyse thématique et d'une analyse typologique des résultats. Les discours analysés révèlent différentes sources d'épanouissement des éleveurs dans leur métier : le travail avec les animaux, le sentiment d'utilité et la richesse du métier. Les préoccupations abordées par les éleveurs sont les incertitudes financières, les conditions de travail et les enjeux sociétaux (réchauffement climatique, avenir du monde agricole, vision de l'élevage par la société). Tous les éleveurs sont conscients de la présence de controverses autour de l'élevage, et expriment des ressentis nuancés à leur égard, allant d'un agacement léger voire marqué, à une forme de stimulation au changement face à de nouvelles opportunités. Cette diversité dans les ressentis se reflète dans leur rapport au changement. Certains éleveurs apparaissent plus hésitants face à la prise de risque quand d'autres sont plus convaincus et confiants. Le rapport des éleveurs au changement croisé à leur manière de se positionner au sein de la société dessine quatre profils d'éleveurs : les Animaliers communicants, les Commerçants contraints, les Entrepreneurs flexibles et les Paysans-citoyens. Ces profils montrent l'importance de redéfinir l'accompagnement au changement proposé aux éleveurs, pour les aider au mieux à faire face aux transitions qui s'annoncent tout en tenant compte de leurs sensibilités, aspirations et contraintes individuelles.

The influence of societal issues on farmers' perceptions of their profession and change

The Entr'ACTES project (CASDAR 2023-2026) aims to improve understanding of the diversity of farmers' views of the meaning of their profession and societal expectations. To achieve this, 60 semi-directive surveys lasting on average 1.5 hour were carried out in three study areas (Brittany, Pays-de-la-Loire, Centre) with breeders and advisors. The sample was built with a wide number of diversity criteria (age, gender, system...) The interviews, which were fully transcribed, and the development of a data analysis grid enabled the production of several thematic analysis, as well as a typological analysis of the results. This study identified a variety of sources of fulfilment for farmers in their work: working with animals, feeling useful, the diversity of tasks and so on.... Farmers also raised many concerns: financial uncertainties, global warming, the future of farming and society's view of farming. All farmers were aware of the controversies surrounding livestock farming and expressed more nuanced feelings about them, ranging from mild to marked annoyance, to a form of stimulation for change in the face of new opportunities. This diversity of feelings was reflected in their attitudes to change. Some farmers appeared more hesitant about taking risks, while others were more convinced and confident. Farmers' attitudes to change, combined with the way in which they positioned themselves within society, gave rise to four types of farmers: Communicative animal breeders, Constrained traders, Flexible entrepreneurs and Citizen farmers. These profiles show how important it is to redefine the support provided to livestock farmers in the face of change in order to help them cope as effectively as possible with the transitions that lie ahead, while considering their individual sensitivities, aspirations and constraints.

INTRODUCTION

La société française fait face à des enjeux multidimensionnels (préservation de l'environnement, santé, emploi, alimentation, relation au vivant et bien-être animal, etc.) qui interrogent les éleveurs car leur manière d'y faire face conditionne l'avenir de leur activité. Leur adaptation nécessitera des changements, qu'ils soient mineurs (de pratiques) ou majeurs (de conduite d'élevage ou de système), subis ou choisis.

Financé par le CASDAR sur 2023-2026 et piloté par l'Institut de l'Élevage, le projet Entr'ACTES (Élevage et filière, ACTeurs face aux Enjeux Sociétaux) vise à mieux appréhender, d'un point de vue sociologique, ce qu'être acteur de l'élevage signifie aujourd'hui et les dynamiques de changement en cours en élevage. Le projet a pour objectif d'une part d'accompagner les acteurs de l'élevage vers davantage d'intégration des enjeux sociétaux dans leurs pratiques et d'autre part de recréer du lien entre l'élevage et le reste de la société. La première action du projet, dont les résultats font l'objet de cet article, apporte un éclairage sur la manière dont les éleveurs perçoivent et réagissent face à ces enjeux sociétaux. Si l'étude est multi-filière, un soin est ici apporté pour détailler les résultats obtenus auprès des éleveurs porcins (les passages entre guillemets sont des citations d'éleveurs).

La première partie de l'article présente le contexte et la méthode d'enquête utilisée, la seconde partie expose les résultats de l'analyse thématique des points de vue des éleveurs, et la troisième partie présente la typologie des profils des éleveurs selon la manière dont ils perçoivent les enjeux sociétaux et le changement.

1. CONTEXTE ET METHODE

1.1. Contexte de mutations et questionnements en élevage

Le monde agricole a beaucoup évolué ces dernières décennies par une concentration des cheptels dans des bassins de production, un agrandissement et une spécialisation des élevages, impliquant une diminution du nombre des exploitations agricoles de petite taille (Delanoue et Roguet, 2015). Le métier d'éleveur connaît une profonde évolution, amplifiée par l'augmentation des pressions environnementales et socio-territoriales (Dufour et Dedieu, 2010). La société, elle aussi, connaît de forts changements, notamment sur sa perception des pratiques d'élevage. De nombreux questionnements ont fait émerger des controverses autour de l'élevage – souvent évoquées comme des « attentes sociétales » – concernant son impact sur l'environnement, le bien-être animal (BEA), le risque sanitaire et l'organisation des élevages (Delanoue *et al.*, 2018).

Ces interpellations impactent directement les éleveurs qui voient leur profession et leur légitimité remises en question. Les revendications de la société ne sont pas ressenties et perçues de la même manière selon les éleveurs. D'après l'étude de Coty *et al.* (2017), si 17 % des éleveurs se disent indifférents aux attentes et critiques de la société, 33 % ressentent de la colère, 26 % de la tristesse et 12 % de la démotivation. L'accompagnement des éleveurs dans la prise en compte de ces attentes dans leurs pratiques est essentiel pour garantir leur bonne mise en œuvre mais aussi la pérennité des exploitations d'élevage en général et leur acceptation par le reste de la société. Deux grands profils d'éleveurs se distinguent face au changement : certains éleveurs ne souhaitent pas changer pour

préserver leur sécurité et leur confort, quand d'autres sont stimulés par l'envie de progresser (Couzy et Dockès, 2006 ; Lusson et Coquil, 2016).

La controverse autour de l'élevage, par la transformation des normes sociales qu'elle induit en termes d'alimentation, de rapport à l'animal et à la nature, place l'élevage dans une situation où les risques pour sa pérennité sont non négligeables et où son existence même est menacée (Delanoue, 2023). Il importe désormais d'approfondir la compréhension de l'impact qu'ont ces enjeux sociétaux sur les éleveurs et leurs pratiques, pour être en mesure d'évaluer à quel point et dans quels sens la controverse influence l'avenir des filières d'élevage.

1.2. L'enquête qualitative

La présente étude repose sur la réalisation d'une enquête qualitative. Ce type d'enquête permet de comprendre la diversité des manières de penser et d'agir des individus grâce au recueil de leurs discours lors d'entretiens semi-directifs. A la différence d'une enquête quantitative, l'objectif ici est de saisir l'étendue de la variabilité des comportements et logiques de pensée des individus. Dans le cas de recherches exploratoires comme la nôtre, l'entretien semi-directif est particulièrement bien adapté car il permet de recueillir des informations nombreuses et variées en laissant à la personne enquêtée la liberté d'organiser son discours comme elle le souhaite, en réponse à des questions ouvertes posées par l'enquêteur et organisées dans un guide d'entretien (Kaufmann, 1996).

Nous avons ainsi réalisé 37 enquêtes auprès d'éleveurs au premier semestre 2023, dont neuf éleveurs avec un atelier porcine, dans les trois régions du projet : Pays de la Loire (7), Centre-Val de Loire (15) et Bretagne (15). Nous avons complété l'enquête par 13 entretiens auprès d'accompagnants des éleveurs (conseillers ou techniciens) pour recueillir leur regard plus global sur les points de vue des éleveurs qu'ils côtoient au quotidien. Le plan d'échantillonnage des éleveurs a été construit en prenant en compte la diversité des profils d'éleveurs. L'échantillon final est constitué comme suit : âge de 23 à 59 ans - 14 femmes et 21 hommes - 7 non issus du milieu agricole - 7 en bovins lait, 6 en bovins viande, 4 en porcs, 3 en volaille, 1 en caprin, 1 en ovin, 12 en élevage mixte (dont 5 avec un atelier porcine) - 8 en agriculture biologique, 6 en démarche qualité (sans OGM, HVE, label rouge). Les éleveurs enquêtés ont tous réalisé des changements sur leur exploitation, de différentes natures et amplitudes.

Les entretiens ont été intégralement retranscrits puis étudiés à l'aide d'une grille de dépouillement (tableur Excel). Deux types d'analyse des résultats ont ensuite été effectués : thématique en croisant les opinions des enquêtés sur une même thématique (lecture de la grille en ligne, regroupement des verbatims et synthèse par thématique), et typologique en regroupant les personnes en fonction de leurs logiques de pensée et d'action (identification de deux facteurs explicatifs et regroupement dans les profils).

2. ANALYSE THEMATIQUE : SENS DU METIER ET IMPACT DES ENJEUX SOCIETAUX EN ELEVAGE

2.1. Etre éleveur.euse.s en 2023

2.1.1. Des sources d'épanouissement diverses

Toutes filières confondues, le lien avec les animaux est l'élément qui ressort le plus des enquêtes : que ce soit le contact

avec l'animal ou des tâches particulières avec lui, il est source d'apaisement et de détente pour beaucoup d'éleveurs. Le lien à la nature est ressorti moins fortement mais a tout de même de l'importance, certains éleveurs ayant évoqué l'impact de leur métier sur le territoire et le paysage. Comme leurs collègues des autres filières, les éleveurs de porcs apprécient en priorité le contact avec les animaux dans leur métier. La plupart d'entre eux insistent en outre sur le côté stimulant d'une production technique. La richesse et la technicité du métier (travail avec les animaux, travail mécanique, des cultures...) est d'ailleurs la deuxième source d'épanouissement évoquée par les éleveurs, toutes filières confondues. Les relations humaines sont aussi mentionnées comme des satisfactions, notamment pour ceux qui commercialisent en vente directe et disent apprécier le contact avec les clients. Certains éleveurs porcins expriment leur satisfaction de nourrir leurs concitoyens ou d'avoir une production de qualité, y compris en circuit long : « *Moi, je suis content de pouvoir nourrir l'équivalent d'environ 20 000 français par an avec notre élevage* ».

Enfin, le fait de gérer une exploitation en autonomie et d'avoir une liberté organisationnelle et décisionnelle revient comme une importante source d'épanouissement pour les éleveurs. La gestion d'entreprise, le fait de surmonter les épisodes de crises, sont également présentés comme des facteurs d'épanouissement et de fierté par les éleveurs porcins : « *Ma satisfaction aujourd'hui, elle est surtout en tant que chef d'entreprise : relever les défis, affronter les épreuves, s'adapter en permanence* ».

2.1.2. Des difficultés au quotidien et des préoccupations pour l'avenir

Sans surprise, la charge et les conditions de travail ressortent dans notre enquête comme des difficultés majeures du métier. Les éleveurs enquêtés évoquent une charge mentale élevée, un équilibre entre la vie professionnelle et personnelle difficile à atteindre ainsi que le côté imprévisible et contraignant du travail avec du vivant. Pour les éleveurs porcins, l'organisation du travail et le fait de se dégager du temps sont des enjeux importants, notamment pour ceux qui ont pris la suite de parents ayant énormément travaillé : « *Je les ai vus trimer, je les ai vus douter, je les ai vus en chier... Donc non, ce n'était pas pour moi* ». S'ils en comprennent l'intérêt, tous les éleveurs jugent les tâches administratives de leur métier trop prenantes : jugées trop nombreuses et répétitives, les démarches administratives ajoutent une difficulté supplémentaire au métier.

Le niveau de rémunération, jugé insuffisant, apparaît comme une source d'inquiétude globalement partagée voire comme une source de démotivation. Les éleveurs expriment des préoccupations sur l'avenir de l'agriculture. Chez les éleveurs porcins, le revenu est présenté comme une juste récompense d'une maîtrise permanente des aspects techniques et économiques : « *Moi je dis qu'on a le salaire qu'on mérite. Si on travaille bien, si on a un bon niveau technique, si on maîtrise bien les charges, si on est pointilleux, en production porcine, on peut bien gagner sa vie* ».

Autres préoccupations des éleveurs quant à l'avenir de leur activité : le réchauffement climatique et les attentes sociétales ainsi que la difficulté de transmettre l'exploitation. En filière porcine plus particulièrement, deux enjeux impactant directement les exploitations sont source d'inquiétude pour les éleveurs : le changement climatique du fait de son impact sur les cultures et la disponibilité en eau d'une part, et d'autre part la disponibilité en main-d'œuvre qui conditionne le maintien de

l'élevage et la vivabilité du travail. Certains s'interrogent sur le type d'élevages à promouvoir, avec des visions variées, comme favoriser des élevages plus simples à gérer ou prévoir de plus grandes structures favorisant les remplacements.

2.2. La perception des attentes sociétales par les éleveur.euse.s

2.2.1. Un brouillard où règnent contradictions et inquiétudes

L'évocation des attentes sociétales provoque spontanément de vives émotions chez la grande majorité des éleveurs (toutes filières confondues) : agacement chez beaucoup, inquiétude pour certains, voire tristesse. Toutefois, passée cette émotion, ils finissent généralement par se montrer à l'écoute des attentes voire à se trouver en accord avec certaines d'entre elles. La majorité des éleveurs estiment déjà répondre en grande partie aux attentes sociétales, notamment ceux qui sont labellisés ou en système avec un accès à l'extérieur. D'autres considèrent que par du « *bon sens* » et le respect de la réglementation, ils ont un système qui « *coche des cases* ». Pour d'autres encore, ces attentes sociétales ont un côté « *plutôt vertueux* » car elles leur permettent de continuer à évoluer en « *se remettant en question* ».

Les éleveurs rencontrés considèrent que le monde agricole est méconnu de la société, ce qui leur donne l'impression que les consommateurs demandent des systèmes « *arriérés* » et avec des évolutions techniques perçues comme des régressions. La société leur apparaît perdue, exprimant des attentes qu'ils jugent changeantes, contradictoires et émises dans un contexte d'insatisfaction. Ils ressentent cette contradiction chez les consommateurs qui demandent plus de qualité sans toujours en payer le prix, ce qui suscite chez eux frustration et agacement. Les éleveurs en vente directe ont constaté avec déception un retour des consommateurs vers les grandes surfaces depuis le contexte d'inflation. Pour une partie des éleveurs porcins enquêtés, cette versatilité montre que, si ces enjeux sont importants, ils ne sont pas cruciaux pour l'avenir et incitent à la prudence : « *En l'espace de deux ans, on est passés de : "Il faut du bio", à "Merci de nous nourrir", à "Il faut que ça ne soit pas cher". Donc voilà, je suis moins à l'écoute de tout ça parce que le consommateur, il est pluriel et surtout il est très changeant. Et moi les bâtiments, je les paie sur 15 ans !* ».

2.2.2. Bien-être animal, environnement et modèle de développement

Lorsqu'on aborde les enjeux d'aujourd'hui et de demain, le bien-être animal est largement évoqué par les éleveurs enquêtés. Unaniment, ils disent respecter cette notion qui, selon eux, définit le métier d'éleveur, même s'ils sont nombreux à reconnaître que des progrès peuvent être faits. Le bien-être animal est également le premier enjeu évoqué par les éleveurs porcins, sans doute parce que certaines pratiques sont en cours d'évolution, et d'autres de mise en place récente. Pour certaines pratiques, comme avoir un minimum de lumière dans les salles et l'accès à l'eau, l'évolution est jugée légitime par les éleveurs interrogés. En revanche, les seuils et indicateurs réglementaires leur semblent parfois excessifs ou déconnectés du bien-être réel des animaux. La mise en place de nouvelles pratiques peut être freinée par des aspects techniques, comme la difficulté à maîtriser la caudophagie, ou par les incertitudes sur l'évolution de la réglementation. Sur cette question du bien-être animal, la filière porcine se sent plus concernée que les autres filières.

En ce qui concerne l'environnement, les agriculteurs interrogés relativisent leur impact et pensent que la responsabilité doit être partagée avec les autres citoyens. Le rôle essentiel et utile de leur métier, qui est de produire de la nourriture, dépasse selon certains d'entre eux les enjeux environnementaux. Les éleveurs porcins enquêtés considèrent que cette problématique est suffisamment encadrée réglementairement. Les odeurs restent un problème récurrent, mais c'est surtout dans les champs que les attentes environnementales s'expriment : « *Maintenant, dès qu'ils voient un pulvé, les gens disent : "Ah, on pollue !"* ».

Finalement, sur les modèles de développement en agriculture, les éleveurs ont des avis très partagés. Certains considèrent qu'il n'y a que des élevages de taille familiale en France. D'autres s'inquiètent d'une tendance à l'agrandissement des fermes, entraînant une dichotomie entre les systèmes orientés vers la qualité et ceux orientés vers les volumes. Les élevages de grande taille sont tantôt perçus comme des prises de risques (financière, transmission, etc.) ou à l'inverse comme un moyen d'avoir de meilleures conditions de travail (temps libre, etc.).

3. ANALYSE TYPOLOGIQUE : DIVERSITÉ DES PERCEPTIONS DES ATTENTES SOCIÉTALES ET DU CHANGEMENT

3.1. Choix des critères de diversité pour construire la typologie

Une typologie des éleveurs enquêtés, toutes filières confondues, a été construite après l'analyse qualitative des discours en croisant deux facteurs influençant fortement la diversité des points de vue des éleveurs.

L'axe vertical traduit l'intensité des relations entre l'éleveur et le reste de la société. Il est apparu dans l'enquête que certains éleveurs se distinguent par leur implication active dans de nombreux réseaux, qu'ils soient agricoles ou non : membres d'instances professionnelles, élus dans leur mairie, bénévoles dans des associations locales (parents d'élève, association sportive, etc.) ou nationales... Les liens de ces éleveurs avec le reste de la société sont qualifiés, dans notre typologie, de « plus étroits ». L'autre moitié de l'échantillon est engagée dans des réseaux agricoles uniquement (groupes d'éleveurs, CUMA, syndicat, etc.) ou bien ne participe à aucune action à l'extérieur de l'exploitation. Les liens de ces éleveurs avec le reste de la société sont qualifiés, dans notre typologie, de « plus distants ».

L'axe horizontal matérialise l'attitude des éleveurs face au changement de pratiques pour répondre aux attentes sociétales. Certains éleveurs cherchent continuellement à se remettre en question pour faire évoluer leurs pratiques et systèmes. Ils n'hésitent pas à faire des changements dits « de reconception » (Hill et MacRae, 1995) qui bouleversent le fonctionnement de l'ensemble du système (passage en bio, ouverture des bâtiments, etc.). Ces éleveurs sont ici qualifiés de « proactifs » car ils sont en recherche permanente de changement sur leur ferme et osent mettre en place des transformations profondes de leur conduite d'élevage. A contrario, d'autres éleveurs vivent les changements comme des contraintes qui menacent la viabilité économique de leur exploitation ou qui provoquent du stress et augmentent leur charge de travail. Ces éleveurs font des changements dits « efficients » ou de « substitution » (Ibid.), c'est-à-dire qui n'influencent pas la conduite globale de leur exploitation (comme diminuer l'usage d'antibiotiques). Ces éleveurs sont

qualifiés ici d'« hésitants » car, sans se dire complètement réfractaires, ils n'osent pas engager de profondes transformations sur leur exploitation, et les modifications qu'ils choisissent d'effectuer sont réversibles.

Ce croisement dessine quatre profils (Figure 1) : les « Animaliers communicants », les « Commerçants contraints », les « Entrepreneurs flexibles » et les « Paysans-citoyens ». En positionnant les éleveurs de notre échantillon au sein de ces profils, nous avons été en mesure de décrire finement leurs caractéristiques, celles de leur ferme (telles qu'observées dans notre échantillon), leur perception du métier et ce qui lui donne du sens à leurs yeux, leur point de vue sur les attentes sociétales et enfin leur attitude vis-à-vis du changement et de l'accompagnement.

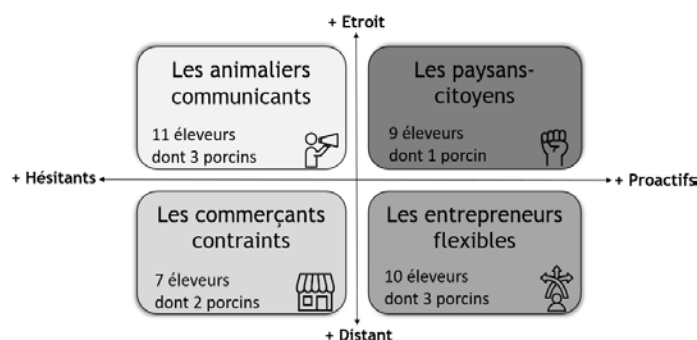


Figure 1 – Typologie des éleveurs en fonction de leurs liens avec la société et de leur attitude vis-à-vis du changement (n=37 éleveurs, dont 9 porcins en 2023)

3.2. Les Animaliers communicants

Les éleveurs de ce profil se sont installés il y a une dizaine d'années sur la ferme familiale (3 d'entre eux ont un atelier porcine). Ils sont très investis dans la vie locale (bénévolat associatif, vie politique, loisirs, etc.), organisent des visites de leur ferme (pour les professionnels ou le grand public) et sont également impliqués dans des groupes d'éleveurs. Leur système est souvent en conventionnel, en circuit de commercialisation long, et avec au moins deux personnes travaillant sur la ferme, car ils ne conçoivent pas de travailler seuls.

Les éleveurs de ce groupe sont passionnés par le contact avec les animaux et la gestion de leur troupeau. D'ailleurs, pour eux, le « bon éleveur » est celui qui connaît ses animaux et passe du temps à les observer. Cette passion pour l'animal explique le fait qu'ils n'envisageraient pas de travailler dans une autre filière agricole que la leur : ce qui donne du sens à leur métier, c'est le travail qu'ils effectuent au quotidien avec leurs bêtes.

Ces éleveurs sont ceux de notre enquête qui se sont montrés les plus agacés et critiques des attentes sociétales, notamment celles concernant le BEA. Ils ne comprennent pas, en effet, qu'on leur reproche de maltraiter leurs animaux alors que, pour eux, le métier d'éleveur est indissociable du soin apporté à leur troupeau. Pour eux, les controverses sur l'élevage sont orientées par des tiers (médias, industries, etc.). Ils regrettent cette image négative de l'agriculture véhiculée par les médias, et aimeraient que les citoyens prennent conscience de l'importance de leur métier. Ils souffrent en effet d'un fort manque de reconnaissance de la part du reste de la société. Pour pallier cela, ils n'hésitent pas à communiquer sur leur métier (à l'échelle locale ou parfois sur les réseaux sociaux) pour montrer que l'élevage, y compris le système conventionnel, répond en grande partie aux attentes de la société.

Les éleveurs de ce groupe sont caractérisés par une adoption ancienne, sur leur ferme, de pratiques favorisant le bien-être animal : truies en groupe, lumière naturelle dans les bâtiments, etc. Ce sont en général des pratiques mises en place depuis longtemps, et qui n'ont pas été directement influencées par la demande de la société mais par leur fibre animalière, ou pour se mettre en conformité avec la réglementation ou un cahier des charges. Certains sont amenés à des réflexions sur des transformations plus globales du fonctionnement de l'exploitation (être labellisé, faire de la vente directe, etc.), mais ils se disent empêchés financièrement d'aller au bout de leur projet.

Ces éleveurs ont du mal à prendre des décisions seuls et attendent d'être guidés par leurs pairs ou leurs conseillers. Ce sont des personnes qui cherchent à améliorer les conditions d'élevage de leurs animaux mais qui ne vont probablement pas entreprendre des changements seules.

3.3. Les Commerçants contraints

Les éleveurs de ce profil se sont installés sur la ferme familiale il y a longtemps (plus de 20 ans). Deux d'entre eux ont un atelier porcin. Ils ont des systèmes diversifiés, conventionnels ou alternatifs, et valorisent leurs produits en circuit court ou en mix circuit long/court. Ils ont pu être investis dans une vie associative locale ou agricole par le passé, mais aujourd'hui, par manque de temps ou d'envie, ils ne le sont plus. Ils présentent en effet une charge mentale et un temps de travail importants. Certains d'entre eux, en fin de carrière, commencent à réfléchir à la transmission de leur exploitation.

La vente directe est ce qui donne du sens à leur métier car elle leur permet d'avoir un lien avec l'extérieur et les consommateurs. Cet atelier représente même « *une bulle d'oxygène* » dans un métier qu'ils qualifient de « *prenant* » et de « *difficile* ». Ils expriment en effet une envie de prendre du temps pour eux et leur famille, et de ne pas rester à la ferme en permanence. Souvent débordés, ils disent travailler principalement à améliorer leurs conditions de travail d'une part et à garantir une bonne qualité de leurs produits pour la vente directe d'autre part. Toutefois, bien que ce soit un poste très demandeur en temps de travail, ces éleveurs n'envisagent pas d'abandonner la vente directe, qui leur apporte satisfaction et reconnaissance dans leur métier grâce au contact avec les clients.

Les éleveurs de ce profil se disent conscients des demandes de la société, notamment vis-à-vis de l'environnement, mais estiment que les citoyens devraient être plus responsables en traduisant leurs convictions par leurs achats (c'est-à-dire en achetant les produits répondant à leurs attentes, même s'ils sont plus chers).

Ce groupe est caractérisé par l'adoption très ponctuelle de pratiques peu contraignantes (même si des transformations plus importantes, comme des conversions à l'agriculture biologique, ont pu avoir lieu par le passé). Ils considèrent avoir un système qui répond aux demandes de la société mais peuvent tout de même être amenés à se questionner voire faire quelques modifications dans leurs pratiques. Leurs motivations aux changements sont davantage liées à leur volonté d'améliorer leurs conditions de travail et de diminuer leur charge mentale, qu'aux attentes sociétales.

Ces éleveurs sont généralement peu accompagnés, que ce soit en individuel ou en collectif. Ils ont mobilisé une forme d'accompagnement lors de changements passés, mais

actuellement ils fonctionnent plutôt en routine et de manière isolée. Ils peuvent faire partie de groupes d'éleveurs ou participer à des formations, mais dans un objectif de sortir de leur isolement plutôt que d'engager des changements.

3.4. Les Entrepreneurs flexibles

Ces éleveurs, dont certains ne sont pas issus du milieu agricole, sont installés depuis une dizaine d'années ou moins. Ils sont très investis dans les réseaux agricoles (associations, bureaux, CUMA, groupes d'échange de pratiques, coopératives, etc.). Trois d'entre eux ont un atelier porcin. Leurs fermes sont plutôt en système conventionnel, en Label Rouge ou sous cahier des charges privé. Ils commercialisent le plus souvent leur production en circuit long. Ce sont des personnes qui disent travailler énormément et ne pas compter leurs heures. Mais contrairement au groupe des Commerçants contraints, ils ne souffrent pas de cette charge de travail.

Ces éleveurs sont passionnés par l'aspect technique de leur métier. Ils sont dans une recherche permanente d'optimisation de leur travail et de leur production. Ils apprécient la polyvalence du métier d'éleveur. Ils tirent une grande fierté de gérer eux-mêmes une exploitation qui fonctionne bien.

Ils se disent à l'écoute des attentes sociétales car elles représentent pour eux des opportunités de marché à saisir. Ils sont particulièrement sensibles aux questions environnementales et, pour eux, le BEA est déjà présent sur leur ferme. Ils aiment communiquer sur leur métier, mais principalement à destination de leurs collègues éleveurs, à travers les réseaux sociaux ou par des visites de fermes, pour montrer que d'autres manières de travailler et de produire sont possibles.

Ce groupe est en effet caractérisé par l'expérimentation : ce sont des éleveurs qui testent de nombreuses pratiques différentes. Ils n'hésitent pas à revenir en arrière si ces changements ne leur semblent pas optimaux. Ils qualifient leur exploitation d'« outil », qu'ils peuvent adapter au monde de demain : certains d'entre eux se disent prêts à changer de label, voire de type de production si le marché penche dans ce sens.

Ce sont des éleveurs qui ont une volonté forte d'avoir une autonomie décisionnelle sur leur ferme pour rester maître de leurs choix. Ils sont en recherche perpétuelle d'amélioration de leurs conditions de travail, des conditions d'élevage et enfin de leurs performances. Pour cela, ils n'hésitent pas à mobiliser toutes les ressources qui sont à leur disposition, qu'elles soient formelles (formations, groupes, ...) ou non (échanges informels, autoformation, etc.).

3.5. Les Paysans-citoyens

Les éleveurs de ce groupe sont souvent de jeunes installés (moins de 5 ans d'activité) qui ont eu quelques années d'expérience professionnelle avant leur installation. Un d'entre eux a un atelier porcin. La majorité des personnes non issues du milieu agricole de notre échantillon se trouve dans ce groupe. Ces éleveurs sont souvent en système alternatif et en circuit de commercialisation court. Ils sont engagés dans de multiples activités et souvent dans des bureaux à l'échelle locale (école des enfants, loisirs, bénévolat, etc.) ou du monde agricole (Organisation Professionnelle Agricole, etc.). Dans leurs objectifs de travail, ils accordent une place centrale à la qualité de vie et à l'équilibre vie professionnelle/vie personnelle.

Ce sont des éleveurs-citoyens qui se sentent responsables de leur territoire et de son dynamisme. Ils perçoivent ce métier

comme une mode de vie avant tout, avec une fonction sociale et environnementale. Ils se sont installés parce qu'ils sont passionnés par les animaux et la nature, et aiment la possibilité d'entretenir le paysage, de « *laisser une trace* ». Le travail en symbiose avec la nature et les animaux et le retour des clients (pour ceux en vente directe) sont les principales satisfactions des éleveurs de ce groupe.

Ces éleveurs disent comprendre les inquiétudes de la société concernant l'élevage, et les trouvent légitimes. Ils souscrivent à beaucoup d'attentes sociétales, qui correspondent à leurs propres convictions. Ils aiment communiquer sur leur métier à travers des visites de leur exploitation.

Les personnes de ce groupe ont pour objectif de développer des systèmes complètement différents de l'agriculture conventionnelle. Dans une démarche de marche en avant, ils ont goûté à penser pour demain, innover, aller au-delà du cahier des charges sans toujours avoir la certitude d'un retour économique (plus-value, etc.). Leurs motivations au changement sont avant tout personnelles, en accord avec leurs convictions, et donc ils n'envisagent pas de retour en arrière lorsqu'ils ont effectué un changement (au contraire des Entrepreneurs flexibles).

Ces éleveurs sont très partisans du conseil individuel et sont souvent très proches de leurs accompagnants. Ils accordent une plus grande importance au facteur humain de l'accompagnement qu'à la méthode d'accompagnement en elle-même. Elles opèrent facilement des changements en étant accompagnées. Pour autant, elles ont également pu réaliser des changements seules, sur des pratiques très alternatives, et déplorent souvent un manque d'accompagnement dans ces situations faute de références.

CONCLUSION

Tous les éleveurs rencontrés apparaissent conscients des enjeux sociétaux, notamment en ce qui concerne l'environnement et le bien-être animal. Néanmoins, ils ont des ressentis nuancés allant d'un agacement plus ou moins marqué et sclérosant, à une volonté de se transformer pour répondre à ces opportunités. La typologie a mis en avant différentes manières de percevoir les enjeux sociétaux et de penser le changement chez les éleveurs. Toutefois, on note quelques tendances générales partagées par tous, quels que soient les profils.

Tout d'abord, il apparaît que le type d'animal élevé influence peu les logiques de pensée. En effet, on retrouve toutes les productions (porcs, volailles ou ruminants) dans chaque profil. Toutefois, c'est l'organisation de la filière qui a tendance à influencer les rapports au changement : les éleveurs en filière très intégrée ont souvent déclaré, dans notre enquête, être dans l'attente de directives de leur coopérative ou de leur groupement concernant les transformations à mettre en œuvre sur leur ferme. Certains avaient plutôt tendance à regretter cette situation, se sentant freinés dans leur capacité à faire évoluer leur exploitation, quand d'autres au contraire mettaient en avant le fait que cette organisation leur assurait des revenus et des débouchés fixes lorsque des démarches de changement collectives étaient engagées.

Plus largement, on note un sentiment partagé d'inquiétude vis-à-vis de l'avenir chez les éleveurs rencontrés. Cette inquiétude concerne à la fois l'avenir de l'exploitation en tant que telle (sa viabilité économique, sa résilience, sa vivabilité en termes de travail, etc.) et plus globalement l'avenir de l'élevage voire de l'agriculture française (compétitivité face à la concurrence étrangère, choix de systèmes, manque de main d'œuvre, etc.). Cette inquiétude est plus ou moins grande chez les éleveurs rencontrés, mais elle est généralisée et entraîne chez certains de la tristesse voire de l'anxiété.

Cette étude questionne plus largement l'accompagnement au changement en élevage. En porc, deux leviers peuvent être actionnés selon la manière dont l'éleveur se définit. Pour les éleveurs attachés à leur statut de chef d'entreprise, habitués à relever des défis et à surmonter des crises, des obligations de résultats, et non de moyens, leur permettraient d'engager des transformations sans leur prescrire la solution. Pour les éleveurs attachés à la technique et pour lesquels la GTTT-GTE fournit des indicateurs, l'enjeu est de leur trouver des bénéfiques techniques aux évolutions prescrites.

Cette étude va être suivie, dans les mois à venir, d'une enquête quantitative auprès d'un échantillon représentatif d'éleveurs français, qui permettra d'affiner la description des profils et d'estimer de manière précise la part de chaque profil au sein de la population d'éleveurs.

Les autrices remercient les personnes qui ont accepté de témoigner en entretien. Cette étude a bénéficié du soutien financier du Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coty M., Poisson A., Roguet C., Grannec M.-L., Laurin M., Neumeister D., 2017. Perception et prise en compte par les éleveurs du regard de la société sur l'élevage. Journées Rech. Porcine, 49, 321-322.
- Couzy C., Dockès A.-C., 2006. Multiplicité des métiers, diversité des modèles de référence : un éclairage sur les transformations des métiers des agriculteurs. Renc. Rech. Ruminants, 13, 51-54.
- Delanoue E., 2023. Comment la controverse autour du bien-être des animaux d'élevage peut transformer les normes sociales ? Un regard sociologique. Innov. Agronomiques, 87, 33-46.
- Delanoue E., Roguet C., 2015. Acceptabilité sociale de l'élevage en France : recensement et analyse des principales controverses à partir des regards croisés de différents acteurs. INRAE Prod. Anim., 28, 39-50.
- Delanoue E., Dockès A.-C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. INRAE Prod. Anim., 31, 51-68.
- Dufour A., Dedieu B., 2010. Le travail en élevage et ses transformations : analyses sociologiques. Journées d'étude INRA SAD-CIRAD. In: Le travail en agriculture dans les sciences pour l'action, France, 11 p.
- Lusson J.-M., Coquil X., 2016. Transitions vers des systèmes autonomes et économes en intrants avec élevages de bovins : freins, motivations, apprentissages. Innov. Agronomiques, 49, 353-364.
- Hill S., MacRae R., 1995. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. J. Sust. Agric., 7, 81-87.
- Kaufmann J.-C., 1996. L'entretien compréhensif. Paris, Nathan, 128 p.



Les éleveurs porcins et l'évolution des bâtiments d'élevage : typologie des différents points de vue

Jeanne COTTET, Yvonnick ROUSSELIERE, Elsa DELANOUE

IFIP-Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu Cedex, France

yvonnick.rousseliere@ifip.asso.fr

Les éleveurs porcins et l'évolution des bâtiments d'élevage : typologie des différents points de vue

Le parc de bâtiments porcins s'est développé sur la base d'un modèle quasiment unique : le bâtiment fermé sur caillebotis intégral. Actuellement, émerge une nouvelle génération de bâtiments qui tentent de concilier les divers enjeux auxquels les éleveurs font face : respect de l'environnement, meilleure prise en compte du bien-être animal, réponse aux attentes sociétales, bonnes conditions de travail, tout en assurant des performances zootechniques satisfaisantes. Dans ce contexte, une étude sociologique a été menée auprès d'éleveurs de porcs pour identifier les motivations qui les ont conduits à imaginer leurs bâtiments d'élevage et les éventuels freins à leur évolution. Pour ce faire, 22 entretiens semi-directifs ont été réalisés d'août 2022 à février 2023 auprès d'éleveurs répartis sur l'ensemble du territoire français et disposant de systèmes d'élevage variés (allant du conventionnel à l'alternatif). A la suite de ces entretiens, une analyse thématique a permis d'identifier deux critères expliquant la diversité des comportements des éleveurs vis-à-vis des bâtiments d'élevage : (i) leur positionnement vis-à-vis du bien-être qui peut être orienté davantage vers l'animal, vers l'éleveur ou les deux à la fois ; (ii) leur positionnement vis-à-vis du changement, allant des conservateurs (souhaitant continuer dans le modèle actuel) jusqu'aux précurseurs (qui sont prêts à imaginer un autre modèle de production). Sur la base de ces deux critères, six profils d'éleveurs ont été identifiés. Ils sont décrits à l'aide d'une synthèse rédigée sous forme de cas-type complétée par des verbatims. Ce travail a été enrichi par 30 visites d'élevages permettant de mieux comprendre le type de bâtiment que nous pouvons associer à chaque profil. L'objectif de cette typologie est de comprendre les principales attentes des éleveurs au sujet des évolutions des bâtiments en vue de mieux les accompagner dans leurs futurs projets.

Pig farmers and the evolution of farm buildings: a typology of different points of view

The pig building sector has developed based on a single model: a closed building with slatted floor. Currently, a new generation of buildings is emerging which seeks to reconcile various issues that pig farmers are facing: decreasing environmental impacts, improving animal welfare, meeting societal expectations, and providing good working conditions, all while ensuring good zootechnical performance. In this context, a sociological study of pig farmers was performed to identify the motivations that drove them to envision their breeding facilities and potential obstacles to their development. To this end, 22 semi-structured interviews were conducted from August 2022 to February 2023 with breeders located across France who had a variety of breeding systems, ranging from conventional to alternative. After these interviews, thematic analysis identified two criteria that explained the diversity of livestock farmers' behaviours towards livestock buildings: i) their stance on animal welfare, which may be geared towards the animal, the farmer, or both; and (ii) their position on change, ranging from conservatives (who wanted to continue the current model) to pioneers (who were willing to envision a different production model). Based on these two criteria, six profiles of farmers were identified and summarised as case studies supplemented with quotations. This study was enriched by 30 farm visits to better understand the type of building associated with each profile. The aim of this typology is to understand pig farmers' main expectations for the evolution of buildings in order to better support them in their future projects.

INTRODUCTION

La filière porcine française est un atout majeur pour le secteur agricole, que ce soit sur le plan national comme européen. Depuis les années 1950, les changements dans l'agriculture française ont conduit à l'émergence du modèle économique actuel caractérisé par des charges importantes sur les élevages, notamment en matière d'investissement (Ifip, 2018). Ces évolutions ont par ailleurs entraîné une réduction du temps de travail par animal produit, grâce au développement de l'automatisation et à l'aménagement des bâtiments (Tricard *et al.*, 2015). Mais elles n'ont pas eu que des effets positifs. Dans un contexte où le nombre d'exploitations a diminué tandis que leur taille a augmenté, cela a entraîné une demande en main-d'œuvre salariée plus importante. Cette dernière étant de plus en plus difficile à recruter, ceci contribue à accroître la problématique du maintien de l'activité et du renouvellement des exploitations agricoles (Tricard *et al.*, 2015 ; Depouvent *et al.*, 2021).

Dans le même temps, les élevages de porcs ont dû faire face à de nombreuses controverses et à l'arrivée de nouvelles réglementations visant à mieux protéger l'environnement, notamment la pollution de l'eau aux nitrates agricoles ou encore les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre (Delanoue *et al.*, 2018), ou plus récemment, les débats autour des attentes des consommateurs et du bien-être animal. Une grande majorité des citoyens ne souhaite pas interdire l'élevage en France et leur vision principale concernant l'avenir de l'élevage est axée sur une amélioration continue pour mieux répondre aux attentes (Delanoue *et al.*, 2015). Ainsi, si beaucoup d'éleveurs sont agacés par ces remises en question, certains d'entre eux les voient comme une incitation à changer leurs pratiques (Coty *et al.*, 2017 ; Delanoue *et al.*, 2018) et comme de nouvelles opportunités de marché.

Environ 99 % des élevages porcins continuent d'utiliser le bâtiment comme outil de production, avec environ 95 % du parc sur caillebotis (Pagès, 2022 ; Rivièrè, 2023). Les réflexions autour de l'évolution des bâtiments sont de plus en plus nombreuses alors que le parc français continue de vieillir, en particulier les bâtiments d'engraissement qui ont un âge moyen de 24 ans (Bertin et Ramonet, 2016). Le parc bâtiment d'engraissement français a ainsi besoin de se rajeunir afin de pérenniser la filière mais aussi d'innover pour s'inscrire dans un modèle d'élevage plus en adéquation avec les besoins des éleveurs et les attentes de la société actuelle.

C'est dans ce contexte que l'Ifip, qui accompagne les différents acteurs de la filière, a mis en place le projet BâtiPorc C4E. Ce projet a pour objectif de concilier quatre critères (bien-être animal, environnement, ergonomie au travail et exigences sociétales), en lien avec les enjeux de l'élevage, dans un bâtiment d'engraissement innovant. Notre étude s'inscrit donc dans ce cadre de recherche, avec comme objectif de comprendre la perception par les éleveurs français des différentes innovations ou changements de pratiques en bâtiment.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Échantillonnage

L'enquête auprès des éleveurs vise à mieux cerner leurs freins et leurs motivations au changement des bâtiments d'élevage porcins. Pour appréhender ces perceptions, 22 éleveurs porcins

français ont été invités à échanger sur leur vision du bâtiment et des enjeux qui gravitent autour. Ils ont été choisis à la suite de visites de terrain ou sur recommandation d'acteurs de la filière. Les entretiens ont été menés entre août 2022 et février 2023. Les éleveurs étaient sélectionnés sur deux critères : leur système de production et la zone géographique de leur ferme. Ces deux critères visaient à constituer un échantillon représentant la diversité des perceptions du métier d'éleveur porcins, au sein d'exploitations aux systèmes variés et de contextes géographiques différents. L'objectif de ce plan d'échantillonnage était d'avoir une grande diversité des manières de penser l'innovation et le changement.

Le critère « système de production » regroupait un large éventail d'élevages allant du système de production classique en bâtiment fermé sur caillebotis intégral jusqu'aux systèmes de production de niche avec 100 % de plein-air. Les élevages ont été répartis selon cinq sous-critères d'après les visites d'élevage et des avis d'expert :

- 1- Conventionnel (C) : élevages qui possèdent un bâtiment d'engraissement standard (bâtiment fermé sur caillebotis intégral).
- 2- Innovations « bâtiment » (IB) : élevages qui possèdent un bâtiment d'engraissement standard mais avec une particularité, une innovation, qui modifie la structure du bâtiment (nouveau au niveau des fenêtres, de la case, du toit, etc.).
- 3- Innovations « paille » (IP) : élevages qui possèdent un bâtiment d'engraissement standard mais qui, dans leur conduite, apportent de la paille à leurs animaux sous différentes formes.
NB : certains éleveurs possèdent à la fois des innovations « bâtiment » et des innovations « paille » sur leur exploitation : ce sont des éleveurs IBP.
- 4- Accès extérieur (AE) : élevages qui possèdent un bâtiment ouvert autorisant les animaux à aller à l'extérieur (en système biologique ou non).
- 5- Alternatif (AI) : élevages qui ne possèdent pas de bâtiments et qui élèvent leurs porcs charcutiers dans des parcours extérieurs avec, à leur disposition, une cabane en guise d'abris.

Les abréviations des sous-critères (C, IB, IP, IBP, AE et AI) sont utilisées lors de la présentation des résultats.

Le critère « zone géographique » se basait sur les différentes aires de production de l'élevage porcins en France métropolitaine. Nous avons considéré trois zones géographiques pouvant influencer la conduite des élevages : un bassin de production en Bretagne-Pays de la Loire-Normandie, une zone d'AOP/IGP dans le quart sud-ouest du pays et des zones limitrophes à des pays européens fortement producteurs (Région Nord et Grand Est).

Ces critères permettaient d'avoir un panel d'éleveurs différents et représentant la grande diversité des élevages porcins français.

1.2. Le déroulement des entretiens

Les entretiens semi-directifs ont été menés en présentiel, à l'exception de trois entretiens menés par téléphone. Ils s'apparentaient à une discussion : le but était de laisser l'enquêté parler et de ne rebondir que pour approfondir l'une de ses paroles que nous jugions utile pour améliorer notre compréhension des motivations personnelles.

La discussion suivait un guide d'entretien élaboré au préalable. Le guide a été conçu pour répondre à la problématique générale de l'enquête : *Comment le bâtiment d'engraissement, au cœur de l'élevage porcin, peut répondre aux enjeux de l'agriculture de demain ?* De cette problématique, de la bibliographie et d'entretiens exploratoires menés auprès d'experts ont découlé trois thèmes principaux structurant le guide : les enjeux actuels de l'élevage porcin (thème I), le bâtiment porcin face aux enjeux de l'élevage (thème II) et l'avenir de l'élevage porcin (thème III). Le guide en lui-même ainsi que chaque thème a été construit en « entonnoir » : les questions posées allaient du plus général au particulier, pour favoriser l'expression spontanée et ne pas influencer les réponses des enquêtés.

Une fois les entretiens effectués, ils ont été retranscrits et les discours obtenus ont permis de compléter une grille de dépouillement (tableau Excel). En plus de cette grille, cinq mots-clés par entretien ont été choisis pour caractériser la vision du changement par l'enquêté.

La grille de dépouillement a permis de synthétiser les entretiens pour faciliter leur comparaison ainsi que leur analyse par thématique. De cette analyse, nous avons pu dégager une typologie des éleveurs autour de la problématique du changement et de l'innovation dans les élevages porcins.

1.3. La réalisation de visites techniques en élevage

En parallèle des entretiens, des visites d'élevage ont été menées auprès de 30 éleveurs de porcs ayant déjà mis en place une innovation sur leur élevage et ayant fait évoluer leurs pratiques. Les visites duraient entre 2 et 3h : 20 à 30 minutes en salle pour comprendre l'organisation de l'exploitation et le cadre de travail de l'éleveur, puis 1h30 à 2h dans le bâtiment innovant pour obtenir un retour des éleveurs sur les atouts et les contraintes techniques de ce nouveau concept.

2. RESULTATS

Cette étude avait pour objectif d'identifier, chez les éleveurs, les freins et les motivations au changement dans les bâtiments d'engraissement. Nous avons ainsi pu évaluer la perception du changement par les éleveurs, ce qui nous a permis de construire une typologie des éleveurs porcins face au changement.

2.1. Bien-être animal et bien-être de l'éleveur : deux enjeux majeurs

Les mots-clés choisis pour caractériser la vision du changement ont été regroupés dans un nuage de mots (Figure 1). Ceux qui ressortent le plus sont le bien-être animal, l'ergonomie et l'économie. Les éleveurs mettent en avant le besoin de plus de bien-être dans leur exploitation et dans leur travail. Cette harmonisation du bien-être au sein des exploitations rejoint le concept de « One Welfare » qui place le bien-être animal, le bien-être de l'éleveur et le bien-être de l'environnement au même niveau (Mounier, 2020). Cependant, la prise en compte de ce concept induit des changements qui peuvent être plus ou moins impactant, en particulier pour la dimension « économie ».

2.1.1. Le bien-être animal

De manière générale, les éleveurs ont exprimé leur difficulté à se projeter dans l'avenir concernant le bien-être animal, entre les demandes des consommateurs et la réglementation qui peuvent évoluer à tout moment. Parmi les éleveurs, certains ont investi dans des maternités liberté et ont profité de la mise aux normes des truies gestantes en 2013 pour passer d'un système caillebotis à un système paille. Deux types d'éleveurs se dégagent alors dans notre échantillon : les éleveurs centrés sur l'animal qui ont un lien plutôt fort avec ce dernier, et les éleveurs qui respectent la réglementation sur le bien-être animal sans aller plus loin.

Concernant les attentes des consommateurs, les éleveurs ont déclaré comprendre ces demandes (notamment en lien avec le cannibalisme et les pratiques douloureuses). Ils recherchent des solutions : « *Ce sont des sujets sur lesquels il faut travailler, qui ne sont pas simples. On ne va pas trouver la solution en un claquement de doigts. Peut-être que dans dix ans on ne l'aura toujours pas trouvée, mais si on ne travaille pas dessus on ne fait pas notre métier.* » (éleveur C). Même si ces pratiques sont souvent effectuées dans un but d'optimisation du travail, les éleveurs réalisent que le monde de l'élevage doit se réinventer dans sa manière de loger les animaux.

2.1.2. Le bien-être de l'éleveur

Le bien-être au travail est une thématique importante pour les éleveurs rencontrés. Ils l'ont cité en lien avec trois enjeux différents : la pénurie de main-d'œuvre, la charge de travail et l'aspiration à plus de temps libre, et la reprise des exploitations.

Si les éleveurs rencontrés évoquent positivement leur métier (souvent qualifié de « métier passion »), ils déplorent la charge de travail conséquente et l'astreinte qui peuvent être décourageantes. Cette charge de travail est à la fois un frein pour l'éleveur mais aussi pour la reprise des exploitations, surtout si l'outil n'offre pas des conditions optimales : « *Une entreprise se cède si elle est au goût du jour, performante et rentable.* » (éleveur C) ; « *Pour attirer les jeunes, il faut être capable d'offrir des conditions de vie et de travail similaires à n'importe quel autre métier.* » (éleveur C)

Optimisation du travail et bien-être animal ont souvent été évoqués ensemble. Les éleveurs rencontrés ayant un bâtiment expliquent notamment que l'organisation de celui-ci est autant importante pour le bien-être des animaux que pour le bien-être des travailleurs : « *Quand on travaille avec du vivant il faut se donner du temps et le temps, c'est de l'argent. C'est pour ça que je reviens toujours à cette problématique de prix, c'est parce qu'au bout d'un moment quand on veut que les gars fassent 8 h -17 h et bien, il va falloir qu'on ait pensé à des bâtiments où les animaux sortent facilement, qu'on n'ait pas besoin de les bousculer.* » (éleveur IP). Cette notion de bien-être, pour l'animal ou pour les travailleurs, était présente dans les innovations et pouvait même permettre de s'améliorer techniquement : « *De toute façon, faut pas rêver : plus le cochon est bien, plus il pousse, plus on gagne de l'argent donc on a tout intérêt.* » (éleveur IBP).



Figure 1 – Nuage de mots caractérisant la vision du changement par les éleveurs

2.1.3. Une incertitude partagée concernant l'avenir

Les innovations dans les élevages rencontrés ou en réflexion touchaient principalement la notion de bien-être. Les éleveurs rencontrés souhaitaient qu'elles permettent de trouver un juste milieu entre le 100 % bâtiment et le 100 % plein-air pour répondre à la fois aux demandes des consommateurs mais aussi aux demandes des éleveurs sur le bien-être au travail. Cependant, elles ne pouvaient pas se faire à court terme à cause de la part conséquente des investissements déjà présents sur les exploitations et des conduites d'élevage différentes entre les exploitations.

Concernant l'avenir, que ça soit pour les bâtiments ou pour la filière, les éleveurs rencontrés étaient plutôt incertains. « C'est difficile de savoir ce qu'il va se passer à l'avenir mais à un moment, il faut prendre des décisions, trancher, voir ce qui est bon économiquement pour notre fonctionnement et puis ce qui sera durable. » (éleveur C). Cet éleveur exprime ce que beaucoup mettaient en avant : la mise en place d'innovations sur leur bâtiment pour améliorer le bien-être animal et les conditions de travail vaut-elle la prise de risque économique ? Les éleveurs rencontrés qui ont effectué des transformations récentes de leur bâtiment avaient le sentiment que celles-ci ont eu un impact positif sur leur travail et leur vie personnelle : « Aujourd'hui, mi-décembre 2022, plus je baisse l'activité, plus je ralentis, plus je lève la tête, mieux ça marche. » (éleveur IBP) ; « Parce que quand tu passes ta vie ici, ta vie privée elle morfle. » (éleveur IBP) ; « C'est pour ça que tous mes investissements je les ai orienté vers le bien-être parce que [...] je veux faire partie des gens qui font avancer dans le bon sens. » (éleveur IBP)

2.2. Typologie des éleveurs porcins face au changement

Deux critères de diversité ont pu être identifiés grâce à l'analyse thématique réalisée ci-dessus mais également à l'aide des 30 visites d'élevage. Ces critères nous ont permis de décrire l'échantillon étudié mais aussi de dégager des profils généraux des éleveurs porcins français autour de deux axes.

L'axe vertical traduit la priorité des éleveurs en termes de bien-être. En effet, les éleveurs de notre enquête réfléchissent à des innovations en lien avec du bien-être soit animal (augmentation de la surface pour les porcs, augmentation du nombre d'objets manipulables par les animaux...), soit pour l'éleveur (automatisation de certaines tâches...), soit les deux à la

fois (augmentation de la lumière naturelle dans les bâtiments...).

L'axe horizontal traduit l'attitude des éleveurs face au changement. Nous avons en effet observé, chez les éleveurs interrogés, des manières très différentes de penser le changement dans leur bâtiment. Quatre comportements sont exprimés :

- Conservateur : « Mon système est très bien comme il est. Je suis la réglementation et rien d'autre. Tant que l'on ne me l'impose pas, je ne change rien. »
- Réformiste : « Je me tiens au courant des dernières tendances et j'effectue les changements en conséquence. »
- Optimisateur : « Je suis les tendances du moment pour rester au goût du jour mais cela s'inscrit dans un business model que j'ai imaginé donc je suis en mesure de le défendre devant un public et de promouvoir mon système. »
- Précurseur : « Je suis guidé par mes convictions personnelles et je souhaite sortir des sentiers battus. Mon objectif : imaginer un nouveau modèle pour demain, plus vertueux et plus en adéquation avec ma vision de l'élevage ou mes besoins. »

Le croisement de ces deux critères nous a permis de dégager six profils d'éleveurs vis-à-vis de l'évolution des bâtiments et des équipements porcins (Figure 2).

2.2.1. Les « Réglementaires conformistes »

Les éleveurs « Réglementaires conformistes » sont des personnes qui se réfèrent à la réglementation lors des changements et s'y conforment. Ils ont vu leurs parents travailler énormément dans des bâtiments mal conçus, pour finalement revenir à un système plus simple et plus traditionnel. Pour eux, qu'on soit en système conventionnel ou en système biologique, il faut aller au plus simple et ne pas chercher à se compliquer la tâche, en se rappelant qu'il existe déjà énormément de lois sur l'environnement ou le bien-être animal. Pour ces éleveurs, majoritairement en bâtiment classique sur caillebotis intégral, le mode de production standard est déjà vertueux et compétitif et ils ne voient pas pourquoi il faudrait prendre le risque de tout changer.

2.2.2. Les « Ergonomistes efficaces »

Les éleveurs « Ergonomistes efficaces » mettent en avant dans leur changement, l'ergonomie et l'efficacité de leur système.

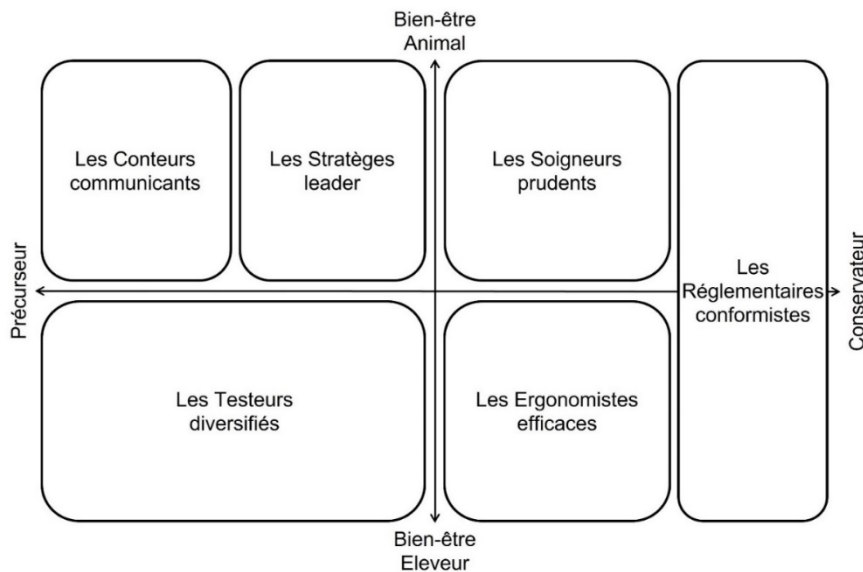


Figure 2 - Typologie des éleveurs selon leur perception de l'évolution des bâtiments et des équipements porcins, en fonction de leur attitude vis-à-vis du changement et de leur considération du bien-être (animal et humain)

En effet, ils sont préoccupés par leur charge de travail importante. Ce constat les a poussés à organiser leur élevage pour qu'ils se facilitent le travail, gagnent en efficacité et se libèrent du temps libre. Pour cela, ils ont mis en place plusieurs innovations qui peuvent aussi être utilisées pour améliorer le bien-être animal, comme la lumière naturelle ou le grand volume. Les éleveurs justifient ces innovations par le fait qu'elles rendent le travail plus agréable. Le confort de travail devient pour eux un vrai argument de recrutement pour des salariés. De plus, les innovations choisies sont mises en avant pour faciliter la transmission de leurs élevages.

2.2.3. Les « Soigneurs prudents »

Les éleveurs « Soigneurs prudents » sont des éleveurs qui effectuent des changements petit à petit portant sur l'amélioration du bien-être de leurs animaux. En effet, en analysant les évolutions des 10 dernières années, ils ont remarqué que le bien-être animal prenait de plus en plus de place dans les préoccupations sociétales. Ils réfléchissent donc à arrêter les mutilations, à faire entrer de la lumière naturelle en élevage, ou aux verrateries liberté. Globalement, ils ont pris conscience que ces mesures tendent à améliorer le bien-être de leurs animaux mais ils ne peuvent pas tout changer d'un coup. Ils sont obligés de composer avec leurs bâtiments existants. Par contre, dès qu'ils ont l'opportunité d'intégrer quelques éléments, comme lors d'un projet de construction, ils essaient de les ajouter. L'idée est de ne pas se déconnecter des préoccupations du moment et de faire évoluer leur bâtiment petit à petit tout en limitant la prise de risque économique.

2.2.4. Les « Testeurs diversifiés »

Les éleveurs « Testeurs diversifiés » sont des personnes qui recherchent des innovations améliorant les différents enjeux entourant l'élevage porcin pour pouvoir les tester sur leur exploitation, sans pour autant dégrader leur condition de travail. Ils reconnaissent que l'élevage de porc sur caillebotis intégral avec des petites cases possède certains avantages. Malgré tout, ils ont conscience que ce type de bâtiment correspond moins aux attentes sociétales. Ils ont voulu, lors de leurs projets de construction, expérimenter de nouvelles choses sur un « bâtiment test » ou un « élevage test ». Leur réflexion a été influencée par le contexte dans lequel ils évoluent (contraintes de voisinage, réaménagement d'un ancien bâtiment, contraintes environnementales...). D'une manière générale, leur bâtiment et leurs choix d'innovation restent focalisés sur une organisation du travail simple et efficace. Globalement, ils sont satisfaits de leur bâtiment mais ne souhaitent pas généraliser leur concept sur l'ensemble de leur exploitation : pour eux, il s'agit d'une preuve de concept qui leur permet de montrer que cela est possible mais sous certaines conditions. Ainsi, les innovations mises en place peuvent porter sur l'environnement (avec des laveurs d'air ou des trackers solaires), sur le bien-être animal (avec des grands groupes avec différents types de sol : gisoir avec paille et caillebotis) ou encore sur l'automatisation pour faciliter le travail (distribution de la paille, alimentation, tri des porcs).

2.2.5. Les « Stratèges leader »

Les éleveurs « Stratèges leader » effectuent leur changement à partir d'une stratégie à laquelle ils ont réfléchi en amont. Ils sont les premiers à penser à ces innovations et sont amenés à argumenter avec leurs accompagnants techniques pour les faire avancer avec eux. Ils se caractérisent comme des investisseurs ou des bâtisseurs. Ils sont capables de comprendre et analyser les attentes du moment et de proposer en conséquence un modèle d'élevage qui y répond.

De plus, ils mettent tout en œuvre pour créer leur propre débouché. Pour ce faire, ils analysent les tendances du marché (habitudes de consommation, marketing, prix, etc.) et ils développent leur concept afin d'y répondre au mieux. Leur prise de risque peut paraître énorme alors qu'en réalité tout a été raisonné. Une fois que leur projet voit le jour, ils sont capables d'argumenter auprès des financeurs, des acteurs de la filière ou du grand public sur les principaux avantages de leur système en termes de bien-être animal. Les éleveurs mettent en place des innovations pour l'ensemble de leur système, comme la paille, le grand groupe ou bien la lumière naturelle (elle peut être amenée par des fenêtres ou bien par l'ouverture d'un côté du bâtiment). De plus, l'automatisation est fortement présente dans l'ensemble de leur exploitation.

2.2.6. Les « Conteurs communicants »

Les éleveurs « Conteurs communicants » sont de très bons communicants avec les consommateurs. Ils sont « citoyens avant tout » : leurs convictions personnelles priment dans leurs choix. Pour eux, le bâtiment ne doit brider en rien l'expression du comportement naturel du porc. Il doit pouvoir vivre et grandir dans les meilleures conditions possibles. Ils ont alors imaginé des bâtiments plus ouverts, voire du plein-air, avec plus de surface par animal et avec une quantité importante de matériaux manipulables pour une bonne expression du comportement de fouissage. Ils aiment communiquer sur leur bâtiment et plus généralement sur leur concept d'élevage. Ils ont cependant des retours assez différents sur ceci : certains acteurs de la filière considèrent leur concept comme inadapté et inefficace, tandis que pour les consommateurs, ils apportent généralement une idée assez réconfortante de l'élevage de porc, même si cela concerne des volumes très restreints. Concernant les débouchés, ils ont très vite compris que la viande de ce type d'élevage se destine à un marché très précis (restaurant, marché, label fermier, vente à la ferme, etc.).

3. DISCUSSION

3.1. Confrontation des visions entre éleveurs et citoyens-consommateurs

Le projet ACCEPT (2014 – 2017) a permis de mettre en avant cinq profils différents de citoyens-consommateurs concernant l'avenir de l'élevage (Roguet, 2018). Trois des profils, représentant plus de la majorité des citoyens-consommateurs, peuvent être confrontés à notre typologie.

La vision principale exprimée par les citoyens-consommateurs correspond à un souhait de progrès et de nouveauté pour l'élevage et à une remise en cause (partielle ou complète) du modèle actuel. Ces citoyens-consommateurs seraient plus en accord avec des éleveurs qui mettent en place des innovations dans le but de répondre au mieux aux attentes sociétales, ce qui correspondrait à des profils comme les « Testeurs diversifiés », les « Stratèges leader » ou les « Conteurs communicants ». Cependant, ces profils ne représentent qu'une toute petite partie de la filière actuelle et cette confrontation met en avant un phénomène déjà observé sur le terrain : il existe un écart entre l'élevage et les citoyens, qui est de plus en plus grand.

La réduction de cet écart serait bénéfique à plus d'un titre et permettrait notamment de diminuer la pression sociale et les controverses autour du monde agricole. Comme souvent dans les études sociologiques qui traitent de ces sujets, nous constatons qu'une meilleure communication entre les acteurs du monde agricole et les citoyens restent la clé. Il faut aussi

envisager un accompagnement des éleveurs pour évoluer d'un profil vers un autre. Cela est possible mais reste délicat et demande du temps. Cet aspect est abordé par la suite.

3.2. L'éleveur au sein de la société

3.2.1. L'écoute des demandes des citoyens-consommateurs

Les éleveurs réagissent différemment aux préoccupations des citoyens-consommateurs et cela se répercute sur les choix techniques qu'ils opèrent dans leur bâtiment. Les « Réglementaires conformistes » ignorent les préoccupations des consommateurs en les considérant comme illégitimes ou irréalistes. De ce fait, ils travaillent dans des bâtiments traditionnels et efficaces, qui sont en accord avec la réglementation, des cahiers des charges spécifiques (label ou biologique) et qui suivent les pratiques les plus courantes. D'autres éleveurs, comme les « Soigneurs prudents » et les « Ergonomistes efficaces », entendent ces demandes mais mettent en place des innovations principalement basées sur leur besoin d'investissement et leur envie d'évolution. Leur objectif est de trouver un bâtiment permettant d'équilibrer leurs performances techniques et économiques avec certaines demandes citoyennes (plus de lumière, favoriser le comportement naturel, etc.). Un troisième groupe, constitué des « Testeurs diversifiés » et des « Stratèges leader », se montre à l'écoute des demandes des citoyens-consommateurs, avec des stratégies différentes pour y répondre : les premiers réalisent des tests liés aux préoccupations sociales mais en priorisant les besoins des éleveurs, tandis que les seconds mettent en œuvre ces demandes tout en tenant compte de leurs performances techniques. Dans les deux cas, les éleveurs connaissent le bâtiment traditionnel et ont décidé de s'en écarter pour mieux correspondre aux attentes sociétales. Nous retrouvons souvent, dans ces bâtiments, un travail sur le décloisonnement ou la distribution de paille en plus ou moins grande quantité. L'ampleur des transformations est souvent plus importante pour les « Stratèges leader » soit parce que leur concept est davantage en rupture soit parce qu'il est appliqué sur un bâtiment de plus grande envergure. Enfin, les « Conteurs communicants », avant tout citoyens, vont au-delà des demandes des citoyens-consommateurs en créant des innovations influencées par leurs propres réflexions et la société qui les entoure. Ainsi, leurs élevages ne ressemblent à aucun autre avec soit du plein-air sur l'ensemble de leur production soit des bâtiments très atypiques qui sont plus ouverts et plus facilement visitables depuis l'extérieur.

3.2.2. La communication avec la société

Le manque de communication entre les citoyens-consommateurs et la filière porcine affecte plus ou moins ses ambassadeurs que sont les éleveurs porcins. Ce comportement varie selon les profils identifiés dans la typologie. Les « Réglementaires conformistes », « Soigneurs prudents » et « Ergonomistes efficaces » préfèrent déléguer la communication à des spécialistes, tandis que les « Testeurs diversifiés », « Stratèges leader » et « Conteurs communicants » jouent un rôle actif dans leur communication. Les « Testeurs diversifiés » partagent leurs expériences d'innovation principalement au sein de leur filière, tandis que les « Stratèges leader » et les « Conteurs communicants » échangent sur leurs concepts devant un public plus large et servent d'intermédiaires pour découvrir l'élevage porcine.

Les disparités entre les profils en termes de perception des attentes sociétales et de communication externe fournissent des informations essentielles pour améliorer la relation entre les éleveurs et les citoyens-consommateurs, en mettant l'accent sur l'accompagnement des éleveurs dans l'innovation.

CONCLUSION

Au travers du projet BâtiPorc C4E, nous avons interrogé des éleveurs porcins au sujet de leur perception des innovations ainsi que sur leur motivation au changement. Cette enquête nous a permis de caractériser six profils d'éleveur différents.

Cette typologie met en avant la complexité des comportements face aux innovations ainsi que les conséquences qu'ils entraînent avec le monde entourant les élevages. Une meilleure connaissance et compréhension du profil d'un éleveur ainsi que ses freins et ses motivations au changement peut être un outil précieux afin de mieux les accompagner dans leur communication avec la société ou leur carrière. A l'avenir, le renouvellement des générations (citoyen et éleveur) pourra peut-être faire évoluer ces profils ainsi que les relations entre le monde agricole et la société.

Les auteurs remercient le CASDAR pour le cofinancement de cette étude ainsi que les éleveurs qui ont accepté d'échanger avec nous sur ces sujets. Nous les remercions pour leur accueil ainsi que pour le temps qu'ils nous ont consacré. Les auteurs remercient également les structures gravitant autour des éleveurs qui ont été des relais sur le terrain et qui ont participé au recrutement des élevages.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertin C., Ramonet Y., 2016. Etat des lieux des bâtiments d'élevage de porcs en Bretagne chez les naisseurs-engraisseurs en 2015. Journées Rech. Porcine, 48, 1-7.
- Coty M., Poisson A., Laurin M., Roguet C., Grannec ML., Neumeister D., 2017. Perception et prise en compte par les éleveurs du regard de la société sur l'élevage. Journées Rech. Porcine, 49, 321-322.
- Delanoue E., Dockès A.-C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. INRAE Prod. Anim., 1, 51-68.
- Delanoue E., Dockès A.-C., Roguet C., Magdelaine P., 2015. Points de vue et attentes des acteurs de la société envers l'élevage. Un regard sur les principales controverses. Projet CASDAR ACCEPT, 8 p.
- Depoudent C., Hostiou N., Le Clerc L., 2021. Travailler en élevage porcine en France : facteurs d'attractivité et contraintes. INRAE Prod. Anim., 2, 97-110.
- Ifip, 2018. Le porc par les chiffres. Ifip – Institut du porc, France, Edition 2017-2018, 40 p.
- Mounier L., 2020. Vidéo : One Welfare – Chaire bien-être animal. Chaire bien-être animal. Consultable : <https://chaire-bea.vetagrop-sup.fr/one-welfare/>.
- Pagès M., 2022. L'organisation de l'élevage porcine en France. La Viande. Consultable : <https://www.la-viande.fr/animal-elevage/porc/organisation-elevage-porcine-france>.
- Rivière R., 2023. Les trois systèmes d'élevage. Le Porc Français. Consultable : <https://www.leporc.com/elevage/les-differents-systemes.html>.
- Roguet C., 2018. Plaquelette ACCEPT. Ifip – Institut du porc, 5 p.
- Tricard A., Depoudent C., Grannec M.-L., 2015. Evaluation et gestion du temps de travail en élevage porcine. Journées Rech. Porcine, 47, 215-220.



Evolution des coûts à la place des bâtiments porcins entre 2015, 2021 et 2023

Yvonnick ROUSSELIERE

IFIP-Institut du porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu Cedex, France

yvonnick.rousseliere@ifip.asso.fr

Evolution des coûts à la place des bâtiments porcins entre 2015, 2021 et 2023

Le coût de construction d'une porcherie peut fortement varier d'un projet bâtiment à un autre. Cela peut être lié aux choix techniques de l'éleveur, aux types de matériaux choisis, à la localisation géographique de l'élevage ou encore aux négociations entre l'éleveur et ses fournisseurs. Afin d'étudier le coût de construction, il est primordial de travailler sur des coûts standardisés. Ce travail a été réalisé par l'IFIP en 2015 et en 2021. Des devis de construction ont été collectés auprès de professionnels de la filière sur trois modes de logement (caillebotis, paille et biologique). A leur réception, un travail de normalisation des coûts a été réalisé pour isoler les coûts annexes ou spécifiques à des équipements peu fréquents en élevage et les exprimer avec une unité commune (surface par animal réglementaire ou préconisée). Suite à la hausse importante du coût des matières premières de la construction en 2022, un travail d'actualisation des coûts de 2021 a été réalisé en janvier 2023 à partir des index du bâtiment de l'INSEE. En élevage caillebotis et biologique, les coûts de construction ont augmenté en moyenne de 40% entre 2015 et 2023. Cette augmentation semble uniquement liée à l'évolution du marché car la structure des bâtiments concernés a peu évolué sur la période. A l'inverse, l'augmentation des coûts des bâtiments sur paille, jusqu'à +143 %, s'explique par une montée en gamme des choix techniques des éleveurs. Une nouvelle génération de bâtiment, généralement axé sur le bien-être des animaux, a également percé sur les dernières années mais leur nombre encore trop rare ne permet pas de calculer leur coût.

Evolution of costs of pig buildings from 2015 to 2021 and 2023

The cost of constructing a pig farm can vary greatly among building projects due to technical choices made by the farmer, the types of materials chosen, the geographic location of the farm or negotiations between the farmer and the construction suppliers. Standardised cost models are crucial when studying construction costs. In 2015 and 2021, the IFIP conducted research to provide such models. Construction quotes were collected from industry professionals for three housing modes (slatted floors, straw bedding and organic). Upon receipt, costs were normalised to isolate additional or specific costs related to rare livestock equipment and expressed in a common unit (regulatory or recommended surface area per animal). Following the significant increase in the costs of construction materials in 2022, the costs were updated in January 2023 using INSEE building index. For slatted floor and organic pig housing, the mean increase from 2015 to 2023 was +40 %, which appears to have been related only to changes in the market, as the buildings involved have changed little over time. In contrast, the mean costs of buildings for straw bedding increased by up to +143 % due to farmers making better technical choices for this type of housing. A new generation of buildings, usually focused on animal welfare, has also emerged in recent years, but they were too rare to be able to calculate their costs.

INTRODUCTION

En 2015, une enquête réalisée dans une trentaine d'élevages porcins bretons indiquait que l'âge moyen des bâtiments était supérieur à 20 ans quel que soit le stade physiologique (Bertin et Ramonet, 2016). Cette étude mettait également en avant un vieillissement des bâtiments encore plus marqué qu'en 2006, année du précédent état des lieux. Malgré cela, les professionnels du bâtiment n'ont constaté aucune accélération des projets de construction ces dernières années. Les quelques constructions ont majoritairement concerné deux stades physiologiques : (i) la maternité où environ 10 000 cases liberté ont été installées sous l'impulsion des attentes sociétales et d'une éventuelle évolution de la réglementation (Villain, 2022) ; (ii) l'engraissement où de nouvelles places ont été créées pour réduire le façonnage et élever en autonomie les porcs produits.

Ce décalage entre la nécessité de moderniser le parc bâtiment et la faible dynamique des projets de construction s'explique, selon les périodes, par une conjoncture porcine difficile et/ou par une augmentation spectaculaire du coût de construction.

Cette étude a pour objectifs de comprendre les principales raisons qui ont conduit à cette augmentation du coût de construction et de faire un état des lieux des nouvelles pratiques de construction pour évaluer leur incidence sur les coûts à la place.

1. MATERIEL ET METHODES

Les coûts présentés pour les années 2015 et 2021 ont été calculés à partir de devis collectés auprès de différents acteurs du terrain tandis que les coûts 2023 sont issus d'une actualisation des coûts de 2021 à l'aide d'indices de construction fournis par l'INSEE.

1.1. Coûts des bâtiments estimés en 2015 et 2021 d'après l'analyse de devis

En 2015 et 2021, la méthodologie et le traitement des données ont été strictement identiques.

1.1.1. Collecte de devis sur l'ensemble du territoire français

Différents acteurs du terrain répartis sur le territoire français (éleveurs en direct, interprofessions, techniciens de groupement...) ont été contactés afin de contribuer à la remontée de devis de projets bâtiments récents, en priorisant les trois principaux modes de production porcine : caillebotis intégral, paille et biologique. L'actualisation des coûts a eu lieu en janvier 2015 et 2021, sur la base de devis établis au cours des deux années précédentes.

L'analyse des devis en 2015 et 2021 a porté sur 53 et 72 projets respectivement. Globalement, la moitié des devis provenaient de la zone Grand Ouest (Bretagne, Pays de la Loire et Normandie) tandis que le reste se répartissait à part égale entre le Sud-Ouest, le Nord Est et la zone Grand Est – Auvergne Rhône Alpes. Concernant les stades physiologiques, 60 % des projets concernaient l'engraissement, 20 % la maternité et 20 % la gestante et le post-sevrage.

Un projet bâtiment est composé de plusieurs devis impliquant différents corps de métier : terrassement / maçonnerie / élévation / caillebotis / toiture, charpente, huisserie, portes et fenêtres / petits équipements (électricité, abreuvement, distribution de l'aliment, nettoyage haute pression, ventilation, chauffage) / aménagement intérieur (cloisons, tubulaires, barrières).

L'objectif de cette étude était de recueillir, a minima, un devis par corps de métier ; l'idéal étant d'en récupérer trois afin de comparer les tarifs. Ce travail a donc permis de couvrir une grande diversité de situations et de choix techniques observés sur le terrain. Dans la majeure partie des cas, il n'existait pas de ligne dédiée pour la main d'œuvre qui était directement incluse dans le tarif présenté dans les devis. L'ensemble des devis était exprimé en Hors Taxe (HT), ce qui a été repris dans les résultats présentés ci-après.

1.1.2. Création d'une base de données avec des coûts standardisés moyens, minimaux et maximaux

Un projet bâtiment intègre toujours la construction de locaux annexes à l'intérieur du bâtiment (local machine à soupe, bureau d'élevage, local de stockage de matériels, local insémination, sas d'entrée...) et d'éléments annexes à l'extérieur (silo d'aliment, quai d'embarquement, fumière, hangar, fosse à lisier...). Pour être comparables, les coûts des projets bâtiments ont donc dû être standardisés. La première étape a consisté à isoler le coût des places à construire du reste des coûts annexes présents dans ou en dehors du bâtiment concerné. La deuxième étape a permis d'isoler et de ne pas intégrer le coût de matériels très spécifiques (cooling, raclage, échangeur d'air, pompe à chaleur...) car il s'agit de dispositifs peu présents dans la grande majorité des élevages. Si plusieurs stades physiologiques étaient logés sous le même toit, une troisième étape a permis de déterminer la part de chaque stade physiologique dans le coût global du projet. Puis, cette proportion a été appliquée à l'ensemble des devis du projet bâtiment concerné pour déterminer la part correspondant à chaque type de logement. Enfin, la dernière étape a consisté à gommer la forte hétérogénéité qui pouvait exister sur le terrain dans la surface allouée par animal pour certains modes de logement. Par exemple, la surface par animal pour un engraissement sur paille peut varier de 1,1 à 1,5 m² par porc ce qui a un impact direct sur le coût à la place. Ainsi, l'ensemble des coûts a été retravaillé afin d'être exprimé dans une unité commune correspondant au nombre de m² les plus couramment rencontrés sur le terrain.

A l'issue de ces étapes, les coûts étaient donc normalisés pour des places ayant la même surface au sol et ne disposant pas d'équipements annexes spécifiques. L'ensemble des résultats a été organisé dans une base de données contenant les coûts moyens, minimaux et maximaux.

1.2. Actualisation des coûts à partir des indices INSEE

En 2023, une actualisation des coûts de 2021 a été réalisée afin de prendre en compte le contexte très tendu du marché des matières premières qui a conduit à une augmentation soudaine des coûts de construction.

Pour ce faire, les coûts unitaires et standardisés de 2021 ont été retravaillés à partir des index bâtiment (BT) mis à jour par l'INSEE. Il s'agit d'indices de coût de différentes activités du secteur de la construction reflétant la conjoncture du marché. Selon l'évolution de l'indice entre deux dates (ici entre janvier 2021 et janvier 2023), il est possible de connaître l'impact que cela peut avoir sur le coût de construction global grâce à la répartition, réalisée par Massabie (2014), pour chacun des stades physiologiques, du prix d'une place en sept lots distincts : terrassement / soubassement et lisier / élévation / charpente, menuiserie, couverture et isolation / agencement intérieur / ventilation électricité / main d'œuvre (Tableau 1).

A titre d'exemple, une forte augmentation du coût du terrassement a un impact assez faible sur le coût global de construction car il ne représente que 2,2 % du coût total. A contrario, une augmentation, même mineure, du coût de la charpente a un impact fort car il pèse pour 22,8 % du coût total.

Tableau 1 – Poids (en %) d'un lot du secteur du bâtiment dans le prix d'une place sur caillebotis en production porcine (Massabie, 2014)

| Lot / stade | Maternité | PS | Eng | Gestante |
|---------------------------|-----------|------|------|----------|
| Terrassement | 1,5 | 1,9 | 2,2 | 3,2 |
| Soubassement | 11,2 | 27,7 | 25,6 | 25,9 |
| Charpente & couverture | 20,7 | 25,0 | 28,0 | 17,3 |
| Élévation | 12,2 | 11,5 | 16,0 | 14,9 |
| Ventilation & électricité | 10,4 | 15,4 | 8,0 | 7,8 |
| Agencement intérieur | 37,0 | 17,1 | 14,0 | 22,1 |
| Main d'œuvre | 7,0 | 1,4 | 6,1 | 8,7 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |

PS : Post-sevrage / Eng : Engraissement

1.3. Visites d'élevage et nouveaux concepts bâtiments

En parallèle des travaux d'actualisation des coûts de 2021, une enquête terrain a été menée auprès de 30 éleveurs de porcs dans le cadre du projet CASDAR BâtiPorc C4E démarré en 2022. Il s'agissait d'exploitations, réparties sur toute la France, ayant eu un projet bâtiment récent en engraissement et dans lequel une innovation ou un changement de pratique avaient été réalisés en lien avec quatre thématiques très impactantes pour le bâtiment : respect de l'environnement, amélioration du bien-être animal, amélioration des conditions de travail ou réponses aux attentes sociétales. Cette enquête prenait la forme d'une visite d'élevage de 2 à 3h organisée en deux temps : 20 à 30 minutes en salle pour comprendre l'organisation de l'exploitation et le cadre de travail de l'éleveur puis 1h30 – 2h dans le bâtiment innovant pour obtenir un retour des utilisateurs sur les atouts et les contraintes techniques de ce nouveau concept mais aussi le surcoût éventuel occasionné lors de la construction du bâtiment.

2. RESULTATS

2.1. Ecart entre les coûts minimaux et maximaux

Que ce soit en 2015, 2021 ou 2023, le constat est toujours le même : l'écart de coût à la place est important entre le prix minimum et le prix maximum (Tableau 2). Cela est valable pour tous les stades physiologiques et tous les modes de logement. Les écarts entre les prix minimaux et maximaux sont de l'ordre de 10 à 30 % pour les gestantes et les maternités. Cet écart monte à 45 % en engraissement et à près de 80 % en post-sevrage. Néanmoins, pour ce dernier stade, le nombre de devis reçus est le plus faible imposant une nécessaire prudence dans les conclusions. En effet, la pratique courante en élevage pour conserver une marche en avant correcte est de rénover et convertir en post-sevrage les engraissements existants, présents au milieu de la chaîne bâtiment, et de construire

d'autres engraissements sur le site d'élevage. D'où le manque de devis complet pour le post-sevrage.

Tableau 2 – Coûts par place en janvier 2023 selon le stade physiologique et le mode de logement

| €/place | Prix minimum | Prix moyen | Prix maximum |
|--|--------------|------------|--------------|
| Maternité bloquée (4,5 – 5,5 m ² /case) | 6 250 | 6 899 | 8 379 |
| Maternité biologique (10 m ² /case) | 10 090 | 10 725 | 14 124 |
| Gestante caillebotis (2,25 m ² /truie) | 1 413 | 1 878 | 2 513 |
| Gestante paille (2,5 m ² /truie) | 1 610 | 1 681 | 1 764 |
| Gestante biologique (4,4 m ² /truie) | 2 747 | 3 172 | 3 409 |
| PS caillebotis (0,35 m ² /porcelet) | 263 | 367 | 455 |
| PS paille (0,7 m ² /porcelet) | 292 | 373 | 464 |
| PS biologique (1,0 m ² /porcelet) | 300 | 424 | 568 |
| Eng caillebotis (0,7 m ² /porc) | 505 | 583 | 803 |
| Eng paille (1,2 m ² /porc) | 594 | 757 | 929 |
| Eng biologique (2,3 m ² /porc) | 746 | 803 | 885 |

PS : Post-sevrage / Eng : Engraissement

Pour le reste de cette étude, les coûts conservés seront les coûts moyens.

2.2. Evolution des coûts moyens entre 2015 et 2023

Entre 2015 et 2023, les coûts de construction ont augmenté fortement, de 18 % à 143 % selon les stades physiologiques et le mode de logement. Sur le secteur truie, la progression est la moins importante : entre + 25 et + 69 % (Figure 1). Néanmoins, pour les maternités sur caillebotis, l'augmentation serait de 230 % si l'on comparait la situation de 2015 avec des truies bloquées (4 084 €/place), et la situation de 2023 avec la construction de maternité liberté. Pour le post-sevrage et l'engraissement, deux tendances différentes sont à noter (Figure 2) : une augmentation proche des valeurs obtenues sur le secteur truie pour les modes de logement sur caillebotis et biologique (entre 18 et 46 %) et une augmentation beaucoup plus importante pour les animaux sur paille (entre + 117 % et + 143 %). Cette augmentation s'est faite en deux temps. Entre 2015 et 2021, l'évolution des coûts sur paille a été brutale (+ 80 % pour les post-sevrages et + 98 % pour les engraissements). Entre 2021 et 2023, l'augmentation a été similaire aux résultats observés sur les autres modes de logement (environ + 20 %).

Pour les places d'engraissement sur caillebotis, les résultats obtenus montrent une augmentation de plus en plus importante des coûts sur les dernières années. Entre 2015 et 2021, le coût de la place a augmenté de 18 % tandis qu'il a augmenté de 23 % entre 2021 et 2023.

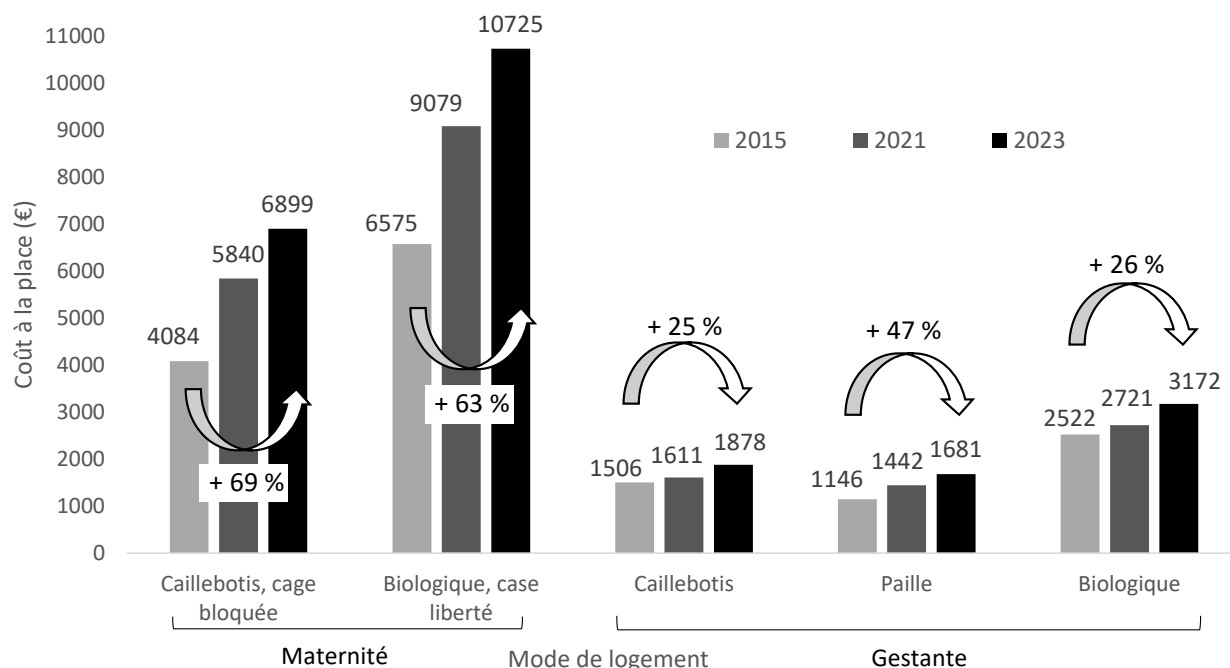


Figure 1 – Evolution des coûts moyens pour une place standardisée en maternité et gestante entre 2015, 2021 et 2023 selon trois modes de logement

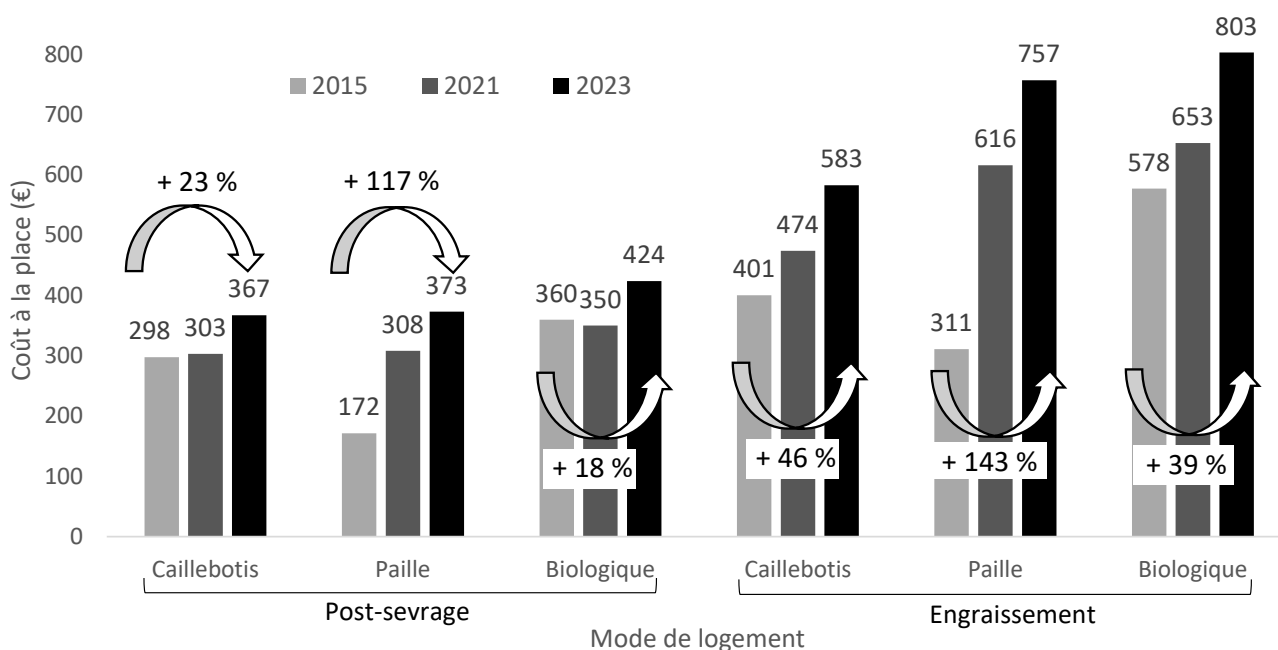


Figure 2 – Evolution des coûts moyens pour une place standardisée en post-sevrage et engraissement entre 2015, 2021 et 2023 selon trois modes de logement

Par ailleurs, l’actualisation des coûts de bâtiment en 2021 a permis de mettre à jour les données de Massabie (2014) sur la répartition des postes de charges d’un bâtiment conventionnel pour chaque stade physiologique (Figure 3). Le coût de la main d’œuvre n’étant pas isolé dans les devis étudiés en 2021, il a quand même bien été pris en compte mais il n’est plus affiché comme un lot à part entière.

Pour les gestantes, les post-sevrages et les engraissements, les deux principaux postes de charges sont les soubassements et la toiture (entre 43 et 58 % du coût total) alors que l’aménagement intérieur est le poste de charge le plus onéreux pour les maternités (environ 37 % du coût total de la place).

D’une manière générale, la répartition des différents lots pour un stade physiologique donné est assez similaire entre 2014 et 2021. Néanmoins, quelques différences sont à noter : par exemple, en 2021, le lot terrassement (qui intègre le coût de la main d’œuvre) pesait plus lourd dans le coût total de la place (entre 3,5 et 6,4 %) qu’en 2014. A l’époque il représentait entre 2 et 3 % mais la main d’œuvre était traitée à part.

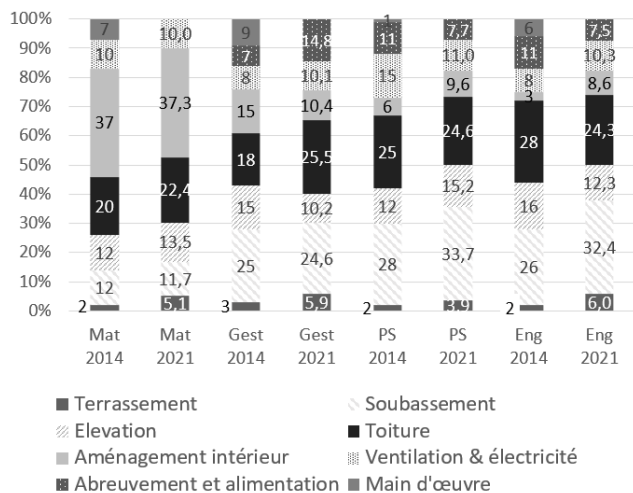


Figure 3 – Evolution entre 2014 et 2021 de la répartition des coûts bâtiments dans le prix d'une place sur caillebotis en production porcine

Mat : maternité bloquée / Gest : gestante / PS : post-sevrage / Eng : engraissement

2.3. Tendances de construction des bâtiments porcins

Les visites réalisées en 2022 dans trente élevages innovants ont mis en évidence plusieurs résultats intéressants. Tout d'abord, en système caillebotis intégral, la coque du bâtiment ainsi que les aménagements intérieurs se révèlent très similaires aux pratiques de 2015. Une tendance forte se dégage quand même sur l'importance que les éleveurs accordent à mieux faire entrer la lumière naturelle dans leur bâtiment : cela va de l'agrandissement et l'augmentation du nombre de fenêtres à une reconception complète de la charpente et du plafond des salles. Pour les bâtiments sur paille, le constat est complètement différent. Le niveau de technicité et de sophistication des bâtiments a beaucoup évolué ces dernières années, aussi bien pour la coque que pour les aménagements intérieurs (toiture isolée, ventilation dynamique, préparation et distribution automatique de la paille, case de tri des porcs charcutiers...). Enfin, des bâtiments atypiques sont récemment apparus dans le paysage, tout en étant encore très rares. Ils se positionnent sur un marché très spécifique avec des concepts quasiment propres à chaque élevage. La plupart des éleveurs rencontrés connaît très bien le porc conventionnel. Le concept qu'ils ont imaginé est développé à petite échelle (un seul bâtiment sur toute l'exploitation) ou directement sur un élevage complet. Ils sont très bons en communication et sont capables d'argumenter sur les points forts de leur élevage : augmentation de la surface allouée par animal, diversité des types de sol disponibles, paille en plus ou moins grande quantité, décloisonnement des salles grâce à un accès extérieur ou des filets brise vent...

3. DISCUSSION

3.1. Ecart entre les coûts moyens, minimaux et maximaux et entre les coûts standardisés et les coûts « clé en main »

Malgré la standardisation des coûts, il existe un écart important entre les coûts minimaux et maximaux pour un même mode de logement et un même stade physiologique. Cette diversité de coûts retranscrit parfaitement la diversité de choix techniques que les éleveurs sont susceptibles de faire dans la construction de leur bâtiment. Il en résulte un niveau de sophistication

différent entre bâtiments d'une même catégorie : niveau d'isolation des élévations pouvant aller d'un filet brise vent à un mur en béton de 20 cm d'épaisseur avec 6 cm d'isolant ; caillebotis béton, plastique ou métallique ; cloison en PVC ou en béton ; type de charpente : grand volume, fermette, poutre métallique ; fosse profonde ou préfosse ; système d'alimentation en gestante : DAC, réfectoire, bat-flanc...

Concernant les coûts moyens standardisés, ils sont souvent très légèrement inférieurs aux coûts habituellement rencontrés sur le terrain. En effet, il s'agit de coûts standardisés n'incluant que le coût de la place productive sans équipements spécifiques. Or, la plupart du temps, les coûts présentés aux éleveurs correspondent à des coûts de la place pour une mise en fonctionnement « clé en main ». Par exemple, il est très fréquent d'intégrer dans le prix à la place d'engraissement, le montant de l'aire de stockage et du quai d'embarquement prévus au bout du bâtiment. Il en est de même en gestante où il est courant d'intégrer le montant du local de préparation des inséminations ou les places des verrats. Cette différence entre les coûts standardisés et les coûts « clés en main » est donc liée à leurs objectifs qui diffèrent. Dans le premier cas, le but de la standardisation est de rendre les coûts comparables et cohérents en termes d'unité et de caractéristiques techniques. L'intérêt est majeur pour plusieurs types d'études comme l'analyse de l'évolution des coûts bâtiments dans le temps ou la réalisation de calculatrices permettant de chiffrer l'impact économique de divers changements en élevage. Dans le second cas, le but des coûts clés en main est de répondre à une demande spécifique d'un éleveur qui doit connaître le plus précisément possible l'investissement à prévoir selon ses besoins techniques et sa zone géographique.

3.2. Augmentation globale des coûts de construction et méthode d'actualisation

Les places d'engraissement sur caillebotis représentent, de loin, le volume de chantier le plus important pour le parc bâtiment français. Le suivi de l'évolution des coûts de construction de ce type de place est un bon indicateur de l'état du marché. L'augmentation du coût de la place de 18 % entre 2015 et 2021, puis de 23 % entre 2021 et 2023, montre une accélération de cette tendance haussière. En 2021, l'indice national du coût de la construction tous corps d'état (BT01) a progressé de 5,4 %, soit trois fois plus que l'année précédente. Il s'agissait de la progression la plus importante sur les 15 dernières années. En 2022, l'augmentation a été encore plus forte, avec une progression de 5,9 %. Par le passé, les coûts des bâtiments porcins ont connu des augmentations similaires, comme en 2007-2008. Mais cette crise de 2020 a été différente car elle a été fulgurante, a touché toutes les matières premières en même temps (carte électronique, béton, charpente, métal, plastique...) et a été longue puisqu'elle continue encore en 2023. Cette crise trouve son origine en partie par la reprise d'activité très rapide, à l'échelle mondiale, de tous les secteurs économiques après deux années perturbées par la pandémie mondiale de la Covid. Puis, en 2021, s'est ajouté la guerre entre l'Ukraine et la Russie qui a accentué les difficultés d'approvisionnement des matériaux (Ifip, 2022 ; 2023).

L'évolution importante et rapide du marché de la construction nécessite une actualisation fréquente des coûts bâtiments. La méthode de référence, fiable et robuste, est la collecte et l'analyse de devis récents ; mais elle est chronophage. La méthode d'actualisation par l'intermédiaire des indices BT de l'INSEE est plus rapide, mais son utilisation répétée sur plusieurs

années consécutives ne donne pas des résultats satisfaisants. Les indices BT n'étant pas spécifiques aux bâtiments d'élevage porcin, il est très fréquent d'observer une légère déviation (à la hausse comme à la baisse) des coûts au fil du temps. Généralement, après cinq ans d'actualisation avec la méthode INSEE, il est préférable de renouveler l'analyse de devis pour éviter les écarts trop importants entre des données actualisées et la réalité.

3.3. Une montée en gamme du bâtiment sur paille

A l'inverse des bâtiments sur caillebotis, où les standards de construction n'ont pas beaucoup évolué ces dernières années, ou pas suffisamment pour modifier la répartition des postes de charges, le bâtiment sur paille a connu des modifications majeures sur les 20 dernières années. Pendant longtemps, il a été considéré comme un bâtiment bon marché dans lequel il était possible de produire du porc à moindre coût. Les bâtiments sur paille étaient très sommaires : dalle béton avec une toiture et un bardage léger. Dans la grande majorité des cas, ce mode de logement engendrait une dégradation des performances zootechniques des animaux : retard de croissance, dépôt de gras, forte hétérogénéité, augmentation des indices de consommation... Dans les années 2010, le bâtiment sur paille est monté en technicité. Ainsi, sur les constructions neuves, il est très fréquent d'observer des bâtiments sur paille avec une coque isolée et étanche afin de mieux maîtriser les écarts de température et les circuits d'air dans le bâtiment. De plus, la ventilation est souvent dynamique. Ayant conscience de la difficulté de trier visuellement les porcs sur paille lors des départs à l'abattage, de nombreux éleveurs installent des zones de tri avec des trieurs automatiques ou manuels. Le discours des éleveurs est alors souvent le même : « Mon bâtiment me coûte plus cher mais je veux produire des porcs avec des performances zootechniques les plus proches possibles d'un bâtiment sur caillebotis ». Généralement, un travail spécifique est également conduit pour limiter les apports de paille soit pour des questions économiques soit pour des raisons de disponibilité et d'autonomie sur l'élevage. La paille est donc broyée pour augmenter sa capacité d'absorption et dépoussiérée pour faciliter sa distribution.

3.4. L'émergence d'une nouvelle génération de bâtiments

Depuis une dizaine d'années, les élevages de porcs sont confrontés à de nombreuses controverses sur leur impact environnemental, sanitaire ou sur le bien-être animal. Une grande majorité des citoyens ne souhaite pas interdire l'élevage en France et ils perçoivent son avenir comme une amélioration continue des standards actuels pour mieux répondre aux

attentes (Delanoue *et al.*, 2015). Ainsi, certains éleveurs considèrent ces critiques comme une incitation à changer leurs pratiques (Coty *et al.*, 2017) et certains concepts de bâtiments très originaux ont commencé à voir le jour. Leur positionnement sur le marché est difficile à appréhender car ils ne sont ni conventionnels, ni Label Rouge ni biologiques. La plupart du temps, le cahier des charges de leur bâtiment leur est spécifique et correspond à des débouchés très particuliers, avec un prix supérieur pour le consommateur, car les bâtiments sont plus onéreux. En lien avec la typologie des éleveurs de porcs selon leurs motivations et freins à faire évoluer leurs bâtiments d'élevage, réalisée par Cottet *et al.* (2024), les éleveurs concernés ont une motivation forte au changement (de leurs bâtiments ou pratiques d'élevage). Ils peuvent être considérés comme des « testeurs diversifiés » (modifications davantage orientées vers plus d'ergonomie au travail), des « stratèges leaders » (efforts significatifs d'amélioration du bien-être animal intégrés dans un business model cohérent et très structuré) ou des « conteurs communicants » (concept en dehors du cadre traditionnel de la production porcine).

CONCLUSION

Entre 2015 et 2023, les coûts des bâtiments porcins ont très fortement augmenté, avec des différences selon les modes de logement : de + 39 % en système caillebotis intégral ou biologique à + 143 % en système paille. Entre 2020 et 2022, le marché des matières premières en bâtiment a été très perturbé suite au Covid et à la guerre entre l'Ukraine et la Russie, ce qui s'est concrétisé par une hausse importante et pérenne des coûts de construction. Dans le même temps, de nouveaux concepts de bâtiment ont percé afin de mieux répondre aux demandes sociétales ou pour anticiper d'éventuelles évolutions de la réglementation, notamment en matière de bien-être animal. Ces bâtiments atypiques sont encore rares à l'échelle de la filière. Ils sont plutôt destinés à un marché de niche car les bâtiments sont plus onéreux et ce surcoût peut difficilement être assumé par l'éleveur seul. Les performances zootechniques, environnementales et l'impact sur le bien-être animal et les conditions de travail de ces élevages sont aussi à évaluer pour en avoir une image objective et les comparer aux autres types de logement des animaux.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été rendue possible grâce aux professionnels de la filière porcine (techniciens de groupement, éleveurs, interprofessions...) qui ont œuvré à la récupération et la transmission de devis de construction récents auprès de l'IFIP.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertin C., Ramonet Y., 2016. Etat des lieux des bâtiments d'élevage de porcs en Bretagne chez les naisseurs-engraisseurs en 2015. Journées Rech. Porcine, 48, 1-7.
- Cottet J., Rousselière Y., Delanoue, E, 2024. Les éleveurs porcins et l'évolution des bâtiments d'élevage : typologie des différents points de vue Journées Rech. Porcine, 56, 373-378.
- Coty M., Poisson A., Laurin M., Roguet C., Grannec ML., Neumeister D., 2017. Perception et prise en compte par les éleveurs du regard de la société sur l'élevage. Journées Rech. Porcine, 49, 321-322.
- Delanoue E., Dockès A.-C., Roguet C., Magdelaine P., 2015. Points de vue et attentes des acteurs de la société envers l'élevage. Un regard sur les principales controverses. Renc. Rech. Ruminants, 22, 171-178.
- Ifip, 2022. Porc par les chiffres – La filière porcine en France, dans l'UE et le monde. Les bâtiments en France. 39 p.
- Ifip, 2023. Porc par les chiffres – La filière porcine en France, dans l'UE et le monde. Les bâtiments en France. 42 p.
- Massabie P., 2014. Les coûts par place en production porcine. Techporc, 19, 18 -19.
- Villain N., 2022. La liberté en maternité : quelles conséquences sur l'élevage ? Conférence « 6^{ème} journée Techporc », Rennes, France, 56 p.



Impacts de la Loi EGalim I sur les promotions des produits du porc en France

Valérie DIOT

IFIP-Institut du porc, la Motte au Vicomte, BP 35104,35651 Le Rheu Cedex, France

valerie.diot@ifip.asso.fr

Impact de la Loi EGalim I sur les promotions des produits du porc en France

Le cadre promotionnel de la loi EGalim de 2018, visant à réduire les investissements promotionnels en volume et en valeur pour parvenir à un meilleur équilibre des relations commerciales dans les filières agricoles, initialement mis en place à titre expérimental jusqu'en 2023, est prolongé à 2026. Ce contexte a conduit à s'interroger sur l'impact de ce dispositif concernant la filière porcine. Le suivi sur cinq ans de l'effet de la Loi sur la promotion des produits du porc a été réalisé en croisant deux sources de données : i) la base A3 Distribution des promotions sur prospectus de la grande distribution qui fournit des indicateurs de la dynamique promotionnelle et ii) le panel Kantar qui permet l'analyse des données d'achat des ménages. A son plus haut niveau en 2017, l'intensité promotionnelle en viande de porc et charcuterie a diminué en 2019, de 28,8 % et 12,3 % respectivement. Cependant, dès 2020, le contexte de volatilité des prix de détail en porc, de tensions économiques des ménages et de fragilisation de la distribution a conduit à une reprise de la promotion. Cet effet est plus marqué en viande de porc qui répond à la problématique du pouvoir d'achat et participe à l'image prix d'une enseigne. En charcuterie, la promotion constitue un volet d'ajustement au regard de prix négociés annuellement. Les marques nationales sont pénalisées contrairement aux marques de distributeurs, renforçant leur poids et contribuant à une érosion de la valeur en amont de la filière. Enfin, la part des promotions massifiées reste dominante dans les enseignes bien que ce modèle d'une offre unique pour tous montre ses limites et contribue aussi à une perte de valeur.

Impact of the EGalim I Law on the promotion of pork products in France

The promotional framework of the 2018 EGalim law, which aimed to reduce promotional investments to achieve a better balance of trade relations in agricultural sectors, has been extended until April 2026. This context has led to questions about the impact of this measure on the pig sector. The 5-year follow-up of the effect of this law on the promotion of pork products was performed by cross-referencing two data sources. The A3 Distribution database of promotions on retail prospectuses provided indicators of promotional dynamics, while the Kantar panel allowed analysis of household purchase data. After peaking in 2017, promotional intensity of pork and cold cuts had decreased by 28.8 % and 12.3 %, respectively, in 2019. However, the volatility of retail pork prices, household economic tensions and weakening of distribution caused promotion to increase beginning in 2020. This effect was more marked for pork, which responds to the issue of purchasing power and contributes to the price image of a brand. For cold cuts, promotion was a component that adjusted prices that are negotiated annually. Unlike private brands, national brands were penalised, which strengthened the weight of private brands and eroded value upstream of the sector. Finally, the percentage of mass promotions remained dominant among the brands, but this model of a single type of supply for all has shown its limits and contributed to a loss of value.

INTRODUCTION

A la suite des Etats généraux de l'alimentation de 2017, deux lois ont été adoptées : EGalim I du 30 octobre 2018 « pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire » et EGalim II du 18 octobre 2021 « visant à protéger la rémunération des agriculteurs ». Initialement mises en place à titre expérimental jusqu'en 2023, leur application a été prolongée à 2026. L'encadrement des promotions en valeur (34 %) et en volume (25 %) est, avec le relèvement du seuil de revente à perte (SRP) pour les produits alimentaires destinés à la revente aux consommateurs, l'une des deux mesures destinées à éviter que les produits alimentaires ne fassent l'objet de campagnes promotionnelles agressives, à préserver leur valeur auprès des consommateurs, et à augmenter la marge financière dans la perspective d'une meilleure rétribution de l'éleveur par péréquation de marges. Dans le même temps, son effet inflationniste, avec pour conséquence l'érosion du pouvoir d'achat des consommateurs, questionne.

En deux décennies, le cadre de la promotion a évolué, passant d'instruments promotionnels uniquement centrés vers la vente court terme à l'aide d'avantages directs ou différés (lots, réductions, gratuité...) à l'introduction d'outils de fidélisation mobilisant des techniques liées au marketing plus ciblé (cartes de fidélisation, bons d'achat « ticket », carte cagnotte...) sous la forme de NIP (Nouveaux Instruments Promotionnels). Les deux types d'outils coexistent. Les premiers tendent à développer, chez le consommateur, un comportement d'aubaine centré sur le prix, tandis que les seconds cherchent à favoriser auprès de celui-ci la fidélisation et la valorisation du capital de marque (Debos, 2006). Ce sont ces seconds outils, développés au départ par les distributeurs, qui font l'objet de la Loi EGalim I.

Selon le contexte dans lequel elle est utilisée, la promotion peut être source de dévalorisation. Quand la marque est forte, les promotions favorisent l'augmentation du référencement et stimulent l'essai dans une approche offensive. A l'opposé, si le produit est limité dans sa capacité à apporter une valeur spécifique, les promotions tendent à servir, de manière défensive, au maintien des ventes à court terme. Le supplément de prix demandé ne semble plus justifié par la valeur apportée. En ce qui concerne la viande de porc, avec une part de produits élaborés - émincés, marinés, brochettes... - d'à peine 10 % des volumes d'achat des ménages et un taux de pénétration de 72 % en 2019 selon Kantar, la catégorie constitue un levier d'activation majeur pour les points de vente. Elle joue le rôle de produit d'appel en influant sur le comportement de fréquentation du point de vente des consommateurs selon la technique de la montée en gamme, qui conduit à attirer le consommateur vers l'enseigne pour ensuite l'orienter vers un produit d'une autre catégorie à plus forte valeur ajoutée dans un contexte de multiplication des enseignes fréquentées (8,6 enseignes fréquentées par an par consommateur en 2018 selon Kantar). La dévalorisation réside également dans le fait que la promotion puisse sortir de son cadre exceptionnel pour devenir, par sa fréquence, une simple modalité de réduction de prix. L'importance croissante du taux de générosité, soit le taux de réduction accordé au consommateur, vient dès lors affecter la perception du prix juste (Ingold, 2017). A ce titre, dans le cadre de la Loi sur l'encadrement des NIP et concernant la viande de porc fraîche, des arrêtés successifs d'une durée d'un an avaient été pris en 2015, 2016 et 2017 pour limiter la période au cours de laquelle une opération promotionnelle pouvait se réaliser.

Les dispositions de la Loi de décembre 2018 relatives à l'encadrement des promotions ont cherché à corriger ces biais.

Elle prévoit notamment que les avantages promotionnels pour un produit déterminé - son taux de générosité - ne peuvent dépasser 34 % du prix de vente au consommateur ou à une augmentation de la quantité vendue équivalente et porte sur une quantité de produits ne représentant pas plus de 25 % d'un volume ou d'un chiffre d'affaires.

Pour mesurer l'impact de la Loi EGalim I, des travaux ont été conduits de manière systémique sur de multiples catégories alimentaires (Gardes et Bonnet, 2021) ou sur les évolutions annuelles de répartition de la valeur des différents maillons de la filière au travers de produits majeurs (Boyer, 2019 ; OFPM, 2019, 2020, 2022). En revanche, son impact sur les métriques de la promotion des catégories de produits au sein d'une filière a fait l'objet de peu de communications.

L'objectif de notre analyse est d'évaluer, sur cinq ans (2017-2021) et sur les viandes et charcuterie de porc, l'impact du volet de la Loi EGalim I relatif à l'encadrement promotionnel sur la dynamique promotionnelle, la structure de l'offre de produits par marque et l'inflation des prix. Il s'agit également de poser de premiers éléments d'analyse sur 2022 dans un contexte inflationniste.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Présentation des sources

Notre analyse s'est appuyée sur deux sources principales de données complémentaires proposant des niveaux de lecture différents. Les données promotionnelles de vente du panel de prospectus A3 Distribution, jusqu'alors peu mobilisées pour des études, viennent compléter les observations du panel consommateurs de Kantar. Les données promotionnelles sont issues du panel A3 Distribution des promotions sur prospectus et via e-commerce et correspondent à la codification exhaustive des produits avec ou sans EAN code (European Article Numbering, code barre). L'ensemble de la grande distribution est représenté. Les données consommateur Kantar proviennent d'un panel représentatif de 20 000 ménages pour les achats de produits avec code barre parmi lesquels 12 000 déclarent, en plus, les achats de produits sans code-barre. L'ensemble des données consommateur concerne les achats à destination de la consommation à domicile. Les données sont collectées uniquement en France métropolitaine.

1.2. Période d'étude retenue

Afin de mesurer précisément les incidences de l'application de la Loi sur l'encadrement de la promotion, l'étude est conduite sur une période de cinq ans, de 2017 à 2021. Pour chaque indicateur de promotion observé, deux périodes sont retenues : les années 2017 à 2019, qui encadrent l'application de la Loi, et les années 2020 et 2021, qui précèdent la mise en place la proposition de Loi EGalim II.

1.3. Produits ciblés

L'analyse porte sur les deux principales catégories de produits du porc : i) la viande fraîche dont les prix de détail sont majoritairement indexés sur les cours du porc ; et ii) la charcuterie de porc qui fait l'objet de négociations pluriannuelles donnant lieu à la formation de prix non indexés. Une enveloppe financière relative aux promotions accordées aux consommateurs est confiée aux distributeurs par les fournisseurs, par le biais de mandats de coopération commerciale ou NIP et concerne surtout la charcuterie.

1.4. Méthodes d'analyse

Nous avons étudié quatre types de variables. Celles relatives à l'activité et à la pression promotionnelle sont directement extraites du panel de prospectus A3 Distribution, les autres sont obtenues par calcul. La première variable décrit l'activité promotionnelle par le biais du nombre de prospectus et du nombre d'unités de besoin concernées. Une unité de besoin (UB) regroupe l'ensemble des références répondant à un même besoin comme un jambon taux de sel réduit deux et quatre tranches. La seconde correspond au taux de générosité moyen hors gratuité, soit le taux de réduction accordé au consommateur. Il traduit l'ampleur de la baisse de prix prenant comme prix de référence, le prix facial hors promotion. Ce taux s'entend hors produits avec gratuité comme 20 % offerts. Il est obtenu en rapprochant le taux de remise pratiqué pour une référence donnée, du nombre total de références en promotion sur une période donnée. Le troisième indicateur caractérise l'évolution d'intensité des prospectus au travers de l'évolution de la pression promotionnelle calculée par différence de poids de la promotion, en part de voix, sur une période comparée à la même période de l'année précédente. La dernière variable caractérise la part des techniques promotionnelles déployées entre les outils de remise directe et les NIP. L'analyse intègre les actions de prix barrés sans mécanique promotionnelle associée et prend appui sur les prospectus papier et leur déclinaison web qui conservent une place importante parmi les supports promotionnels.

L'analyse des variables est effectuée sur les formats d'enseignes de l'hypermarché (HM), du supermarché (SM) et des Enseignes de Distribution à Marque Propre (EDMP). L'évolution de la consommation des ménages par marque et des prix est suivie au travers des volumes d'achat des ménages et des prix moyens d'achat du panel Kantar.

Les trois premières variables ont été mobilisées pour évaluer l'impact de la Loi sur l'évolution de l'investissement promotionnel pour les deux catégories de produits étudiées. L'analyse de la quatrième variable a porté uniquement sur la charcuterie Libre-Service (LS). L'effet inflationniste de la Loi a été mesuré en comparant l'évolution des prix moyens d'achat pratiqués par les circuits généralistes de la grande distribution et par ceux des circuits spécialisés (artisans boucher charcutiers, marchés, spécialistes du frais). L'évolution de la structure de l'offre a été analysée en charcuterie Libre-Service (LS) par format d'enseigne en suivant la part relative des marques nationales (MN), des marques de distributeurs (MDD) et des premiers prix (PPX).

2. RESULTATS

2.1. Peu d'effet de la Loi sur l'activité promotionnelle

Contrairement aux effets supposés du volet promotionnel de la Loi relative à la limitation de volume vendu sous promotion, de 2017 à 2019, son application ne s'est pas traduite par une réduction de l'activité promotionnelle. Ce point se vérifie en nombre d'opérations promotionnelles (NB OP) et en nombre d'unités de besoin (NB UB), tant en viande qu'en charcuterie. En effet, sur cette période, le nombre d'opérations promotionnelles (OP) et d'unités de besoin (UB) activées par an, s'est renchéri respectivement de 2,8 % et 5,4 % en viande de porc, et de 4,3 % et 9,4 % en charcuterie de porc, tous formats d'enseigne de la grande distribution. Sur la période 2019 à 2021, le ralentissement marqué de l'activité promotionnelle en 2020, durant la crise sanitaire (COVID), n'a pas favorisé pas une bonne lecture de l'impact de l'encadrement des promotions. Néanmoins, l'année 2021 par rapport à 2019 marque en charcuterie, une reprise du nombre d'UB activées (+2,7 %) en réponse au besoin de relance de l'activité.

La catégorie de la charcuterie est portée pour partie par des marques de PME proposant une variété d'offre qui participent à la valorisation du panier moyen du consommateur (label, spécialités régionales). Pour ces acteurs de PME, le prospectus promotionnel est devenu un outil de développement commercial permettant de maintenir une visibilité auprès des consommateurs, s'agissant d'entreprises aux moyens commerciaux plus limités. En revanche, en viande de porc, l'activité promotionnelle régresse en nombre d'opérations (-6 %) et en unités de besoin (-9,0 %). Néanmoins, cet aspect est plus à rapprocher de la baisse d'activité du rayon traditionnel liée à la montée des préoccupations hygiénistes des consommateurs qu'à l'effet de la Loi.

2.2. Effet bénéfique de la Loi sur le taux de générosité

En 2017, le taux de générosité moyen hors gratuité était de 37,7 % en viande de porc et de 29,9 % en charcuterie de porc. Plus de la moitié (56 %) des UB animées en viande de porc et 22 % d'entre elles en charcuterie (dont 31 % en charcuterie coupe) dépassaient le seuil de taux de générosité de 34 % (Tableau 1). Ce dernier pouvait couramment atteindre 50 % au travers d'opérations comme « un produit gratuit pour un produit acheté ». Ces promotions avec une dégradation de prix importante participent à la perte de repères en matière de prix du consommateur.

Tableau 1 – Taux de générosité moyen et part d'unités de besoin (UB) dépassant un taux de générosité de 34% pour les années 2017 à 2021 en viande de porc et charcuterie (source : Ifip d'après A3 Distribution)

| | 2017 | | 2018 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|-----------------|
| | Taux de générosité | Part UB >34% | Taux de générosité | Part UB >34% | Taux de générosité | Part UB >34% | Taux de générosité | Part UB >34% | Taux de générosité | Part UB >34% |
| Viande de porc tous circuits dont | 37,7% | 56,5% | 35,3% | 44,4% | 24,6% | 5,0% | 23,4% | 1,8% | 22,0% | NS ¹ |
| HM | 37,4% | 58,5% | 32,9% | 28,2% | 24,0% | 13,3% | 26,7% | 0,0% | 22,0% | NS |
| SM | 40,3% | 35,1% | 38,3% | 57,8% | 28,2% | 8,3% | 23,0% | 3,2% | 23,2% | NS |
| EDMP | 35,9% | 50,4% | 34,4% | 35,9% | 23,4% | 2,0% | 21,7% | 0,0% | 13,4% | NS |
| Charcuterie tous circuits dont | 29,9% | 21,8% | 29,9% | 20,7% | 27,9% | 1,3% | 27,6% | 0,2% | 27,5% | NS |
| HM | 31,2% | 24,1% | 31,8% | 24,0% | 29,1% | 1,6% | 28,6% | 0,2% | 28,6% | NS |
| SM | 29,5% | 21,3% | 29,6% | 19,7% | 29,0% | 1,0% | 27,4% | 0,2% | 27,5% | NS |
| EDMP | 27,2% | 12,7% | 22,9% | 8,0% | 22,5% | 0,6% | 20,9% | 0,0% | 19,5% | NS |

¹ NS : non significatif.

En effet, la première dimension de l'image prix du consommateur dans la distribution est la « sécurité prix » qui correspond à la recherche des prix les plus bas possible au sein d'une enseigne, devant les dimensions liées à l'appréciation du rapport qualité prix d'un produit et à l'arbitrage budgétaire (Coutelle-Brillet et Rivière, 2013). Ces trois dimensions contribuent à la formation de l'image prix à des degrés divers tenant compte des différentes caractéristiques individuelles des consommateurs telles que notamment la sensibilité au prix et le circuit de distribution fréquenté.

A partir de 2019, compte tenu de la mise en conformité avec la Loi, le taux de générosité s'est rétracté de manière graduelle pour descendre à 27,5 % en charcuterie et 22,0% en viande de porc en 2021 tous circuits généralistes. De même, la part des produits dépassant le seuil de taux de générosité de 34% est devenue non significative (NS). Dans le détail, par format de magasin au sein des circuits généralistes, ces résultats se vérifient tant en viande de porc qu'en charcuterie dans des délais relativement similaires.

2.3. Effet positif de la Loi sur l'évolution de la pression promotionnelle

L'encadrement de la part de volume sous promotion réduit mécaniquement le niveau des promotions, en raison d'un calcul de l'assiette plus faible et impacte l'évolution de la pression promotionnelle. En 2017, l'évolution de la pression promotionnelle atteint +23,3% en viande de porc et +25,7% en charcuterie de porc tiré par les formats d'enseigne les plus concurrentiels en prix. Ainsi, les investissements sont particulièrement soutenus en hypermarchés (+25,3 % en viande de porc et +25,9 % en charcuterie) et EDMP (+26,3 % en viande de porc et +34,1 % en charcuterie) (Figure 1). Dès 2019, l'effet bénéfique de la Loi s'observe en viande de porc et charcuterie avec une pression promotionnelle réduite à +0,9 % et +3,8 % tous circuits. Celle-ci se stabilise en charcuterie pour descendre sous les 4 % en 2021. En viande de porc, les investissements promotionnels repartent à la hausse en 2021 (pression à +8,7 %), dans un contexte de reprise modérée de l'inflation alimentaire (+2,6 % sur un an) et de contraction des dépenses des ménages en produits frais libre-service (-2,2 %) entraînant la relance de la concurrence entre enseignes.

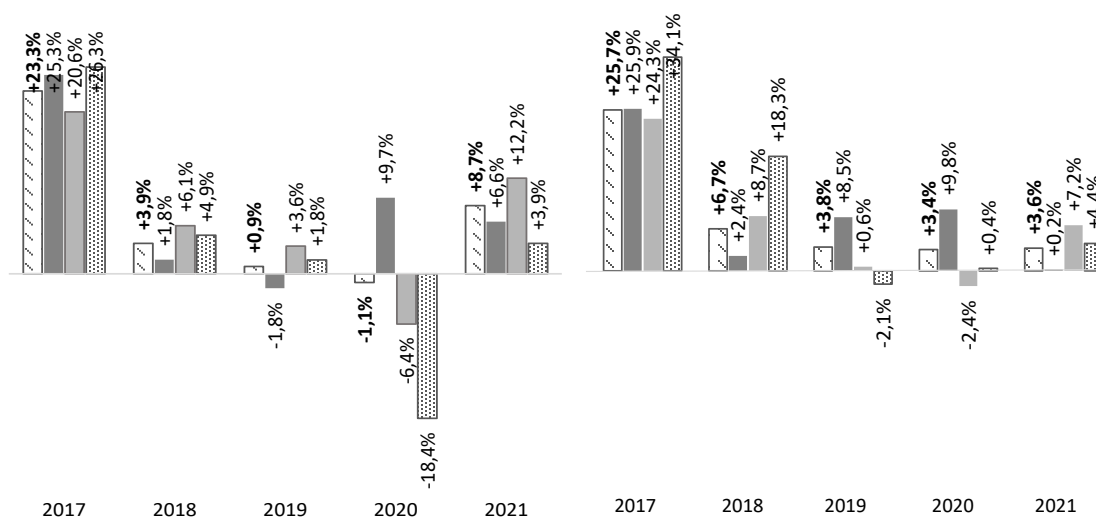


Figure 1 – Evolution de la pression promotionnelle en % de 2017 à 2021 en viande de porc (à gauche) et en charcuterie de porc (à droite) tous circuits de la grande distribution (GD) et par format d'enseigne (HM, SM, EDMP) (source : Ifip d'après A3 Distribution)

2.4. Un champ d'application limité sur les promotions

Le cadre de la Loi relatif à la part des volumes sous promotion et limité à 25 %, s'applique sur les promotions avec mécaniques ciblées (cartes de fidélisation, bons d'achat « ticket », carte cagnotte...) au travers de l'enveloppe NIP. En revanche, il ne couvre pas les promotions avec mécanique à destination de tous les consommateurs ou « massifiées » (19 % des UB en promotion en 2017), parmi lesquelles la gratuité constitue l'essentiel des UB animées (78 % en 2017) devant les lots et les bons de réduction (22 %). En charcuterie libre-service, sur le périmètre des opérations avec mécanique, la promotion ciblée reste dominante. Elle rend compte d'un équilibre vertueux qui privilégie la promotion proposant le bon produit à la bonne cible de consommateurs et minorant l'approche basée uniquement sur le prix. Cette dernière, en effet, ne permet pas de faire monter le panier moyen du consommateur. En première lecture, ce constat s'inscrit en ligne avec la volonté du législateur. Néanmoins, si la lecture est élargie aux promotions sans mécanique de type prix « bas » pour lesquelles un taux de remise n'est pas mentionné, l'observation conduit à la prédominance des promotions massifiées. Elles représentent 56 % en 2017 et leur part évolue peu pour se maintenir à 57% en 2021 (Figure 2).

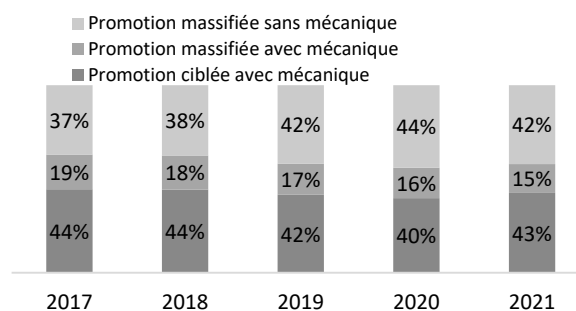


Figure 2 – Part en % des UB activées avec mécaniques promotionnelles en charcuterie libre-service
Source : Ifip d'après A3 Distribution

Elles sont tirées par les actions prix pures sans mécanique dont la part s'accroît significativement entre 2017 et 2019. A titre d'exemple, les offres porteuses de dénomination telles que prix « choc », « malin » ou « avantageux », dans la mesure où une dégradation du prix ne figure pas, peuvent s'exercer. Ce contexte permet d'exercer une pression autour du prix auprès des consommateurs et participe à perturber leur perception du prix. Elle affecte la valeur du produit.

2.5. Une inflation constatée contenue

La Loi EGalim I a été mise en place dans un contexte de faible inflation. En cinq ans, de 2013 à 2018, l'indice des prix à la consommation (IPC) en alimentation a augmenté de 3,4 %. Après l'entrée en vigueur du seuil de revente à perte (SRP) +10 % prévu par la Loi, l'inflation est restée maîtrisée entre 2018 et 2019 : l'IPC a augmenté de 2,5 % pour l'alimentaire. L'analyse comparée de l'évolution des prix d'achat moyens des ménages selon Kantar, sur les circuits généralistes de la grande distribution encadrés par la Loi avec celle des prix des circuits spécialisés (artisans bouchers charcutiers, marchés et vente directe), en charcuterie et en viande de porc, met en avant un différentiel d'inflation de 0,3 point et 0,5 point en viande de porc et charcuterie en 2019 comparé à 2018. L'écart était plus important en charcuterie (2,1 %) entre 2017 et 2018. L'inflation reste relativement contenue sur chacun des circuits à l'exception de 2020 marquée par une sensible accélération de la hausse au regard du contexte de la crise Covid (Tableau 2). Plusieurs facteurs peuvent éclairer ces résultats tels que la proportion modérée de produits concernés par une marge de distribution inférieure à 10 %, l'atténuation de la hausse imposée aux prix de vente de détail en lien avec une diminution des prix d'achat aux fournisseurs et la descente en gamme des achats des consommateurs avec un report des MN vers les MDD. L'observation des prix sortie usine de l'INSEE sur quelques catégories (côtes, rôtis, charcuterie cuite) montre que l'inflation de l'offre est supérieure, de l'ordre de 1 %, à l'inflation de la demande confortant l'hypothèse d'un déplacement des achats

des ménages vers des produits moins touchés par les hausses de prix.

Tableau 2 – Evolution des prix d'achat des ménages en viande de porc et charcuterie en circuits généralistes et spécialisés
Source : Ifip d'après Kantar Worldpanel pour FranceAgrimer

| | | 18/17 | 19/18 | 20/19 | 21/20 |
|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| Viande de porc | Circuit généraliste | +0,9% | +3,7% | +3,1% | +1,0% |
| | Circuit spécialisé | +0,9% | +3,4% | +3,6% | +1,4% |
| Charcuterie de porc | Circuit généraliste | +2,2% | +2,4% | +4,9% | +0,7% |
| | Circuit spécialisé | +0,1% | +2,9% | +3,5% | +1,0% |

2.6. Les limites sur l'évolution de la valorisation de l'offre

L'ensemble MDD et PPX représente en 2018, plus de la moitié des volumes (50,8 %) de la charcuterie libre-service tous circuits généralistes confondus. Le suivi de l'évolution de la part de marché en volume des MN et des MDD sur les circuits généralistes en charcuterie, entre 2018 et 2021 met effectivement en évidence la tendance à croître de la MDD (+1,7 point) et des PPX (+0,4 point) aux dépens de la MN (-2 points). Par format, elle progresse en particulier en supermarché (+3,3 points), tandis qu'en EDMP, les premiers prix gagnent 9,7 points, les discounters consolidant leur positionnement entrée de gamme (Figure 4).

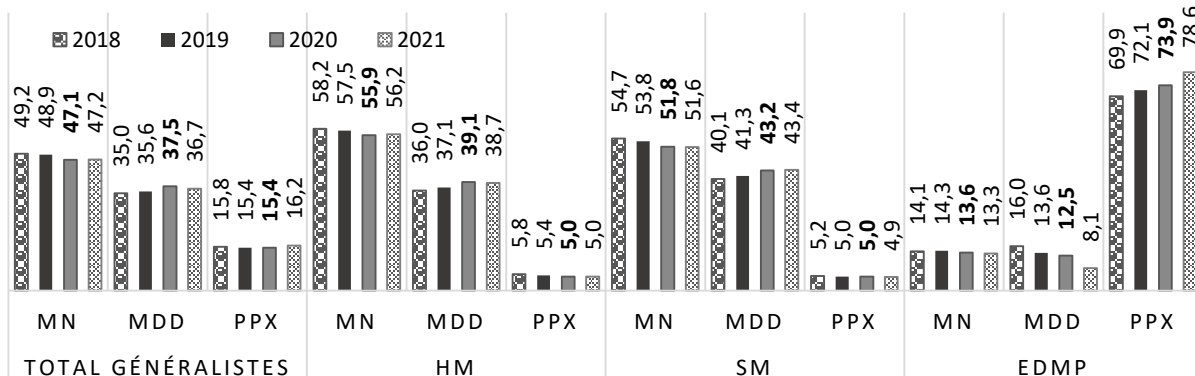


Figure 4 – Evolution de la part de marché volume par marque en charcuterie libre-service de 2018 à 2021 sur les circuits de l'hypermarché (HM), du supermarché (SM) et du total généraliste Source : Ifip d'après Kantar Worldpanel pour FranceAgrimer

Concernant l'impact de la hausse du SRP sur les prix par marque, toutes les catégories affichent une hausse des prix en 2019 comparé à 2018. Tous circuits de la grande distribution (GD), celle-ci reste modérée (+2,6 %). Par marque, les MN (+2,1 %) et les MDD (+2,8 %) se tiennent tandis que les PPX

(+4,4 %) se réajustent, rejoignant l'objectif de rééquilibrage voulu par la Loi. L'analyse en indice montre qu'à rebours, les MDD ont eu tendance à se rétracter en 2019 en hypermarché et supermarché afin de rester compétitifs vis-à-vis du développement des premiers prix en EDMP (Tableau 3).

Tableau 3 – Prix moyen par marque, MN (marque nationale), MDD (marque de distributeur), PPX (premiers prix) en €/kg tous circuits de la GD (Grande Distribution) et en indice base 100 par rapport au prix moyen total par format d'enseigne (HM, SM, EDMP) en charcuterie libre-service de 2018 à 2021. Source : Ifip d'après Kantar pour FranceAgrimer.

| | 2018 | | | | 2019 | | | | 2020 | | | | 2021 | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | Total | MN | MDD | PPX | Total | MN | MDD | PPX | Total | MN | MDD | PPX | Total | MN | MDD | PPX |
| Tous circuits GD dont | 10,3 | 11,7 | 9,8 | 6,7 | 10,5 | 12,0 | 10,1 | 7,0 | 11,0 | 12,5 | 10,5 | 7,6 | 11,0 | 12,6 | 10,4 | 7,8 |
| HM | 100,0 | 109,6 | 92,7 | 49,3 | 100,0 | 109,0 | 81,0 | 69,0 | 100,0 | 108,7 | 93,2 | 55,4 | 100,0 | 109,4 | 92,2 | 55,2 |
| SM | 100,0 | 110,3 | 92,7 | 48,2 | 100,0 | 110,2 | 89,3 | 49,4 | 100,0 | 110,9 | 92,3 | 53,6 | 100,0 | 112,8 | 90,0 | 53,9 |
| EDMP | 100,0 | 123,5 | 108,0 | 93,4 | 100,0 | 126,1 | 130,3 | 70,2 | 100,0 | 117,6 | 109,5 | 95,1 | 100,0 | 113,6 | 107,6 | 96,9 |

En 2021, les équilibres de niveau de prix entre les différentes marques restent cependant très proches de la situation de 2019, à contre-courant de l'augmentation attendue des marges sur les produits d'appel pour valoriser les denrées proposées par les petites et moyennes entreprises et par ruissèlement améliorer la rémunération des éleveurs.

3. DISCUSSION

L'intervention de la Loi pour réguler les équilibres dans le rapport de force entre les différents acteurs du marché est ancienne. Après s'être concentrée sur la distribution dans le but de protéger le petit commerce, elle s'est progressivement tournée vers les relations entre éleveurs, transformateurs et distributeurs en interdisant d'abord certaines pratiques associées à des déséquilibres de valeur puis en s'intéressant aux implications du cadre en place sur le niveau des prix à la consommation. Dans cette analyse, les interventions mises en place dans le cadre du volet promotionnel d'EGalim I montrent leurs limites et la capacité de la distribution à les dépasser au motif de pouvoir continuer à exercer son rôle de commerçant. Ces règles de fonctionnement ont cependant été acceptées à la fois par les éleveurs, par les distributeurs et par les industriels et elles contribuent à limiter l'amplitude des prix pratiqués en promotion et en fond de rayon et l'effet de stockage des consommateurs. La Loi a été mise en place dans une période d'inflation modérée. Les récents bouleversements à l'origine d'une inflation inédite depuis 1985, avec +20,2 % en alimentaire à fin août 2023 au cumul sur deux ans, conduisent à nouveau la promotion à jouer le rôle essentiel pour relancer la concurrence entre enseignes, stimuler une consommation en retrait, mais aussi accompagner les comportements d'achat vers la transition alimentaire.

Au-delà de ces aspects, c'est notamment la notion de prix juste qui est questionnée. Il peut se concevoir dans un contexte de marché, comme un équilibre entre l'intérêt du consommateur, celui du producteur et du distributeur, pour que chacun y trouve son compte. Les initiatives ne manquent pas : affichage d'une stratégie tarifaire « transparente » détaillant les coûts de production unitaire, prix qui rémunère correctement tous les intermédiaires, limitation des coûts logistiques, limitation et valorisation des invendus.

Par ailleurs, les modes de consommation évoluent également pour s'ancrer de plus en plus dans un référentiel de valeurs et de normes. Dans un contexte d'urgence climatique, le consommateur citoyen intègre de plus en plus des critères de décision liés au bien commun et non plus à son seul intérêt individuel, permettant aux enseignes d'assumer des prix plus élevés, à condition d'un gain sociétal ou environnemental. Cependant et malgré la volonté d'associer des enjeux de responsabilité sociale et environnementale dans la stratégie tarifaire, les perspectives inflationnistes pourraient freiner le développement des initiatives. Les Français, et en particulier les deux premiers déciles pour lesquels la part des dépenses en viande peut atteindre 25 % du budget alimentaire, tendent à adopter des réflexes de « survie » en priorisant leur pouvoir d'achat, au détriment de préoccupations pour le « bien commun », laissant présager une aggravation de la tension autour des prix au sein des filières animales y compris porcine.

CONCLUSION

Cette analyse a eu pour objectif de livrer, quelques éléments d'état des lieux de l'impact du volet promotion de la Loi EGalim I, dans un contexte resté peu inflationniste tenant compte du fait que certains paramètres sont plus difficilement mesurables. Un travail ultérieur d'analyse pourrait être conduit pour comprendre quelles sont les pratiques promotionnelles des acteurs en période de crise économique, entre massification et personnalisation des actions notamment, et leurs impacts sur la structure de l'offre par marque et par voie de conséquence sur la chaîne de valeur de la filière porcine. De manière plus large, les travaux actuellement conduits autour du Rémunérascor dans le cadre d'EGalim 2 devraient repenser la question des valeurs perçues autour d'un prix juste dans la consommation des produits du porc, des arbitrages opérés entre contrainte de pouvoir d'achat et un vouloir « mieux manger » pour soi et au service du « bien commun » dans le cadre des impératifs du développement durable.

REMERCIEMENTS

Ce travail s'appuie sur un panel consommateur dont l'accès est financé par Inaporc et FranceAgriMer et un panel de prospectus financé par Inaporc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boyer P., 2019. L'observatoire de la formation des prix et des marges des produits alimentaires : genèse, méthodes, résultats. In Séminaire de politique agricole SFER.
- Coutelle-Brillet P., Rivière A., 2013. Entre prix bas et nouvelles sources de différenciation : quelle stratégie pour les hard discounters ? Revue française de gestion, 230 (1), 137-152.
- Debos, F., 2006. N.I.P. (Nouveaux instruments promotionnels) et promotions des marques : vers une synergie nécessaire. Marketing et Communication, Vol. 1, N°1, ffsic_00141943
- Desmet P., 2002. Promotion des ventes : du 13 à la douzaine à la fidélisation, 2nd édition, Dunod (Eds), Paris, 381 p.
- Gardes F., Bonnet C, 2021. Rapport d'expertise de la loi EGALIM, second rapport, ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance hal-03282131.
- Ingold P., 2017. La promotion comme création de valeur. La Revue des Marques, n°99, juillet 2017, 16-18.
- Journal Officiel « Lois et Décrets », 2018. LOI n°2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous, pp 11-36.
- Mainsant, P., 2004. Promotions boucherie des GMS : elles seraient capables de stimuler fortement la demande à court terme. Viandes et Produits Carnés, 24, 3, 107-113. <http://prodinra.inra.fr/record/156680>.
- OFPM (Observatoire de la Formation des Prix et des Marges des produits alimentaires), 2019. Rapport au parlement, Edition mai 2019, FranceAgriMer, 365 p.
- OFPM (Observatoire de la Formation des Prix et des Marges des produits alimentaires), 2020. Rapport au parlement, Edition juin 2020, FranceAgriMer, 448 p.
- OFPM (Observatoire de la Formation des Prix et des Marges des produits alimentaires), 2022. Rapport au parlement, Edition Juin 2022, FranceAgriMer, 518 p.



Perception de la vaccination par voie orale contre *E. coli* F4/F18 : enquête auprès de 52 éleveurs de porcs utilisateurs en France

Sophie VIGNERON, Bernard FILY, Vincent BURLLOT

Elanco France SAS, Crisco Uno, bâtiment C, 3-5 avenue de la cristallerie, CS80020, 92317 Sèvres Cedex, France

sophie.vigneron@elancoah.com

Perception of oral vaccination against *E. coli* F4/F18: survey of 52 pig-producer users in France

The Ecoantibio programme (2017-2021), driven by the French Ministry of Agriculture and Food, promoted the use of vaccines to prevent infectious diseases. However, few surveys exist on pig producers' reasons for and perceptions of vaccination. Despite a significant drop in recent years, in 2019, 63 % of French pig farms still received antibiotic prescriptions to treat post-weaning digestive infections. A live vaccine administered orally to piglets against *E. coli* F4/F18 is registered and marketed since 2017 in France. The objective of this survey was to describe pig producers' reasons for vaccinating piglets and their perceptions of using the vaccine in France. The survey was performed by an independent market research company. Fifty-two pig producers were interviewed by telephone from November 2022 to February 2023. They started to vaccinate from 2017-2022 and still used vaccines. They vaccinated piglets mainly to manage post-weaning diarrhoea on the farm (71 %), reduce mortality due to PWD (23 %), reduce antibiotic use (19 %) and follow specifications (16 %). The main perception spontaneously mentioned was the ease of administration, which was mainly via bowls. The main advantage of vaccination after its effectiveness against PWD was the decreased use of digestive antibiotics. Ninety percent of producers had either stopped (61 %) or reduced (29 %) the use of digestive antibiotics after beginning to vaccinate piglets. Finally, 87 % of the pig producers surveyed would recommend vaccination to increase the serenity and sustainability of pig farming.

INTRODUCTION

Le plan Ecoantibio 2, de 2017 à 2021, visait à encourager l'emploi des vaccins pour prévenir l'apparition des maladies infectieuses. Une enquête menée en France en élevage bovin a montré que les éleveurs mettent en avant des conséquences psychologiques, économiques et opérationnelles dues aux problèmes sanitaires dans leur élevage (Deleu, 2015). Cette enquête évoquait aussi les motivations et les freins à la vaccination en élevage bovin. Cependant, très peu d'enquêtes existent sur les motivations et la perception de la vaccination en élevage porcin.

Malgré une baisse significative ces dernières années, encore 63 % des élevages porcins français étaient concernés en 2019 par des prescriptions d'antibiotiques pour traiter des infections digestives en post-sevrage (PS) (Poissonnet *et al.*, 2022). Un vaccin contre *Escherichia coli* (*E. coli*) F4/F18 administré aux porcelets par voie orale possède une autorisation de mise sur le marché (AMM) et est mis sur le marché depuis 2017. L'objectif de cette enquête était de décrire les motivations à vacciner et la perception des éleveurs utilisateurs de ce vaccin en France.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description générale de l'étude

Entre novembre 2022 et février 2023, une enquête téléphonique a été réalisée auprès de 52 élevages naisseurs-engraisseurs dans l'Ouest de la France. Elle a été pilotée par ADQuation, une entreprise d'étude de marché indépendante. Les interviews ont été menées auprès de la personne en charge du suivi sanitaire des animaux de l'élevage. L'enquête semi-directive était constituée de questions avec pour certaines des réponses spontanées et pour d'autres des affirmations à choisir. Les 52 éleveurs interrogés étaient utilisateurs du vaccin Coliprotec™ F4/F18 (Elanco) à la date de l'entretien. Ils avaient commencé la vaccination entre 2017 et 2022.

1.2. Les thématiques abordées

Les questions posées portaient sur plusieurs thématiques : les raisons de la vaccination et les arguments qui ont convaincu les éleveurs de vacciner. Pour ces questions, les réponses spontanées des éleveurs ont été relevées. Ensuite, des questions sur l'arrêt de l'utilisation des antibiotiques à visée digestive et sur le niveau de satisfaction détaillée vis-à-vis de la vaccination ont été posées. Dans ce cas, le répondant devait choisir entre différentes propositions. Les résultats sont donnés en pourcentage de répondants.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Caractéristiques des élevages

Les élevages de l'échantillon étaient tous naisseurs-engraisseurs. Ils avaient en moyenne 250 truies et 2 470 porcs. Le sevrage était majoritairement effectué à 21 jours (58 %) (à 28 jours pour 39 % des sondés). Les éleveurs interrogés avaient débuté la vaccination entre 2017 et 2022. Cinquante-huit pour cent des sondés avaient commencé la vaccination avant 2021. Dans tous les cas, c'est un vétérinaire (de groupement ou indépendant) qui a recommandé la vaccination. Pour 84 % des sondés, l'administration se faisait en augette et pour 16 % à l'aide d'un drencher directement dans la gueule.

2.2. Raisons de la vaccination et arguments : réponses spontanées

Deux questions ont été posées concernant les raisons de la vaccination et les arguments qui ont convaincu les éleveurs de vacciner. Les principales réponses spontanées ont été répertoriées en tableau 1.

Tableau 1 – Réponses spontanées des éleveurs vis-à-vis de deux questions (n = 52 répondants)

| Réponses spontanées (multiples) | Résultats |
|--|-----------|
| Pour quelles raisons avez-vous décidé de vacciner vos porcelets ? | |
| Cas de diarrhées de post-sevrage sur l'élevage | 71 % |
| Réduire la mortalité | 23 % |
| Limiter l'utilisation d'antibiotiques | 19 % |
| Pour respecter ou intégrer un cahier des charges | 16 % |
| Quels arguments vous ont convaincu ? | |
| Maîtrise des diarrhées dans l'élevage | 52 % |
| Facilité à administrer | 29 % |
| Arrêt/diminution des antibiotiques | 26 % |
| Conseil du vétérinaire | 19 % |

Concernant l'utilisation d'antibiotiques à visée digestive après la mise en place de la vaccination, 61 % des répondants ont pu l'arrêter et 29 % la réduire. Ces résultats rejoignent en partie ceux déjà publiés en élevage bovin (Deleu, 2015). Dans cette enquête, les éleveurs évoquaient spontanément que la vaccination permettait d'éviter la mortalité avec un bénéfice économique et psychologique, et que l'organisation du travail était plus simple. Les résultats exprimés ici montrent en effet l'importance de maîtriser la pathologie et d'éviter les pertes. Concernant l'organisation du travail, le point mis en avant ici est la facilité d'administration.

La notion de « limiter l'usage des antibiotiques » est spontanément citée ici, ce qui ne ressortait pas de l'enquête de 2015. Les plans Ecoantibio successifs ainsi que les démarches « sans antibiotiques » ont sans doute permis une forte prise en compte de ce paramètre dans la filière porcine.

2.3. Satisfaction vis à vis de la vaccination : réponses à choix

Le tableau 2 montre le pourcentage de répondants « d'accord » avec des affirmations portant sur des éléments de satisfaction à la suite de la vaccination.

Tableau 2 – Réponses à différentes affirmations concernant la vaccination par voie orale contre *E. coli* F4/F18 (n = 52 répondants)

| "La vaccination..." | « D'accord » |
|---|--------------|
| ...permet de diminuer la mortalité causée par les diarrhées" | 97 % |
| ...améliore le bien-être des animaux de l'élevage" | 94 % |
| ...permet de réduire l'utilisation des antibiotiques" | 93 % |
| ...permet de régler le problème de diarrhées" | 91 % |
| ...est une solution durable que je suis fier de mettre en place en tant qu'éleveur" | 90 % |
| ...est une solution efficace pour garantir la bonne santé des animaux dans l'élevage" | 87 % |
| ...améliore le bien-être des éleveurs en limitant le stress" | 87 % |
| ...permet aux éleveurs de gagner du temps" | 64 % |

Enfin, 87 % des répondants recommanderaient la vaccination pour deux motifs principaux : une meilleure sérénité de l'éleveur (84 %) et la durabilité sociétale de l'élevage (81 %).

CONCLUSION

Les motivations pour vacciner étaient de résoudre les problèmes de diarrhées en post-sevrage, de réduire la mortalité mais également de limiter l'utilisation d'antibiotiques, dans le cadre du suivi d'un cahier des charges pour certains. Selon les utilisateurs, la réduction de l'utilisation des antibiotiques est un atout majeur de la vaccination par voie orale contre *E. coli* F4/F18. Le vaccin représente une solution durable que les éleveurs sont fiers de mettre en place et qui améliore le bien-être des animaux sur l'élevage. Enfin, la sérénité de l'éleveur et la durabilité sociétale de l'élevage sont des motifs de recommandations de la vaccination.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Deleu A. 2015. Les freins et motivations à la vaccination en élevage bovin : résultats d'études qualitative et quantitative. In : Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France, 168, n°2, 184-189.
- Poissonnet A., Corrége I., Chauvin C., Hémonic A., 2022. Panel INAPORC, suivi des usages d'antibiotiques en élevage de porcs en France entre 2010, 2016 et 2019. Journées Rech Porcine, 54, 369-370.



Perception des étudiants rennais sur une nouvelle génération de bâtiments porcins multicritères

Emily BURCK (1), Etienne CORNU (1), Charlotte DERBECQ (1), Emilie JOSSE (1), Alice PETITEAU (1), Rosalie PLANTEAU DU MAROUSSEM (1), Yvonnick ROUSSELIERE (2), Lucile MONTAGNE (3)

(1) Institut Agro Rennes Angers, 65 rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes, France

(2) IFIP-Institut du porc, 35651, Le Rheu, France

(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint Gilles, France

lucile.montagne@institut-agro.fr

Perception of Rennes students of a new generation of multi-criteria pig buildings

The emerging generation of buildings for fattening pigs is more spacious and focused on animal welfare. Do these new buildings also meet the expectations of young adults, future consumers and professionals of the animal production sector? How should animal-welfare issues be considered in light of environmental, ergonomic and economic issues? This study aimed to assess students' expectations of pig buildings. Two model buildings were built. The first reflected the visions of young adults from Rennes (115 students 18-25 years old) who had little knowledge of livestock farming, whose ideas were collected using a survey. They envisaged a building that gave priority to animal welfare (67/115 respondents) before considering environmental, ergonomic and financial aspects. They favoured a round building with permanent access to the outdoors. The second model reflected the visions of six students specialising in animal science who met with pig farmers and pig farming experts. These students were faced with the difficulty of designing buildings that were socially acceptable, but also feasible and pleasant for farmers. Both buildings could receive visitors. This study confirms the need to educate and train young adults about the many challenges facing the pig sector, as well as the difficulty of designing pig buildings that satisfy all stakeholders. Students' visions need to be compared to those of livestock professionals. A shared vision is needed to meet the expectations of tomorrow's consumers, but also to attract future professionals.

INTRODUCTION

En lien avec les exigences des consommateurs, une nouvelle génération de bâtiments d'engraissement émerge (Coty *et al.*, 2017). Plus spacieux, généralement axés sur le bien-être animal, ces bâtiments répondent-ils aussi aux attentes des jeunes adultes, futurs consommateurs et professionnels des filières animales ? Comment intègrent-ils les enjeux du bien-être animal, avec ceux liés à l'environnement, l'ergonomie et l'économie ?

Les objectifs de ce travail sont de représenter les attentes de jeunes adultes sur les bâtiments d'élevage. Le travail est intégré au projet Casdar BâtiPorc C4E (2022-2025), piloté par l'Ifip - Institut du porc, qui vise à faire des propositions concernant une nouvelle génération de bâtiment porcins tentant de Concilier des problématiques multiples actuelles : bien-Être animal, Environnement, Ergonomie au travail et Exigences des consommateurs (C4E).

L'hypothèse testée est que si le bien-être est une attente forte de la majorité des jeunes adultes, les bâtiments imaginés diffèrent suivant leur niveau de connaissance de l'élevage.

1. MATERIEL ET METHODES

Deux maquettes de bâtiments d'engraissement porcins ont été construites.

La première nommée Conso'Pig traduit les attentes d'un panel de jeunes adultes étudiants à Rennes, ayant peu de connaissances des élevages. La seconde, Pro'Pig représente la vision de six étudiants en master en Sciences de l'Animal pour l'élevage de demain (SAED) (mention Biologie Agrosociétés, cohabilitée par l'Institut Agro Rennes Angers, l'Université de Rennes et Oniris), futurs professionnels des filières d'élevage.

1.1. Principe de construction de la maquette Conso'Pig

Les attentes des jeunes adultes sur les bâtiments d'élevage ont été recueillies auprès d'étudiants de différents établissements d'enseignement supérieur rennais (Universités, Sciences Po, INSA, ...). Ce ciblage permettait d'interroger de jeunes adultes qui connaissent a priori peu l'élevage mais qui potentiellement ont vu des bâtiments de l'extérieur, de par la proximité de leur ville d'étude avec le bassin de production breton.

Les avis des étudiants ont été recueillis par une enquête semi-directive (google form) dans laquelle les personnes sondées pouvaient choisir, pour une thématique donnée en lien avec la construction ou l'aménagement d'un bâtiment, plusieurs options. La grande majorité du questionnaire s'appuyait sur un jeu de cartes mise à disposition par le LIT Ouesterel qui vise à animer des ateliers de co-construction autour des changements de conception des bâtiments porcins (Leroux *et al.*, 2024). Le questionnaire a été diffusé par les listes de diffusion des établissements et les réseaux sociaux des étudiants.

1.2. Principe de construction de la maquette Pro’Pig

Après avoir réalisé un travail bibliographique sur les aspects techniques des bâtiments et des équipements, ainsi que sur les enjeux des élevages porcins aujourd’hui, un premier plan de bâtiment a été dessiné. Des visites et rencontres avec des professionnels de la filière porcine (trois éleveurs dont un en agriculture biologique, cinq ingénieurs/experts en conception du bâtiment, bien-être animal, conduite d’élevage) ont ensuite été menées. Les étudiants ont pu ainsi avoir un regard critique des professionnels sur leur proposition de plan. La maquette finale intègre des informations recueillies lors de ces échanges.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L’enquête Conso-Pig a permis de recueillir les avis de 115 étudiants de niveau Licence, Master, Doctorat (53, 45 et 2 % respectivement), âgés de 18 à 25 ans et majoritairement des femmes (70 %). Parmi eux, 66 % se déclarent alternatifs, 24 % optimisateurs au regard des profils de citoyens définis par Delanoue *et al.* (2018). Soixante-quatorze pour cent se disent pas ou peu informés mais 64 % ont déjà visité un élevage de porc ; 72 % sont des consommateurs réguliers (une ou plusieurs fois par semaine) ou occasionnels (quelques fois par mois) de produits porcins. Ils envisagent un bâtiment répondant en priorité au bien-être animal (67/115 enquêtés), avant de

considérer les aspects environnementaux, ergonomiques et financiers. Ils favorisent un bâtiment rond (plébiscité à 49 %) avec un accès permanent au plein-air (72 %) (Figure 1a). L’intérieur du bâtiment, sur paille, permet une faible densité d’animaux (1,5 m²/animal contre 1,2 m²/animal en système paille conventionnel) et comporte de nombreux enrichissements (bains de boue, brosses). L’accueil du public est envisagé avec une salle de visite sans contact avec les animaux.

La maquette Pro’Pig accorde aussi une place importante au bien-être des animaux avec un accès à des courettes, un sol laissant la possibilité aux animaux de choisir entre caillebotis ou litière accumulée et une surface totale par animal de 1,5 m². La lumière naturelle est également un sujet fort avec de nombreuses fenêtres, toutes équipées de stores pour limiter le réchauffement des salles. Ce bâtiment permet aussi l’accueil de visiteurs sans contact direct avec les animaux. Le bâtiment est carré pour faciliter le curage de l’aire paillée. Le bâtiment dispose d’équipements facilitant le travail de l’éleveur : pinces automatiques pour pailler, caméra de surveillance à distance, système d’alimentation automatisée pour ajuster les apports alimentaires aux besoins des animaux, dans une logique de maîtrise des coûts alimentaires. Un tracker solaire et une unité de méthanisation passive (type nénuphar) fournissent de l’énergie en minimisant les impacts environnementaux.



Figure 1 – Vue d’ensemble des maquettes réalisées pour traduire a) la vision des étudiants ayant peu de connaissances sur l’élevage (Conso’Pig) et b) la vision de futurs professionnels de l’élevage (Pro’Pig)

CONCLUSION

Les deux bâtiments imaginés ont en commun un accès à l’extérieur, l’accueil de visiteurs, une moindre densité animale et la présence de paille confirmant les tendances actuelles concernant les attentes sociétales. Le travail réalisé conforte la nécessité de pédagogie et de formation des jeunes adultes aux enjeux multiples de la filière porcine ainsi que la difficulté d’imaginer des bâtiments satisfaisant pour l’ensemble des

parties prenantes. Les étudiants ayant réalisé le projet se sont confrontés à la difficulté d’imaginer des bâtiments socialement acceptables mais aussi faisables et agréables pour les éleveurs. Les conséquences sur les performances zootechniques et le surcoût économique de ces deux bâtiments n’ont pas été considérés. Une mise en cohérence est souhaitable afin de répondre aux attentes des consommateurs de demain mais aussi de renforcer l’attractivité pour les métiers de l’élevage et de rester compétitif à l’avenir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coty M., Poisson A., Laurin M., Roguet C., Grannec M.L., Neumeister D., 2017. Perception et prise en compte par les éleveurs du regard de la société sur l’élevage. Journées Rech. Porcine, 49, 321-322.
- Delanoue E., Dockes A.-C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l’élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. INRAE Prod. Anim., 31, 51-68
- Leroux M., Kergourlay F., Rousselière Y., Girma O., 2024. De la réflexion de groupe à l’immersion dans des bâtiments porcins co-construits, innovants en santé et bien-être animal. Journées Rech. Porcine, 235-240.

Environnement





Agir sur la température ambiante pour réduire les émissions de NH₃, N₂O et CH₄ d'une porcherie d'engraissement

Nadine GUINGAND, Yvonnick ROUSSELIERE, Johan THOMAS, Aurélien COLLIN

IFIP – Institut du Porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

nadine.guingand@ifip.asso.fr

*Avec la collaboration technique de Loréna GIRRE et Romain RICHARD, techniciens à l'IFIP
et le personnel de la station expérimentale de l'IFIP*

Agir sur la température ambiante pour réduire les émissions de NH₃, N₂O et CH₄ d'une porcherie d'engraissement

En France, la majorité des bâtiments abritant des porcs charcutiers entre 30 et 120 kg est conduite en ventilation dynamique avec une température de consigne de l'ordre 22-24°C sur toute la période d'engraissement. A l'inverse, certains pays d'Europe du Nord appliquent des températures de consigne de l'ordre de 18°C avec des objectifs annoncés de maintien des performances zootechniques mais aussi de réduction des émissions d'ammoniac des bâtiments concernés. L'objet de cet essai est d'étudier l'influence de la réduction de la température ambiante sur les performances zootechniques (poids, GMQ, IC, TMP) et environnementales (émissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et de méthane) en maintenant des températures plus froides (16,18 et 22°C) sur toute la période d'engraissement à des porcs élevés dans une unité expérimentale thermorégulée nommée Climatotec. Les performances sont ensuite comparées à celles d'animaux élevés dans une salle de configuration classique avec une température de consigne de 22°C. Les performances zootechniques des animaux élevés à températures froides ne présentent pas de différence significative avec celles obtenues par les animaux élevés à 22°C. En revanche, les émissions d'ammoniac des salles maintenues à 16, 18 et 22°C sont inférieures de respectivement 42, 36 et 29% à celle de la salle avec une température de consigne de 22°C. De même, les émissions de méthane sont réduites de 57, 53 et 27% pour les salles maintenues à 16,18 et 22°C par rapport à la salle avec une température de consigne de 22°C. Aucun effet n'a été identifié sur le protoxyde d'azote. La réduction de la température ambiante peut donc se révéler une voie d'investigation à développer pour limiter l'impact environnemental des bâtiments existants.

Reducing ambient temperature to reduce NH₃, N₂O and CH₄ emissions from a fattening piggery

In France, most buildings that house growing-finishing pigs from 30 to 120 kg are operated in a dynamic ventilation mode with a set-temperature of 22-24°C throughout the fattening period. In contrast, certain northern European countries use a set-temperature of 18°C with the stated aim of maintaining zootechnical performance and reducing ammonia emissions from these buildings. The aim of this experiment was to study the influence of ambient temperature on zootechnical (ADG, FCR, %Muscle) and environmental performance (ammonia, nitrous oxide and methane emissions), by keeping temperatures cooler (16, 18 and 22°C) throughout the fattening period of pigs bred in a temperature-controlled unit (Climatotec). Performance of these of pigs were compared to those kept in a conventional room with a set-temperature of 22°C. Zootechnical performance did not differ between the rooms at the lower set-temperatures and the reference room. However, the rooms at 16, 18 and 22°C emitted 42 %, 36 % and 39 % less ammonia, respectively, than the reference room and 57 %, 53 % and 27 % less methane, respectively. In contrast, no effect on nitrous oxide emissions was observed. Reducing of ambient temperature could be one way to investigate how existing buildings can decrease their environmental impacts.

INTRODUCTION

En France, dans la majorité des élevages, l'ambiance des bâtiments abritant des porcs charcutiers est gérée selon un mode de ventilation dynamique basé sur le maintien d'une température ambiante favorable au confort des animaux et à l'obtention de performances zootechniques optimales, tant sur le plan du gain de croît et sa qualité que sur l'indice de consommation. De nombreuses études ont été menées sur l'influence de la température sur les performances des porcs charcutiers aboutissant, en France, au maintien d'une température de consigne aux alentours de 22°C, température proche de la thermoneutralité des porcs (Rinaldo et Le Dividich, 1991 ; Faure *et al.*, 2012 ; Quiniou *et al.*, 1997 ; Quiniou *et al.*, 2000). A l'inverse, d'autres pays comme le Danemark et les Pays-Bas appliquent des températures de consigne de l'ordre de 18°C avec des objectifs annoncés de maintien des performances zootechniques mais surtout de réduction de l'émission d'ammoniac des bâtiments concernés. Cette différence de gestion de la ventilation nous interroge depuis de nombreuses années particulièrement quand elle est combinée avec une modification du type de sol comme la mise en place du caillebotis partiel (Guinand *et al.*, 2010).

Les engagements de la France au niveau européen sur la réduction des émissions d'ammoniac (-15% en 2030 par rapport au niveau de 2005) et la volonté de réduire l'exposition des porcs et des travailleurs à ce même gaz remettent au premier rang des priorités de la recherche et du développement la nécessité d'explorer de nouvelles pistes de réduction, adaptables aux bâtiments existants. En effet, avec un parc de bâtiments âgé de plus de 20 ans (Bertin et Ramonet, 2016) géré par une population de chefs d'exploitation d'un âge moyen de 49 ans en 2020 (Roguet, 2023), les solutions de réduction proposées doivent s'adapter, sans modification structurelle majeure coûteuse, aux configurations actuelles des bâtiments.

En système conventionnel, largement représenté en France, le lisier des animaux est stocké en préfosse sous les animaux sur la durée de leur présence. Au niveau du lisier, la formation de l'ammoniac résulte principalement de la dégradation de l'urée présente dans les urines par l'uréase, enzyme produit par des micro-organismes présents dans les fèces. Ce processus est principalement sensible à la température et au pH (Buscher *et al.*, 1997). En effet, l'augmentation de la température influence le coefficient de dissociation $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$, favorise la diffusion qui lui est proportionnelle et favorise l'activation des bactéries à l'origine de la décomposition de l'urée par l'uréase jusqu'à une température d'inactivation (Degré *et al.*, 2001). Ainsi, la modification de la gestion de la ventilation des bâtiments actuels par le biais d'abaissement des températures de consigne pourrait représenter une voie de réduction de la concentration en ammoniac dans les bâtiments et de son émission vers l'atmosphère.

L'objectif de cet essai est d'étudier l'influence de températures ambiantes inférieures à la thermoneutralité des porcs à l'engraissement sur les émissions d'ammoniac (NH_3), de protoxyde d'azote (N_2O) et de méthane (CH_4) et sur leurs performances zootechniques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Configuration des salles

En vue d'étudier l'influence de la température sur la qualité de l'air sans pour autant se désintéresser de son influence sur les

performances zootechniques, l'Ifip a construit au sein de sa station expérimentale de Romillé (35) une unité thermorégulée nommée Climatotec composée de deux salles identiques avec une gestion précise et indépendante de la température ambiante. L'unité permet d'appliquer des températures constantes de 15 à 30 °C par salle grâce à un bloc thermorégulé constitué d'un aérotherme, d'une pompe à chaleur et d'un dissipateur/capteur de calories (Guinand *et al.*, 2024). Les salles abritent chacune vingt animaux élevés sur caillebotis intégral béton avec stockage des effluents en préfosse sur toute la durée d'engraissement. L'entrée d'air – froid pour cette étude – se fait par les combles puis par un Flud'R (Rose) alors que l'extraction est basse sous caillebotis. Pour cette étude, trois températures de consignes différentes ont été étudiées à savoir 16, 18 et 22°C. Du fait de la configuration de l'unité, la comparaison des températures s'est déroulée en deux étapes : une première visant à comparer les deux températures de consignes les plus basses dans l'unité Climatotec (notées salle C16 et salle C18) et une deuxième pour comparer l'incidence d'une température maintenue à 22°C dans l'unité Climatotec (notée salle C22) par rapport à une salle témoin conduite en parallèle dans l'unité Pilote de la station Ifip avec une température de consigne de 22°C (notée salle T22). Cette salle, avec entrée d'air par plafond diffuseur et extraction basse, abrite un total de 54 porcs élevés sur caillebotis intégral avec stockage des effluents en préfosse sur toute la durée de présence des animaux. La configuration et la gestion de la ventilation de cette salle sont considérées comme représentatives des conditions de terrain. L'étude a été réalisée entre juillet 2022 et mai 2023.

1.2. Conduite

La conduite des animaux de l'unité Climatotec est identique à celle de la salle témoin. À l'entrée en engraissement, un allotement par poids et par sexe est réalisé en vue d'avoir un poids moyen par case identique intra et inter salles et un sex-ratio de 1 par case. Les animaux sont alimentés à volonté avec un régime biphasé constitué d'un aliment de type croissance (16% MAT) distribué jusqu'à environ 65 kg et d'un aliment finition (14.5% MAT) distribué jusqu'à l'abattage. La distribution d'eau est assurée par un abreuvoir bol économe dans chaque case. Les lisiers produits par les porcs sont stockés dans une préfosse sur toute la durée de présence des animaux. Un seul départ abattoir est pratiqué pour faciliter la réalisation du bilan de masse.

1.3. Mesures et enregistrements

Les mesures réalisées dans la Climatotec sont identiques à celles réalisées dans la salle témoin.

La pesée individuelle des animaux est réalisée à l'entrée en engraissement, au changement d'aliment et la veille du départ abattoir. L'aliment distribué par case est pesé quotidiennement et les refus sont pesés au moment du changement d'aliment et lors du départ abattoir. La consommation d'eau de chaque case est enregistrée une fois par semaine. La hauteur de lisier à différents endroits de chaque case est mesurée tous les 15 jours permettant ainsi de calculer la cinétique de production du lisier et un volume produit par porc. Un échantillon de lisier est effectué au changement d'aliment et immédiatement après le départ des animaux. Des prélèvements de lisier sont réalisés à différents endroits de la case puis regroupés et homogénéisés manuellement afin de réaliser un échantillon moyen. L'analyse des effluents porte sur le pH, la matière sèche (MS), l'azote total

(NKjedhal), l'azote ammoniacal (Nammo) et le carbone total (Ct). A l'abattoir, les carcasses chaudes sont pesées, les épaisseurs de gras (G3 et G4) et de muscle (M3 et M4) sont mesurées par Image Meater pour le calcul du taux de muscle des pièces (TMP).

Concernant l'ambiance, les pourcentages de ventilation sont enregistrés par l'intermédiaire du boîtier de ventilation de chacune des salles de l'unité à raison d'un enregistrement toutes les 15 minutes sur la durée de présence des porcs. Les pourcentages sont ensuite convertis en débit de ventilation en $m^3 \cdot h^{-1}$ à partir d'équations établies par bande et par salle. A l'entrée des animaux, les débits de ventilation sont mesurés par pallier de pourcentage de ventilation afin d'établir la relation entre le pourcentage et le débit de ventilation.

Les températures ambiantes sont enregistrées toutes les 15 minutes sur la durée de présence des animaux à l'aide de capteurs (EasyLog MOTE-TH, Lascar, UK) positionnés au centre de la salle. De même, des capteurs (EasyLog Wifi-T, Lascar, UK) positionnés dans des contenants étanches sont installés en surface de lisier et au fond de la préfosse et enregistrent la température du lisier par salle toutes les 15 minutes.

Les concentrations en ammoniac (NH_3), protoxyde d'azote (N_2O) et de méthane (CH_4) sont mesurées au niveau de l'ambiance à l'aide d'un analyseur photo acoustique à infra-rouge (Innova 1512, Lumasens Technologies A/S, Danemark) couplé à un échantillonneur 6 voies (Innova 1409, Lumasens Technologies A/S, Danemark). Les mesures sont réalisées dans l'ambiance toutes les 3 minutes sur toute la période de présence des animaux. Les émissions gazeuses sont ensuite calculées en multipliant les concentrations moyennes horaires (en mg/m^3) de chaque gaz par le débit moyen horaire de ventilation (en m^3/h) et sont exprimées en kg de N ou de C par place et par an.

Les données sont soumises pour chaque essai à une analyse de la variance (Anova sous le logiciel R (R Core Teams, 2021)) avec en effet fixe la température pour comparer les performances zootechniques (poids, GMQ, caractéristiques des carcasses) et environnementales (températures, émissions gazeuses).

Les effets sont considérés significatifs pour une probabilité inférieure à 5%.

Pour l'indice de consommation, le volume de lisier, la consommation d'eau, l'analyse statistique s'est limitée au calcul de moyenne et écart-type du fait d'un nombre insuffisant de valeurs par modalité.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Conditions d'ambiance

Pour l'essai comparant la salle C16 à C18, les températures ambiantes moyennes ont été de $16,5 \pm 1,1^\circ C$ et $18,1 \pm 0,8^\circ C$ pour les salles C16 et C18 respectivement. Les objectifs de températures froides ont donc été atteints.

Pour l'essai comparant la salle C22 à la salle T22, les températures ambiantes moyennes ont été de $23,2 \pm 1,9^\circ C$ et $26,3 \pm 1,4^\circ C$ respectivement pour la salle C22 et la salle T22. La température moyenne de la C22 est supérieure à la température de consigne imposée de $22^\circ C$ mais reste très inférieure à la température moyenne de T22 (écart de $3^\circ C$). Sur cette période, la température moyenne extérieure était de $19,8 \pm 6,8^\circ C$ rendant plus difficile l'atteinte de l'objectifs de $22^\circ C$ dans l'unité Climatotec. Avec des températures extérieures élevées, il devient plus difficile de réduire la température ambiante malgré l'augmentation du taux de renouvellement d'air ce qui explique pourquoi la température moyenne de la salle T22 est très supérieure à la valeur de consigne de $22^\circ C$.

2.2. Performances zootechniques

Les performances calculées jusqu'à l'abattage sont présentées dans le tableau 1. La durée de présence des porcs des différentes bandes varie de 81 à 85 jours. Pour l'essai « C16 vs C18 », aucune différence significative n'est observée sur le poids des animaux aux différentes étapes (transition, abattage). Bien que le poids d'abattage des porcs soumis à $16^\circ C$ soit inférieur à celui des porcs soumis à $18^\circ C$, la différence n'est cependant pas significative.

Tableau 1 – Performances¹ de croissance jusqu'à l'abattage et caractéristiques des carcasses en fonction de la température

| Essai | Essai 1 | | | Essai 2 | | | |
|--|---------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| | Salle | C16 | C18 | ETR ² | C22 | T22 | ETR ² |
| Performances de croissance jusqu'à l'abattage | | | | | | | |
| PV initial, kg | | $30,3 \pm 2,2^a$ | $30,5 \pm 2,5^a$ | 2,3 | $35,6 \pm 3,0^a$ | $37,4 \pm 3,6^a$ | 3,5 |
| PV transition, kg | | $68,2 \pm 4,7^a$ | $70,9 \pm 4,4^a$ | 4,0 | $77,4 \pm 4,2^b$ | $81,7 \pm 6,2^a$ | 5,7 |
| PV final, kg | | $105,6 \pm 12,2^a$ | $111,7 \pm 8,3^a$ | 10,2 | $122,3 \pm 8,1^a$ | $122,3 \pm 7,8^a$ | 7,8 |
| GMQ croissance, g/j | | 924 ± 86^b | 985 ± 83^a | 84 | 950 ± 71^a | 993 ± 90^a | 85 |
| GMQ finition, g/j | | 990 ± 149^a | $1\ 020 \pm 142^a$ | 141 | $1\ 069 \pm 112^a$ | 981 ± 135^b | 130 |
| GMQ global, g/j | | 956 ± 142^a | $1\ 002 \pm 94^a$ | 117 | 1001 ± 77^a | 987 ± 84^a | 82 |
| IC croissance, kg/kg | | $2,35 \pm 0,05$ | $2,18 \pm 0,02$ | - | $2,35 \pm 0,02$ | $2,38 \pm 0,4$ | - |
| IC finition, kg/kg | | $2,69 \pm 0,08$ | $3,09 \pm 0,07$ | - | $2,60 \pm 0,01$ | $2,76 \pm 0,3$ | - |
| IC global, kg/kg | | $2,52 \pm 0,07$ | $2,64 \pm 0,04$ | - | $2,48 \pm 0,01$ | $2,56 \pm 0,3$ | - |
| Caractéristiques de carcasses (données individuelles) | | | | | | | |
| TMP | | $60,7 \pm 2,1^a$ | $60,7 \pm 2,0^a$ | 2,1 | $60,5 \pm 1,9^a$ | $60,8 \pm 1,9^a$ | 1,9 |
| Plus-value, €/kg | | $0,13 \pm 0,06^a$ | $0,16 \pm 0,07^a$ | 0,06 | $0,16 \pm 0,05^a$ | $0,16 \pm 0,05^a$ | 0,05 |

¹ C16, C18 et C22 correspondent aux salles de l'unité thermorégulée Climatotec avec pour température de consigne 16, 18 et $22^\circ C$ respectivement alors que T22 correspond à la salle Témoin avec une température de consigne de $22^\circ C$; PV : Poids vif; GMQ : gain moyen quotidien; IC : indice de consommation; TMP : taux de muscles des pièces obtenu par Image Meater. Le PV de transition correspond au poids au changement d'aliment. Différentes lettres indiquées en exposant sur une même ligne témoignent d'une différence significative entre ces valeurs au seuil de 5%

² ETR : Ecart-type résiduel; l'ETR de l'IC des porcs élevés dans l'unité thermorégulée Climatotec n'est pas calculé car l'IC est une moyenne de deux valeurs.

Sur la phase croissance, le GMQ des porcs soumis à 16°C est inférieur à celui des porcs soumis à 18°C. Sur l'ensemble de la période, bien que le GMQ des porcs soumis à 16°C soit inférieur à celui des porcs soumis à 18°C, la différence n'est pas significative. Bien que non analysée statistiquement, il n'y a pas de différence entre les IC des porcs des deux salles. De même, le TMP moyen des carcasses des porcs élevés à 16 et à 18°C est identique. Le calcul de la plus-value des carcasses ne met pas en évidence de différence statistiquement significative bien que celle des animaux élevés à 16°C soit inférieure de 0,03 €/kg à celle des animaux élevés à 18°C. Ainsi, dans nos conditions d'études, sur l'essai « C16 vs C18 », il n'y a pas de différence significative sur les performances zootechniques des porcs soumis à 16 ou 18°C.

Pour l'essai « C22 vs T22 », les poids des animaux ne diffèrent qu'au moment du changement d'aliment avec des porcs plus lourds pour la salle T22. Pour le GMQ, la différence n'est significative que sur la période finition avec des gains plus

élevés pour les porcs de la salle C22. Bien que non analysé statistiquement, l'IC des porcs de la salle T22 est plus élevé que celui des porcs de la salle C22 et ceci pour les trois périodes. Au global, les performances zootechniques des animaux élevés avec une température constante de 22°C (C22) ou avec une plage de consigne de 22°C (T22) ne sont pas différentes. Aucun effet significatif n'est mis en évidence sur les TMP des porcs de C22 et de T22. La plus-value moyenne est équivalente pour les animaux de C22 et de T22.

D'après Le Dividich *et al.* (1987), les températures froides n'ont pas d'effet notable sur la masse adipeuse totale de la carcasse mais plutôt sur la distribution de cette dernière avec une augmentation du poids et de l'épaisseur du gras dorsal alors que le poids de la panne diminue.

2.3. Émissions gazeuses

Les émissions gazeuses en ammoniac, protoxyde d'azote et de méthane par température sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 – Émissions gazeuses en fonction des températures ambiantes

| Salle ¹ | C16 | C18 | C22 | T22 | ETR |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|
| Émission de N_NH ₃ en kg/place ² /an | 1,67 ± 0,30 ^b | 1,84 ± 0,40 ^b | 2,04 ± 0,30 ^b | 2,87 ± 0,36 ^a | 0,32 |
| Émission de N_N ₂ O en kg/place/an | 0,24 ± 0,03 ^a | 0,22 ± 0,02 ^a | 0,20 ± 0,04 ^a | 0,23 ± 0,02 ^a | 0,02 |
| Émission de C_CH ₄ en kg/place/an | 1,66 ± 0,15 ^c | 1,60 ± 0,14 ^c | 2,50 ± 0,23 ^b | 3,42 ± 0,16 ^a | 0,14 |

¹ C16, C18 et C22 correspondent aux salles de l'unité thermorégulée Climatotec avec pour température imposée de 16, 18 et 22°C respectivement alors que T22 correspond à la salle Témoin avec une température de consigne de 22°C.

² le calcul par place est réalisé sur une base de 3 rotations par place de porc charcutier par an.

Concernant l'ammoniac, les porcs de la salle T22 émettent 2,87 ± 0,36 kg N_NH₃/place/an pour la période d'engraissement. Ces valeurs d'émission sont en accord d'une part, avec celles obtenues dans des conditions identiques dans cette même station (Guinand et Courboulay, 2019) et d'autre part, avec celles de la littérature (Philippe *et al.*, 2011 ; Santonia *et al.*, 2017) qui proposent des valeurs entre 2,5 et 3,0 kg par place et par an. Les porcs des salles C16, C18 et C22 émettent respectivement 1,67 ± 0,30, 1,84 ± 0,40 et 2,04 ± 0,30 kg N_NH₃/place/an pour la période d'engraissement soit respectivement 42, 36 et 29% de moins que les porcs de la salle T22. Dans notre étude, plus la température est basse, plus la réduction des émissions d'ammoniac est importante. La littérature est peu fournie sur l'incidence de températures froides sur les émissions d'ammoniac. Pour Ocepek et Andersen (2022), la concentration en ammoniac dans l'ambiance augmente dès que la température ambiante dépasse 20°C. Tabase *et al.* (2018) ont étudié l'impact de trois niveaux de températures de consigne (21, 23 et 25°C) sur l'émission d'ammoniac de porcs « fictifs » sur caillebotis intégral avec entrée d'air sous caillebotis et extraction haute ; système diamétralement opposé à notre configuration d'étude et à la majorité des élevages français. Dans cette étude, l'émission d'ammoniac est influencée par la température de l'air entrant et non pas par la température de consigne. Dans l'étude de Pouliot *et al.* (2011), les trois scénarios de ventilation étudiés démarrent à des températures entre 21 et 22 °C à l'entrée en engraissement pour atteindre 20°C pour le scénario témoin, 17,2°C pour le scénario intermédiaire et 14,4°C pour le scénario « froid ». L'absence d'effet du traitement « froid » sur les émissions d'ammoniac est expliquée par l'auteur comme étant de la compensation entre la hausse du débit d'air pour le

scénario « froid » augmentant les concentrations d'ammoniac et d'une hausse des températures pour le scénario témoin augmentant les émissions d'ammoniac. Dans notre étude, les débits d'air sont équivalents entre les salles de l'unité thermorégulée, la réduction de la température ambiante étant assuré par un refroidissement de l'air entrant (Guinand *et al.*, 2024).

Concernant le protoxyde d'azote, les porcs de la salle T22 émettent 0,23 ± 0,02 kg N_N₂O/place/an pour la période d'engraissement. Cette valeur est en accord avec celles publiées par différents auteurs (Philippe *et al.*, 2015 ; IPCC, 2019) qui citent des valeurs entre 0,10 et 0,25 kg N_N₂O par place et par an. Les émissions mesurées sur les salles C16, C18 et C22 sont très proches de celle mesurée pour T22 et varient entre 0,20 et 0,24 kg N_N₂O par place et par an. Dans notre étude, la température ne semble donc pas avoir d'effet sur les émissions de protoxyde d'azote. Dans la littérature, l'effet de la température sur la production de protoxyde d'azote du lisier n'est renseigné que pour des températures chaudes (>50°C) qui pourraient inhiber les bactéries actrices du processus de nitrification-dénitrification (Kebreab *et al.*, 2006).

Concernant le méthane, les salles T22 émettent 3,42 ± 0,16 kg/place/an pour la période d'engraissement. Ce niveau d'émission est en accord avec des publications antérieures (Philippe *et al.*, 2011 ; IPCC, 2019) qui fournit des valeurs entre 2 et 4 kg par place et par an. Les émissions mesurées sur les salles C16, C18 et C22 sont inférieures respectivement de 51, 53 et 27 % par rapport à la salle T22. Comme dans notre étude, le scénario « froid » de l'étude de Pouliot *et al.* (2011) conduit à une réduction des émissions de méthane avec un abattement de 42% par rapport au scénario « chaud » dont les températures de consigne sont proches de notre salle T22. Dans

notre étude comme dans celle de Pouliot *et al.*, (2011), la température ambiante froide agit en réduisant l'activité des bactéries méthanogènes du lisier, bactéries particulièrement sensibles à la température de leur milieu (Dabert *et al.*, 2015).

La réduction de la température à des niveaux très inférieurs à la thermoneutralité (C16 et C18) conduit à une limitation des processus de volatilisation et de dégradation aboutissant à des niveaux d'émissions d'ammoniac et de méthane moins élevés que pour la salle T22. Le maintien de la température à 22°C dans la salle C22 pendant toute la journée permet de limiter l'augmentation de la température observées dans la salle T22, particulièrement l'après-midi, qui favorise la volatilisation d'ammoniac et son évacuation de la salle du fait de l'accroissement du niveau de ventilation.

2.4. Consommation d'eau

La consommation moyenne en eau des porcs de la salle T22 est de $8,1 \pm 2,6$ litres par porc et par jour (Tableau 3). Ce niveau de consommation est en accord avec les $7,0 \pm 1,7$ litres par porc et par jour fourni par Massabie *et al.* (2014) pour des porcs à l'engraissement. La consommation en eau des porcs des salles C16, C18 et C22 sont significativement inférieures à celle des porcs de la salle T22 ($P < 0,05$). Ces résultats confirment ceux de Pouliot *et al.* (2011) obtenus avec le scénario « froid » (températures de consigne décroissantes de 21,1 à 14,4°C) avec des consommations moyennes de 4,36 litres par porc et par jour.

2.5. Lisier : volume et température

Le tableau 3 regroupe les volumes de lisier et leurs températures en fonction de la température appliquée dans la salle.

Tableau 3 – Consommation en eau, volume de lisier et température du lisier en fonction des températures

| Salle | C16 | C18 | C22 | T22 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Consommation d'eau, l/p/j | $4,2 \pm 0,7^a$ | $4,8 \pm 1,2^a$ | $5,7 \pm 1,4^a$ | $8,1 \pm 2,6^b$ |
| Volume de lisier, l/p | 396 | 406 | 491 | 540 |
| Température ambiante, °C | $16,5 \pm 1,1$ | $18,1 \pm 0,8$ | $23,2 \pm 1,9$ | $26,3 \pm 1,4$ |
| Température du lisier en surface, °C | $14,9 \pm 2,5$ | $15,8 \pm 2,7$ | $22,1 \pm 1,8$ | $26,2 \pm 1,0$ |
| Température du lisier, fond de fosse, °C | $14,4 \pm 2,4$ | $15,1 \pm 2,5$ | $21,1 \pm 1,5$ | $23,6 \pm 1,1$ |

Concernant le volume d'effluents, les animaux de la salle T22 ont produit 540 litres de lisier sur la période d'engraissement ce qui est proche de la valeur de 480 litres par porc charcutier produit proposée par Levasseur (2013).

Les porcs des salles C16 et C18 ont produit 25% de lisier en moins que ceux de la salle T22. Cette faible production d'effluent est à relier avec la moindre consommation en eau des animaux rapportée précédemment.

La température du lisier a été mesurée à deux hauteurs : en fond de préfosse et en surface. Pour les quatre salles, la différence de température entre les deux hauteurs est très faible. La température du lisier en fond de fosse est toujours inférieure à la température ambiante – température mesurée à 1m80 au-dessus du caillebotis au centre de la salle – de 2,1°C pour C16 et C22 à 3,0°C pour C18. Cette différence est probablement liée au conditionnement des sondes qui sont protégées dans une armature en plastique rigide, elle-même plongée à la verticale dans le lisier, créant ainsi une protection isolante autour des sondes. La moindre isolation du fond de fosse contribue probablement aussi à la réduction de la température du lisier.

CONCLUSION

Les performances zootechniques (poids d'abattage, GMQ, IC, TMP) des animaux soumis à des températures froides inférieures à la thermoneutralité ne sont pas affectées de manière significative. Sur les performances environnementales, la mise en œuvre d'une température froide en continu sur l'engraissement conduit à une réduction des émissions d'ammoniac et de méthane, de la consommation d'eau par les animaux et du volume de lisier produit par porc. Aucun effet n'a été mis en évidence sur les émissions de protoxyde d'azote.

Cette étude a été mise en œuvre dans une unité thermorégulée permettant l'obtention de températures ambiantes très proches des températures de consigne imposées. La transposition en situation d'élevage ne permettra très certainement pas d'atteindre les mêmes niveaux d'abattement à températures de consigne égales. En effet, les écarts entre la température de consigne et la température ambiante peuvent varier de manière considérable particulièrement en période chaude. Des essais complémentaires en conditions classiques de ventilation, c'est-à-dire avec des températures variant de manière plus importante que dans notre unité thermorégulée, devront être mis en œuvre pour valider l'efficacité de cette pratique. Même si les taux d'abattement des émissions gazeuses seront probablement plus faibles que ceux obtenus dans cette étude, la réduction de la température de consigne vers les 18°C pourrait se révéler une pratique d'intérêt à mettre en œuvre pour réduire l'impact environnemental de l'élevage de porc. Cependant, elle nécessitera une maîtrise des circuits d'air pour ne pas risquer l'apparition de courants d'air sur les porcs ce qui pourrait alors dégrader de manière notable leurs états de santé et ainsi leurs performances zootechniques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertin C., Ramonet Y., 2015. Etat des lieux des bâtiments d'élevage de porcs en Bretagne chez les naisseurs-engraisseurs en 2015. Journées Rech. Porcine, 48, 1-7.
- Buscher W., Jungbluth T., Hartung E., 1997. Modeling emissions. In Ammonia and odour control from animal production facilities. Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, 15-22.
- Dabert P., Beline F., Lendormi T., 2015. Projet Promethis. Optimisation de la méthanisation des lisiers porcins à basse température. Aspects microbiologiques. Rapport final. Irstea. 90 pp.
- Degré A., Verhève D., Debouche C., 2001. Emissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction : revue bibliographique. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 5,3, 135-143.
- Faure J., Lefaucheur L., Kouba M., Lebret B., 2012. Croissance du porc à une température d'élevage basse : effets sur les performances et la composition corporelle. Journées Rech. Porcine 44, 281-282.

- Guingand N., Quiniou N., Courboulay V., 2010. Comparison of ammonia and greenhouse gas emission from fattening pigs kept either on partially slatted floor in cold conditions or on fully slatted floor in thermoneutral conditions. International Symposium on Air Quality and Manure Management for Agriculture. 13-16 September. Dallas, Texas. ASABE Publication Number : 711P0510cd.
- Guingand N., Courboulay V., 2019. Effet du fractionnement des apports d'eau dans la technique du lisier flottant pour réduire les émissions d'ammoniac et d'odeurs en engraissement. Journées Rech. Porcine, 51, 181-186.
- Guingand N., Rousselière Y., Thomas J., Colin A., 2024. Conception d'un module thermorégulé pour l'étude de l'influence des températures sur les performances zootechniques et environnementales de porcs à l'engraissement. Journées Rech. Porcine (soumis à publication).
- IPCC, 2019. Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management. 209 pp.
- Kebreab E., Clark K., Wagner-Riddle C., France J., 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: a review. Canadian J. Anim. Sci. 86,2, 135-158. doi : 10.4141/a05-010.
- Le Dividich J., Noblet J., Bikawa T., 1987. Effect of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristics of growing-finishing swine fed to equal rate of gain. Livest. Prod. Sci. 17, 235-246.
- Levasseur P., 2013. Production et capacités de stockage des lisiers de porc. TechPorc 10, 12-14.
- Massabie P., Roy H., Boulesstreau-Boulay A.H., Dubois A., 2014. La consommation d'eau en élevage de porcs – Des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porcs. Editions Ifip. 16 pp
- Ocepek M., Andersen I.L., 2022. The effects of pen size and design, bedding, rooting material and ambient factors on pen and pig cleanliness and air quality in fattening pig houses. Animals, 12,12, 1580. <https://doi.org/10.3390/ani12121580>.
- Philippe F.X., Cabaraux J.F., Nicks B., 2011. Ammonia emission from pig houses: influencing factors and mitigations techniques. Agriculture, Ecosystems and Environment 141, 245-260.
- Philippe F.X., Laitat M., Wavreille J., Nicks B., Cabaraux J.F., 2015. Effects of high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. Atmos. Env. 109, 197-204.
- Pouliot F., Dufour V., Belzile M., Feddes J., Lemay S., Morin M., Godbout S., 2011. Impacts de différentes stratégies de contrôle de la température ambiante en engraissement sur les performances zootechnique, les émissions gazeuses et la consommation d'énergie. Journées Rech. Porcine, 53, 193-197.
- Quiniou N., Noblet J., Le Dividich J., Dubois S., Labroue F., 1997. Influence de l'abaissement de la température ambiante et du poids vif sur le comportement alimentaire des porcs en croissance élevés en groupe. Journées Rech. Porcine 29, 135-140.
- Quiniou N., Renaudeau D., Collin A., Noblet J., 2000. Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades physiologiques. Inra Prod.Anim. 13,4,233-245.
- Rinaldo D., Le Dividich J., 1991. Influence de la température ambiante sur les performances de croissance du porc. Inrae Productions Animales 4, 1, 57-65.
- Roguet C., 2023. Evolution, diversité et typologie des exploitations porcines en France : enseignement du recensement agricole de 2020, comparaison aux recensements de 2010 et 2000. Journées Rech. Porcine, 55, 1-6.
- Santonia G.G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Delgado L., 2017. Best Available Technique (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. EUR 28674 EN. doi: 10.2760/020485
- Tabase R.K., Millet S., Brusselman E., Ampe B., Sonck B., Demeyer P., 2018. Effect of ventilation settings on ammonia emission in an experimental pig house equipped with artificial pigs. Biosystems Engineering 176, 125- 139 <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.010>.



Effet de l'incorporation de 0,5 % d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs à l'engraissement sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

Solène LAGADEC (1), Constance DRIQUE (1), Khaled AMIN (1), Nicolas KOLYTCHEFF (1), Laurent ROGER (2), Daniel PLANCHENAU (2), Sébastien POTOT (3), Estefania PEREZ-CALVO (3)

(1) CRAB, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) DSM-FIRMENICH, 71 boulevard National, 92250 La Garenne Colombes, France

(3) DSM-FIRMENICH, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst, Suisse

Solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

Avec la collaboration des techniciens de la station expérimentale de Crécom

Effet de l'incorporation de 0,5 % d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs à l'engraissement sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

L'ajout d'additifs alimentaires tels que l'acide benzoïque (AB) à 1 %, qui aide à retenir l'azote ammoniacal dans le lisier par la réduction du pH urinaire, a été reconnu comme technique permettant de limiter les émissions d'ammoniac (NH₃) des élevages. Cependant, les données ont été obtenues il y a plus de 10 ans, lorsque les niveaux de protéines brutes (PB) étaient plus élevés (17-18 % en phase croissance et 15-16 % en phase finition) que les niveaux actuels. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de 0,5 % d'AB dans des aliments croissance et finition (respectivement 14,4 % et 13,1 % de PB) sur les performances zootechniques et environnementales. Trois bandes de 144 porcs à l'engrais ont été suivies. Pour chaque bande, 72 porcs ont bénéficié d'une alimentation biphasée avec incorporation de 0,5 % d'AB et 72 porcs ont reçu un régime biphasé classique. Les performances zootechniques ont été enregistrées et les émissions gazeuses mesurées en continu avec validation par bilan de masse. Des améliorations du gain moyen quotidien (977 vs 944 g/j, P < 0,001), de l'indice de consommation (2,53 vs 2,63, p < 0,001) et du TMP (61,3 vs 61,0 %, p < 0,05) ont été observées dans les salles avec AB, permettant un coût de kilo de croît identique, malgré le surcoût de l'AB. L'incorporation d'AB a réduit les émissions de NH₃ de 17 %, 24 % et 10 % pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement, mais n'a pas eu d'effet sur les émissions de gaz à effet de serre. Ces résultats démontrent les avantages zootechniques et environnementaux de cette technique avec les niveaux de PB actuels.

Effects of incorporating 0.5 % benzoic acid in the diet of fattening pigs on zootechnical performance and ammonia and greenhouse gas emissions

The addition of feed additives such as 1 % benzoic acid (BA), which helps retain ammoniacal nitrogen in the slurry by reducing urinary pH, has been recognised as a technique for decreasing ammonia (NH₃) emissions from farms. However, these data were obtained more than 10 years ago, when crude protein (CP) concentrations were higher (17-18 % and 15-16 % in grower and finisher phases, respectively) than those currently used by pig producers. The objective of this study was to evaluate effects of incorporating 0.5 % BA in commercial grower and finisher feed (14.4 % and 13.1 % CP, respectively) on zootechnical and environmental performances. Three batches of 144 fattening pigs were monitored at the experimental station of Crecom. For each batch, 72 pigs received a two-phase diet with the incorporation of 0.5 % BA, while 72 pigs received a traditional two-phase diet. For each batch, zootechnical performances were recorded, and gaseous emissions were measured continuously, with validation by mass balance. Improvements in average daily gain (977 vs 944 g/d, p < 0.001), feed conversion ratio (2.53 vs 2.63, p < 0.001) and lean percentage of the meat (61.3 % vs 61.0 %, p < 0.05) were observed for the pigs that had received BA, which resulted in the same feed cost per kg of weight gained, despite the additional cost of BA. The incorporation of BA reduced NH₃ emissions by 17 %, 24 % and 10 % for batches 1, 2 and 3, respectively, but had no effect on greenhouse gas emissions. These results demonstrate the zootechnical and environmental advantages of this technique with current CP concentrations.

INTRODUCTION

L'ammoniac (NH_3) est un gaz nocif pour la santé des hommes et des animaux car il irrite les voies respiratoires lorsque les concentrations sont trop importantes (Lagadec *et al.*, 2018). C'est également un gaz nocif pour l'environnement puisqu'il favorise l'acidification et l'eutrophisation des écosystèmes (Krupa *et al.*, 2003). La France est le deuxième pays le plus émetteur de NH_3 en Europe, après l'Allemagne. La majorité des émissions de NH_3 provient du secteur agricole (94 %) dont 6 % en provenance des élevages de porcs (CITEPA, 2023). Le protoxyde d'azote (N_2O) et le méthane (CH_4) sont des puissants gaz à effet de serre dont les pouvoirs de réchauffement global sont respectivement de 273 et de 28 (IPCC, 2021), rapporté au pouvoir réchauffant du dioxyde de carbone (CO_2). A l'échelle de la France, l'élevage porcin est responsable de 0,7 % des émissions de gaz à effet de serre (CITEPA, 2023). La réglementation environnementale impose aux éleveurs de porcs soumis à la directive sur les émissions industrielles (IED), actuellement en cours de révision, de mettre en place des « meilleures techniques disponibles » (MTD) pour réduire les émissions de polluants de leurs bâtiments d'élevage (BREF IRPP, 2017). L'une des MTD consiste à ajouter de l'acide benzoïque (AB) à 1 % dans l'aliment pour aider à retenir l'azote ammoniacal dans le lisier par la réduction du pH urinaire. En effet, après avoir été absorbé dans l'intestin grêle et associé à la glycine, l'acide benzoïque est transformé en acide hippurique puis éliminé par les reins diminuant ainsi le pH urinaire (Kristensen *et al.*, 2009). D'après la littérature, l'incorporation d'AB à 1% permet de réduire les émissions de NH_3 de 25 à 27 % (Guingand *et al.*, 2005 et Canh *et al.*, 1998). Cependant, les données ont été obtenues il y a plus de 10 ans, lorsque les niveaux de protéines brutes (PB) étaient plus élevés (16,5-18,0 % en phase croissance et 15-16 % en phase finition) que les niveaux actuels.

Par ailleurs, de récentes études ont montré les effets positifs de l'incorporation de l'AB sur les performances zootechniques. En effet, Planchenault *et al.* (2020) et Zhai *et al.* (2017) ont observé une amélioration significative des performances de croissance avec l'incorporation de AB à 0,5 % et 0,3 %. Ces différences sont de + 55 g/j et de + 62 g/j respectivement pour des taux constants d'incorporation d'AB au cours de l'engraissement (Zhai *et al.*, 2017). Avec des taux d'incorporation modulés selon les phases de croissance (0,5 %) et de finition (0,3 %), la différence est de + 36 g/j (Planchenault *et al.*, 2020). Selon Humphrey *et al.* (2022), un meilleur gain moyen quotidien (GMQ) est observé chez les porcs alimentés avec un régime AB, par rapport à des porcs ayant reçu un régime à faible teneur en protéine, autre solution connue pour réduire les émissions de NH_3 .

Au regard de ces constats, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'ajout de 0,5 % d'AB dans des aliments croissance et finition, formulés à des niveaux faibles de PB, sur les performances technico-économiques, et environnementales.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental et animaux

L'expérimentation a été menée par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne à la station expérimentale de Crécom (22, St Nicolas du Pélem) sur trois bandes B1, B2 et B3, de 144 porcs chacune (Piétrain x (Large White x Landrace)) entre janvier 2022 et février 2023. Les porcs sont munis chacun d'une

boucle RFID qui permet leur suivi individuel jusqu'à la chaîne d'abattage. Les porcs sont répartis au début de l'engraissement (60 jours d'âge ; $31,0 \pm 8,5$ kg) entre deux régimes (72 porcs dans la salle « AB » et 72 porcs dans la salle « témoin ») selon leur poids et leur sexe (femelles et mâles entiers). Les deux salles d'engraissement sont identiques et contiennent chacune 12 cases de six porcs ($1,1 \text{ m}^2/\text{porc}$) et chaque case dispose d'un abreuvoir et d'une auge collective (alimentation à sec). Les porcs sont engraisés sur caillebotis intégral, avec stockage du lisier en préfosse pendant toute la durée de l'engraissement. Les salles sont ventilées mécaniquement (dépression) avec une température de consigne à 24°C . L'entrée d'air se fait par plafond diffuseur avec une extraction basse.

1.2. Aliments et plan d'alimentation

Les animaux du lot témoin, logés dans une même salle, reçoivent une alimentation biphasée avec un aliment croissance (14,4 % de matières azotées totales (MAT) ; 8,7 g de lysine digestible (LysD) ; 9,7 MJ d'énergie nette (EN)) jusqu'à 69 kg en moyenne (102 jours d'âge) et un aliment finition (13,1 % de MAT ; 7,7 g LysD ; 9,7 MJ d'EN) jusqu'au départ à l'abattoir. Tous les aliments sont supplémentés avec une phytase et une xylanase. Les animaux du lot AB reçoivent les mêmes aliments mais avec l'incorporation de 0,5 % d'AB (VevoVital®[®], DSM-Firmenich) « on top » (ajouté en plus aux aliments témoins, sans modification des taux d'incorporation des autres matières premières). Les taux d'incorporation moyens des matières premières et les principales caractéristiques nutritionnelles des aliments sont présentés dans le tableau 1. Entre chaque bande, les lots témoin et AB changent de salle afin de s'affranchir de l'effet salle. Les aliments sont préparés en miette et sont distribués deux fois par jour. Le plan d'alimentation, commun aux deux salles, est basé sur une ration de 45 g d'aliment par kilo de poids vif à la mise à l'engrais suivie d'une progression de 35 g par jour jusqu'à un plafond journalier de 2,6 kg par porc.

1.3. Mesures effectuées et traitements statistiques

1.3.1. Analyse des aliments

La fabrication de l'aliment a été réalisée par la société Le Men, fournisseur de la station expérimentale de Crécom. Afin de s'assurer de la fiabilité des fabrications d'aliments, tous les aliments sont livrés au moins 20 jours avant leur distribution afin d'effectuer sur chacun d'eux une analyse classique (MAT, Calcium, Phosphore, Cellulose Brute, Matière Grasse, calcul de la valeur d'énergie nette par l'équation EN4 (Noblet *et al.*, 1994) réalisée au Labocéa de Ploufragan (22).

1.3.2. Suivi des performances zootechniques

Chaque porc est pesé individuellement à jeun à la mise à l'engrais, à 42 jours d'engraissement (transition entre aliments croissance et finition), à 84 jours d'engraissement et lors de son départ à l'abattage avec un objectif de 120 kg de poids vif. Les quantités d'aliments distribuées et les refus sont pesés tous les jours. A l'abattoir, les caractéristiques des carcasses (poids froid, Taux de muscles des pièces (TMP), G3, G4, M3, M4) sont relevées individuellement. Les consommations d'eau sont mesurées à l'aide de compteurs d'eau par demi-salle.

1.3.3. Suivi des performances sanitaires

L'évaluation de problèmes respiratoires et digestifs a été réalisée trois fois par bande à l'aide des grilles de notations Welfare Quality (Welfare Quality, 2009). En cas de mortalité ou de transfert en infirmerie d'un porc, son âge, son poids et la cause de son retrait sont relevés.

Tableau 1 – Composition et caractéristiques nutritionnelles des aliments des lots témoin et AB.

| Lots | Témoin | | AB | |
|---|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | Aliment croissance | Aliment finition | Aliment croissance | Aliment finition |
| Ingrédients, % | | | | |
| Blé | 57,1 | 50,0 | 56,8 | 49,7 |
| Maïs | 10,0 | 5,0 | 10,0 | 5,0 |
| Orge | 15,0 | 32,5 | 14,9 | 32,3 |
| Tourteau de soja | 2,0 | - | 1,9 | - |
| Tourteau de tournesol | 12,1 | 9,8 | 12,0 | 9,7 |
| Son de blé | 1,0 | - | 1,0 | - |
| Huile de palme | - | 0,1 | - | 0,1 |
| Acide benzoïque | - | - | 0,5 | 0,5 |
| Acides aminés, minéraux, vitamines, enzymes | 2,8 | 2,6 | 2,8 | 2,6 |
| Caractéristiques nutritionnelles | | | | |
| Matière sèche, % | 87,0 | 86,7 | 88,0 | 86,6 |
| MAT ¹ , % | 14,4 | 13,1 | 13,7 | 12,2 |
| Cellulose brute, % | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,3 |
| Energie nette (EN), MJ/kg | 9,7 | 9,7 | 9,8 | 9,8 |
| Lysine Dig. ² , g/MJ EN | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 |

¹Matières azotées totales ; ²Lysine digestible (valeur calculée).

Les traitements médicamenteux individuels ou collectifs sont enregistrés (date, cause, posologie).

1.3.4. Suivi de la quantité et de la composition des effluents produits

Dans chaque salle, le volume de lisier produit a été mesuré et échantillonné en fin de bande. Le volume d'effluents est déterminé par comptabilisation du nombre de cuves de 1 m³ remplies réceptionnant la totalité du lisier présent dans les salles avant qu'il soit dirigé vers la fosse extérieure. Après remplissage de la cuve graduée de 1m³, le lisier est homogénéisé par brassage. Un échantillon de 2 L est prélevé et versé dans un bac de 75 L. Cette étape est réalisée pour chaque cuve pleine. Pour réaliser l'échantillon final, le lisier contenu dans le bac de 75 L est mélangé et 2 L de ce mélange sont prélevés. Les échantillons finaux sont envoyés au laboratoire Labocéa de Ploufragan (22) pour analyse. Les teneurs en azote total, azote ammoniacal, carbone total, carbone organique, phosphore et matière sèche ainsi que le pH de chaque échantillon sont déterminés.

1.3.5. Mesure de la qualité de l'air et des émissions gazeuses

Les concentrations gazeuses en NH₃, N₂O, CH₄, CO₂ et vapeur d'eau (H₂O) ont été mesurées dans l'air ambiant de chacune des salles (pour l'analyse de la qualité de l'air), dans l'air extrait des salles (pour l'analyse des émissions gazeuses) et à l'extérieur du bâtiment (air entrant) toutes les 12 minutes, à l'aide d'un analyseur de gaz photo-acoustique à infrarouge INNOVA 1412.

Les émissions de chaque gaz sont calculées à partir des gradients de concentrations de gaz (en mg/m³) et des débits d'air dans les salles (m³/h/porc). Les gradients de concentrations correspondent à la différence entre les concentrations mesurées dans l'air extrait de la salle (gaine d'extraction) et dans l'air extérieur. Le débit de ventilation est estimé à partir du bilan CO₂ en considérant que la ventilation explique la relation entre la production et le gradient de CO₂ : le débit de ventilation est calculé comme étant le rapport du gradient de CO₂ divisé par la production de CO₂ sortant de la ventilation (Hassouna et Eglin, 2015). Pour chaque bande, les

émissions cumulées sont calculées, correspondant aux émissions totales émises durant toute la période de mesure. Ce cumul permet de déterminer les émissions moyennes de chaque gaz par porc et par jour d'engraissement (en g/porc/jour) et de faciliter la comparaison avec les données existantes.

1.3.6. Contrôle des mesures d'émissions gazeuses

Le contrôle des mesures d'émissions est réalisé en trois étapes (Hassouna et Eglin, 2015). La première étape est la réalisation d'un bilan de masse sur le phosphore, élément non volatil. L'écart entre le phosphore « sortant » (rejeté et retenu par les animaux, calculé selon l'équation du RMT 2016) et le phosphore « entrant » (ingéré) doit être nul (aux incertitudes près) pour valider les mesures réalisées (données d'entrée, prélèvements des effluents). Etant donné la difficulté pour échantillonner les effluents, les incertitudes sur les analyses et les données d'entrée, on peut considérer comme acceptable une erreur inférieure ou égale à 10%. Ainsi, le rapport des sorties sur les entrées de phosphore doit être supérieur ou égal à 90% (Hassouna et Eglin, 2015).

La seconde étape consiste à calculer des bilans de masse sur l'eau, l'azote et le carbone. La différence, appelée « défaut de bilan de masse » doit correspondre, aux quantités de H₂O, N ou C volatilisées, respectivement, sous forme de vapeur pour l'eau, de NH₃, de N₂O, et de diazote (N₂) pour l'azote (N) et sous forme de CH₄ et de CO₂ pour le carbone (C).

La troisième étape consiste à comparer les défauts de bilan de masse (correspondant aux pertes gazeuses) avec les émissions mesurées par l'analyseur de gaz. Elles doivent correspondre entre-elles selon les équations suivantes :

- Emission cumulée H₂O = H₂O volatilisé
- Emissions cumulées N-NH₃ + N-N₂O <= N volatilisé
- Emissions cumulées C-CH₄ + C-CO₂ <= C volatilisé

Seul l'élément H₂O permet de valider les mesures. En effet, pour l'azote et le carbone, les émissions cumulées de ces gaz peuvent être inférieures aux défauts de bilan de masse. Etant donné les incertitudes de mesure, on considère qu'une différence

inférieure à 30% entre ces deux modalités d'estimation des pertes est acceptable (Hassouna et Eglin, 2015). Ainsi le rapport entre les défauts de bilans et les pertes mesurées en H₂O doit être supérieur à 70% pour valider la mesure avec l'analyseur de gaz sur l'azote, le carbone et l'eau.

1.3.7. Analyse des résultats

Les analyses statistiques des données zootechniques ont été réalisées avec le logiciel R. Les données d'indice de consommation (IC), de consommation journalière et de coût alimentaire ont été soumises à une analyse de covariance avec la case comme unité statistique, en effets fixes le traitement (T), la bande (B), le sexe (S) et leurs interactions, et le poids moyen initial de la case en covariable. Les données de croissance individuelles des porcs ont été soumises à une analyse de covariance en modèle mixte avec en effets fixes T, B, S et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. Les caractéristiques individuelles de carcasse ont été étudiées par analyse de variance avec les effets T, B, S et leurs interactions. Le poids chaud de la carcasse est pris en compte en covariable pour analyser le TMP.

Une comparaison numérique a été réalisée entre les concentrations gazeuses dans l'air ambiant et les émissions gazeuses mesurées dans la salle témoin et celles mesurées dans la salle test. En effet, compte-tenu de la variabilité temporelle des concentrations gazeuses des tests statistiques ne sont pas envisageables. Cela permet d'analyser l'effet de l'ajout d'additifs dans l'alimentation des porcs à l'engrais sur la qualité de l'air et les émissions en NH₃, CH₄ et N₂O. La comparaison entre les deux salles a également été réalisée sur les rejets azotés et la composition des effluents.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances technico-économiques

Au cours des 3 bandes, six porcs sont morts ou ont été transférés à l'infirmerie (1,4 %). L'analyse des performances technico-économiques présentées dans le tableau 2 ne prend pas en compte ces 6 porcs. L'incorporation de 0,5% d'AB entraîne une amélioration du GMQ de 33 g/j sur l'engraissement (977 vs 944 g/j, $P > 0,001$). Cette observation est en accord avec celles de Zhai *et al.* (2017) et Humphrey *et al.*, (2022) qui notent une amélioration de la vitesse de croissance respectivement de + 55 g/j et + 39 g/j sur l'ensemble de l'engraissement avec 0,5 % d'AB. Notons que le GMQ est plus élevé pour les mâles entiers que pour les femelles, mais aucun effet de l'interaction T x S n'est observé (excepté pour le GMQ croissance). L'amélioration des performances de croissance peut être attribué au rôle de l'AB qui améliore la morphologie de l'intestin (Halas *et al.*, 2010 ; Diao *et al.*, 2014) notamment la taille des villosités, et par conséquent améliore la digestion et l'absorption des nutriments (Guggenbuhl *et al.*, 2007). Une meilleure efficacité alimentaire est observée avec l'AB (IC : 2,53 vs 2,63 kg/kg, $P > 0,001$) permettant l'obtention d'un coût alimentaire du kilo de croît identique en engraissement entre les deux lots malgré un prix de l'aliment de 3 % plus élevé avec l'ajout d'AB. Zhai *et al.* (2017), Planchenault *et al.* (2020) et Humphrey *et al.*, (2022) ont également constaté une tendance à l'amélioration de l'efficacité alimentaire avec 0,5 % d'AB, mais sans que cette différence avec le régime témoin ne soit significative.

Une amélioration du TMP (61,3 vs 61,0, $P > 0,05$) a également été observée dans les salles AB résultant d'une plus grande

épaisseur de muscle, mais sans impact sur la plus-value technique. Ainsi avec des performances de carcasses et de coût alimentaire similaires, la marge sur coût alimentaire pour l'engraissement est identique entre les deux lots.

2.2 Performances sanitaires

L'évaluation de problèmes respiratoires et digestifs à l'aide des grilles de notations Welfare Quality (Welfare Quality, 2009) n'a pas mis en évidence de différences entre les deux lots. Cependant, les notations étant ponctuelles et peu fréquentes, elles ne sont pas représentatives de l'ensemble des bandes pour ce qui est des problèmes digestifs.

Au cours des trois bandes, on constate que des traitements pour des raisons digestives ont été deux fois plus administrés pour les lots témoins que pour les lots recevant de l'AB, soit une diminution du coût sanitaire de 58 % avec l'ajout d'AB, mais sans impact sur la marge sur coût alimentaire et sanitaire en engraissement. L'amélioration des performances sanitaires peut être attribuer au rôle de l'AB sur l'abaissement du pH intestinal (Diao *et al.*, 2014) qui aide à la suppression des agents pathogènes et à l'amélioration de la biodiversité du microbiote intestinal (Halas *et al.*, 2010).

2.3 Performances environnementales

2.1.1. Bilans de masse phosphore, azote et carbone

Les bilans de masse de l'azote et du carbone ont été validés par le bilan de masse sur le phosphore (non volatil) qui montre une différence inférieure à 10 % entre les entrées (éléments ingérés) et les sorties (éléments retenus ou excrétés).

Pour ce qui est du bilan de masse de l'azote, on constate que les quantités d'azote ingérées sont légèrement inférieures dans les lots avec AB (-1 %, -3 % et -2 % respectivement pour les bandes 1, 2 et 3), en raison d'un aliment à plus faible teneur en protéines et d'une consommation alimentaire légèrement réduite sur l'engraissement en lien avec une durée d'engraissement plus courte. Une meilleure rétention corporelle de l'azote est également observée chez les animaux recevant l'aliment avec AB. Celle-ci est liée à une amélioration des performances zootechniques (meilleure croissance et meilleur TMP) des porcs recevant le régime AB. Par conséquent, les porcs du lot AB ont excrété moins d'azote que les porcs du lot témoin (-5 %, -7 % et -2 % respectivement pour les bandes 1, 2 et 3). Ce résultat est en accord avec Daumer *et al.*, (2007). En ce qui concerne le bilan de masse du carbone, à l'instar de l'azote, les quantités de carbone ingérées sont légèrement inférieures pour les lots AB. Mais aucun effet n'est observé sur les pertes en carbone.

2.1.2. Composition des effluents produits

Malgré des quantités d'azote excrétées plus faibles par les porcs du lot AB, les quantités d'azote dans les lisiers sont plus élevées dans la salle AB que dans la salle témoin témoignant d'une meilleure conservation de l'azote dans les lisiers. Elles sont pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement de 1,44 vs 1,35, 1,65 vs 1,60 et de 1,53 vs 1,52 kg N total/porc. Ce résultat s'explique par le fait que l'azote ammoniacal reste majoritairement sous la forme non ionisée, donc non volatilisable, du fait de la réduction du pH du lisier résultant de l'acide hippurique produit par le métabolisme de l'AB par l'animal (Kristensen *et al.*, 2009). Les effluents sortis du bâtiment sont donc plus riches en azote ammoniacal utilisable par les plantes, à condition de maîtriser les pertes azotées au stockage et à l'épandage de ces effluents.

Leurs teneurs sont pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement de 0,78 vs 0,76, 0,97 vs 0,96 et 0,92 vs 0,87 kg N-NH₄⁺/porc. Les pH des lisiers mesurés en fin d'engraissement ne diffèrent pas entre le lot témoin et le lot AB lié probablement à la production

d'ions OH⁻ lors de la décongélation des échantillons avec pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement 7,30 vs 7,33, 7,39 vs 7,54 et 7,30 vs 7,22. Aucun effet sur les autres éléments (carbone, phosphore et matière sèche) n'a été observé.

Tableau 2 – Performances zootechniques des trois bandes selon l'aliment distribué

| | Témoin | AB | ETR | Statistique ¹ | | | | | |
|---|--------|-------|-------|--------------------------|------|-------|-------------------|--------------------|--------------|
| | | | | Traitement | Sexe | Bande | Traitement x Sexe | Traitement x Bande | Sexe x Bande |
| Nombre de cases | 36 | 36 | | | | | | | |
| Nombre de porcs abattus | 212 | 214 | | | | | | | |
| Poids entrée engraissement ² ,kg | 31,1 | 31,0 | 3,1 | NS | NS | *** | NS | NS | NS |
| Poids fin engraissement ² ,kg | 120,2 | 121,9 | 5,4 | ** | *** | *** | NS | NS | NS |
| Durée engraissement ² ,j | 94,6 | 93,2 | 3,8 | *** | ** | *** | NS | NS | ** |
| GMQ engraissement ² , g/j | 944 | 977 | 77 | *** | *** | ** | NS | NS | * |
| IC engraissement ³ , kg/kg | 2,63 | 2,53 | 0,08 | *** | *** | * | NS | NS | NS |
| CMJ engraissement ³ , kg/j | 2,46 | 2,45 | 0,04 | * | NS | *** | * | ** | NS |
| Coût alimentaire du kilo de croît engraissement ³ , €/kg | 1,178 | 1,176 | 0,032 | NS | *** | NS | NS | NS | * |
| TMP ^{4,5} , % | 61,0 | 61,3 | 1,7 | * | *** | * | NS | ** | NS |
| G3 ⁴ , mm | 13,9 | 13,7 | 2,6 | NS | *** | NS | NS | * | NS |
| G4 ⁴ , mm | 22,0 | 22,0 | 3,0 | NS | *** | NS | NS | NS | NS |
| M3 ⁴ , mm | 76,0 | 77,1 | 5,8 | * | *** | *** | NS | NS | NS |
| M4 ⁴ , mm | 60,0 | 60,9 | 4,5 | * | *** | *** | NS | NS | NS |
| Plus-value technique ⁴ , centimes d'€/kg | 14,6 | 14,6 | 4,7 | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| Marge sur coût alimentaire ³ , €/100 kg de carcasse | 92,41 | 92,47 | 5,05 | NS | ** | NS | NS | NS | NS |

¹ Moyennes ajustées. ² Analyse mixte de la covariance sur les données individuelles des porcs avec en effets fixes le traitement (T), le sexe (S), la bande (B) et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. ³ Analyse de la covariance sur les données moyennes par case avec en effets fixes le traitement, le sexe, la bande et leurs interactions, et en covariable le poids initial de la case. ⁴ Analyse de la variance sur les données individuelles des porcs avec en effets principaux T, S, B et leurs interactions. ⁵ Le poids chaud de carcasse est pris en compte en covariable. ETR : écart-type résiduel ; * : P < 0,05 ; ** : P < 0,01 ; *** : P < 0,001.

Selon Canh *et al.* (1998), cela peut être lié au pouvoir tampon des fèces. Par ailleurs, aucun autre effet n'a été observé sur les autres éléments.

2.1.3. Facteurs d'émissions gazeuses

Les mesures des émissions gazeuses ont montré une réduction des émissions de NH₃ dans les salles AB de -17 %, -24 % et -10 % respectivement pour les bandes 1, 2 et 3, par rapport aux salles témoins. On observe que plus les températures extérieures ont été élevées, plus le taux de réduction des émissions de NH₃ a été important. En effet, elles ont été respectivement pour les bandes 1, 2 et 3 de 9,5 ± 3,5 °C, 17,3 ± 5,3 °C et 6,4 ± 4,8 °C. Par ailleurs, aucun effet n'a été observé pour les émissions de N₂O et de CH₄ (Tableau 3).

Les facteurs d'émissions de NH₃ sont proches du facteur d'émission retenu par le CITEPA de 2,4 kg NH₃/place de porc/an, soit 7,3 g/porc/jour. Les facteurs d'émissions de N₂O sont très faibles, à la limite de détection de l'analyseur de gaz. Enfin les émissions de CH₄ varient entre 4,69 et 9,47 g/porc/jour, en accord avec la variabilité mesurée par Philipe *et al.* (2014).

Tableau 3 - Facteurs d'émission de NH₃, N₂O, CH₄

| Facteurs d'émission, g/porc/jour | NH ₃ | N ₂ O | CH ₄ |
|----------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Témoin B1 | 7,98 | 0,01 | 4,69 |
| Acide Benzoïque B1 | 6,59 | 0,00 | 4,69 |
| Témoin B2 | 8,38 | 0,03 | 5,38 |
| Acide Benzoïque B2 | 6,38 | 0,09 | 6,56 |
| Témoin B3 | 8,74 | 0,00 | 9,47 |
| Acide Benzoïque B3 | 7,83 | 0,00 | 8,92 |

Les taux de réductions des émissions de NH₃ sont équivalents à ceux référencés dans le BREF élevage (de -6,4 % à -24 % de réduction de l'émission de NH₃) mais avec une supplémentation de 1 % d'AB dans un régime biphasé et dans des contextes de taux plus élevés de protéines dans les aliments (de 16,6 % à 18,1 % pour les aliments de croissance ; de 15 % à 16,2 % pour les aliments de finition). Avec une supplémentation de 0,5 % d'AB, les réductions référencées dans le BREF élevage n'étaient que de -3,6 % à -6 % pour une alimentation biphasé avec des taux protéiques plus élevés dans les aliments (16,6 % pour les

aliments croissances ; de 15,1 % à 15,5 % pour les aliments finitions). Ces différences s'expliquent par le fait que la réduction du taux de protéine de l'aliment entraîne une diminution du pouvoir tampon et donc une meilleure efficacité de l'AB (Daumer *et al.*, 2007).

2.1.4. Qualité de l'air

Dans l'air ambiant, les concentrations en NH₃ moyennées sur les trois bandes sont de 16,3 ± 2,4 ppm dans les salles témoins et de 14,0 ± 2,7 ppm dans les salles avec AB. Ces taux sont inférieurs à la valeur limite d'exposition professionnelle de 20 ppm sur une durée de 15 minutes (INRS, 2022). Par ailleurs, l'ajout d'AB dans l'aliment a permis de diminuer la concentration en NH₃ d'au moins 2 ppm.

CONCLUSION

L'AB incorporé à 0,5 % dans l'aliment à bas taux protéique, en favorisant la rétention d'azote par les porcs et de l'ammonium dans le lisier, permet de diminuer les émissions de NH₃ de 10 à 24 % selon les saisons. Cette solution a plusieurs avantages pour agir sur les réductions d'émissions de NH₃ des élevages soumis à la directive IED. Elle est simple à mettre en place, car l'AB est incorporé directement dans l'aliment. Elle ne nécessite pas d'investissements, contrairement à d'autres « meilleures techniques disponibles (MTD) » tels que le lavage d'air ou le raclage en V et elle n'impacte pas la rentabilité des élevages, car les meilleures performances zootechniques obtenues permettent de compenser son coût. Enfin, elle permet d'obtenir des résultats similaires à ceux obtenus pour une

incorporation de 1 % d'AB, déjà reconnue comme une MTD, et ce, dans des contextes d'aliments avec de faibles taux de protéines. Ainsi, dans le cadre de la révision du BREF élevage, il serait intéressant d'investiguer davantage cette technique, notamment si la directive IED devait s'étendre à d'autres élevages plus petits et ayant moins de capacité d'investissements. Cette solution est également intéressante à l'échelle de l'exploitation pour son intérêt agronomique de recyclage de l'azote, en permettant d'obtenir un lisier plus riche en azote ammoniacal. Mais encore faut-il prendre des précautions pour une bonne gestion du lisier par la suite et éviter les pertes de NH₃ au stockage ou à l'épandage. Enfin, pour limiter encore le surcoût lié à l'ajout d'AB dans l'aliment, il serait intéressant d'étudier les effets d'une dose décroissante d'AB dans l'aliment au cours de l'engraissement sur les performances environnementales. Planchenault *et al.*, (2020) ont en effet obtenu les meilleures performances de croissance et d'efficacité alimentaire des porcs charcutiers à des taux d'incorporation de 0,5 % et 0,3 % respectivement dans les aliments croissance et finition, par rapport à des porcs alimentés avec des aliments contenant des taux constants d'AB de 0 à 0,5 % au cours de l'engraissement.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du soutien financier de la société DSM-Firmenich et du Programme Régional pour le Développement Agricole et Rural Bretagne. Les auteurs remercient les techniciens de la station expérimentale de Crécom.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canh T.T., 1998. Ammonia emission from excreta of growing-finishing pigs as affected by dietary composition. PhD Thesis. Agric. Univ. Wageningen, The Netherlands, 163 p.
- CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten ed. 2023.
- Daumer M-L., Guizou F., Dourmad J-Y., 2007. Influence de la teneur en protéines de l'aliment et de l'addition d'acide benzoïque et de phytase microbienne sur les caractéristiques des effluents chez le porc à l'engraissement. Journées Rech. Porcine, 39, 13-22
- Diao H., Zheng P., Yu B., He J., Mao X. B., Yu J., Chen D. W., 2014. Effects of dietary supplementation with benzoic acid on intestinal morphological structure and microflora in weaned piglets. *Livest. Sci.*, 167, 249-256.
- Guggenbuhl P., Séon A., Piñón Quintana A., Simões Nunes C., 2007. Effects of dietary supplementation with benzoic acid (VevoVital®) on the zootechnical performance, the gastrointestinal microflora and the ileal digestibility of the young pig. *Livest. Sci.*, 2007, 218-221.
- Guingand N., Demerson L., Broz J., 2005. Incidence de l'incorporation d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs charcutiers sur les performances zootechniques et l'émission d'ammoniac. Journées Rech. Porcine, 37, 1-6.
- Halas D., Hansen C. F., Hampson D. J., Mullan B. P., Kim J. C., Wilson R. H., Pluske J. R., 2010. Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs. *Anim. Feed Sci. Tech*, 160, 137-147.
- Hassouna M., Eglin T., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME, 314 p.
- Humphrey D. C., Bergstrom J. R., Pérez-Calvo E., Trabue S. L., Scoggin K. D., Greiner L. L., 2022. The effect of benzoic acid with or without a direct-fed microbial on the nutrient metabolism and gas emissions of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2022, 100, 1-11.
- INRS, 2022. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. Logiciel en ligne
- IPCC, 2021. Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Kristensen N. B., Nørgaard J. V., Wamberg S., Engbæk M., Fernández J. A., Zacho H. D. and Poulsen H. D., 2009. Absorption and metabolism of benzoic acid in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2009, 87:2815-2822.
- Krupa S.V., 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: A review. *Environ. Pollut*, 124, 179-221.
- Lagadec S., Guingand N., Trucheau P., Gabrysiak L., Guinot L., Hassouna M., 2018. Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM_{2,5} durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers. Journées Rech. Porcine, 50, 1-6.
- Planchenault D., Gracia M., Bonekamp R., Walsh M., Perez-Cavlo E., 2020. Effets de différentes doses d'acide benzoïque sur les performances zootechniques des porcs charcutiers entre 25 kg et l'abattage. Journées Rech. Porcine, 52, 171-172
- RMT Elevage et environnement, 2016. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs, 26 pp.
- Welfare Quality®, 2009. Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands
- Zhai H., Ren W., Wang S., Wu J., Guggenbuhl P., Kluever A-M., 2017. Growth performance of nursery and grower-finisher pigs fed diets supplemented with benzoic acid. *Animal Nutrition* 3:3, 232-235.



Performances zootechniques des porcs à l'engraissement et émissions d'ammoniac : effet d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné, ajouté dans le lisier en bâtiment

Solène LAGADEC (1), Khaled AMIN (1), Nicolas KOLYTCHEFF (1), Valentin GARDIE (2), Mickael TRAVERS (2), Alexandre MARTIN (2), Paul ROBIN (3)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) SOBAC, Zone Artisanale de Lioujas, route de Campeyrroux, 12740 La Loubière, France

(3) INRAE, Institut Agro, SAS, 35000 Rennes, France

Solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

Performances zootechniques des porcs à l'engraissement et émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre : effet d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné, ajouté dans les lisiers en bâtiment

La diminution des émissions d'ammoniac dans les élevages est un enjeu majeur de la durabilité des systèmes de production animale. Un complexe de micro-organismes naturel sélectionné (CMONS) capable de limiter, par réorganisation des éléments, les pertes d'azote et de carbone de lisier épandu a été testé dans le cadre de l'élevage conventionnel de porcs charcutiers. L'objectif de cette étude est de mesurer l'effet de son utilisation dans le bâtiment sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac des porcs à l'engrais. Pour cela, neuf exploitations porcines ont été suivies durant trois bandes consécutives d'engraissement. Dans chaque exploitation, deux salles d'engraissement identiques ont fait l'objet de mesures avec une salle test recevant le CMONS et une salle témoin sans ajout de produit. Pour chaque salle, les performances zootechniques ont été enregistrées. Les émissions gazeuses en bâtiment ont été mesurées par méthode simplifiée sur un échantillon de cinq des neuf exploitations, au cours de deux bandes en périodes contrastées (chaude et froide). Dans les salles dont le lisier a été ensemencé avec le CMONS, le gain moyen quotidien, l'indice de consommation et le taux de mortalité sont en moyenne améliorés ($P < 0,2$), aboutissant pour chaque place d'engraissement à une augmentation de la production et à une diminution de la consommation d'aliment. L'activité biologique induite par l'apport de CMONS a permis une réduction des émissions d'ammoniac durant la saison la plus chaude qui est la plus émettrice. Les résultats de cette étude montrent l'intérêt de l'apport du CMONS dans les lisiers sur l'amélioration des performances zootechniques et environnementales des porcs à l'engrais.

Zootechnical performance of fattening pigs and ammonia emissions and greenhouse gases: effect of a selected natural micro-organism complex added to slurry in pig housing

Reducing ammonia emissions on livestock farms is one of the major challenges for the sustainability of animal production systems. A complex of selected natural microorganisms (CMONS) capable of decreasing nitrogen and carbon losses from slurry by reorganising both elements was tested in conventional pig production. The aim of this study was to measure effects of using it on the zootechnical performance and ammonia emissions of fattening pigs. To this end, nine pig farms were monitored over three consecutive fattening periods. On each farm, two identical fattening rooms were measured, with a test room that received CMONS and a control room that received no CMONS. Zootechnical performance was recorded for each room. Gaseous emissions were measured using a simplified method on a sample of five of the nine farms during two bands with contrasting periods (hot or cold, respectively). In the rooms where slurry had been added to CMONS, mean average daily gain, feed conversion ratio and mortality rate improved ($P < 0.2$), which increased production and decreased feed consumption in each room. The biological activity induced by adding CMONS reduced ammonia emissions during the hottest and most emissive season. The results of this study demonstrate the benefits of adding CMONS to slurry to improve the zootechnical and environmental performances of fattening pigs.

INTRODUCTION

Emis dans l'air, l'ammoniac (NH_3) participe à la formation des particules fines, à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux (CITEPA, 2023). La diminution des émissions de ce gaz est donc un enjeu majeur de la durabilité des systèmes de production animale. A l'échelle de la France, l'élevage porcin est responsable de 6,43 % des émissions de NH_3 . Ce gaz est émis dans l'air suite à trois processus biologiques qui ont lieu au sein des effluents produits par les porcs : l'uréolyse, la dissociation et la volatilisation. L'uréolyse est l'hydrolyse de l'urée aboutissant à la production d'ions ammonium NH_4^+ . La dissociation entraîne un équilibre dans l'effluent entre la forme ionisée (NH_4^+) et la forme non ionisée NH_3 . Enfin, la volatilisation est le passage de la forme liquide NH_3 à sa forme gazeuse (Sommer *et al.*, 2006 ; Vigan *et al.*, 2018). Contrôler différents paramètres physico-chimiques (e. g. température, pH et surface du lisier, ou vitesse de l'air) permet de limiter ces processus biologiques (Hassouna et Eglin, 2015). Agir sur la flore microbienne est une solution à envisager pour limiter les émissions de ce polluant (Espagnol *et al.*, 2019) tout en envisageant un effet sur les performances zootechniques (Gardiner *et al.*, 2020).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'ajout dans le lisier d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné (CMONS) sur les émissions de NH_3 et les performances zootechniques des porcs en engraissement. Cette étude a été menée dans des conditions réelles d'élevage pour deux raisons : i) refléter la diversité des systèmes d'engraissement dont les caractéristiques influencent la biologie des lisiers, et ii) exprimer les résultats en des termes les plus proches possible des enjeux économiques des éleveurs.

Sur la base d'une précédente étude sur l'utilisation du CMONS (Allain et Aubert, 2009), les hypothèses suivantes sont testées :

i) le CMONS diminue l'émission de NH_3 ; ii) l'utilisation du CMONS résulte en une amélioration des performances zootechniques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description des élevages suivis

L'expérimentation a été menée dans 9 élevages de porcs en engraissement dont les lisiers n'ont jamais été traités avec un additif microbien. Pour chaque élevage, une salle test et une salle témoin ont été suivies, sans alternance, durant trois bandes successives (bande 1, 2 et 3) pour observer l'effet du CMONS sur les performances zootechniques et durant deux bandes (bande 1 et 3) pour analyser l'effet du CMONS sur les émissions de NH_3 en prenant en compte l'effet saison (bande 1 en période chaude et bande 3 en période froide). Le CMONS est issu des Technologies Marcel Mezy apporté par le BACTÉRIOLIT®. Les deux salles (CMONS et témoin) présentaient les mêmes caractéristiques (surface, agencement, position dans le bâtiment, profondeur de préfosse, isolation thermique, ventilation) et la même conduite d'élevage (gestion des animaux et des effluents). L'apport du CMONS a été calibré sur une quantité de 500 g/porc pour la durée de l'engraissement. Au démarrage de chaque bande, le fond de fosse a étéensemencé avec 250 g de CMONS/porc présent dans la salle. Suite à ce premier apport, 250 g de CMONS/porc présent dans la salle auront été apportés tout au long de la période d'engraissement, de façon hebdomadaire. La salle témoin n'a reçu aucun additif dans le lisier au cours des trois bandes successives.

Le tableau 1 présente les caractéristiques générales des salles suivies (effectif, alimentation, effluent, ventilation). Sur 3 bandes, les données exploitables ont couvert 24 paires de salles, soit 48 lots d'engraissement et 5 504 porcs

Tableau 1 - Description des 9 élevages étudiés

| n° d'élevage | animaux | alimentation | | | effluents | | ventilation | |
|--------------|------------------------|---------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------------|-------------------|--------------|
| | nombre de places/salle | type d'alimentation | nombre de phases | FAF ¹ | caillebotis intégral | profondeur de préfosse | entrée d'air | sortie d'air |
| 1 | 180 | soupe | 1 | oui | sauf couloir | 1m50 | champignons | basse |
| 2 | 144 | soupe | 1 | oui | sauf milieu | 1m20 | plafond diffuseur | haute |
| 3 | 53 | soupe | 2 | oui | oui | 1m50 | plafond diffuseur | haute |
| 4 | 136 | soupe | 3 | non | oui | 1m | trappe | haute |
| 5 | 168 | soupe | 3 | oui | oui | 1m | trappe plafond | basse |
| 6 | 90 | soupe | 2 | non | oui | 1m50 | conduit côté sud | basse |
| 7 | 96 | soupe | 1 | oui | oui | 1m60 | plafond diffuseur | haute |
| 8 | 90 | soupe | 3 | oui | sauf couloir | 1m | trappe | basse |
| 9 | 80 | soupe | 2 | oui | oui | 1m20 | sous caillebotis | haute |

¹ FAF : fabrication d'aliment à la ferme

1.2. Caractérisation des animaux

1.2.1. Caractéristiques des animaux

A l'entrée en engraissement, les porcs ont été pesés par case et répartis de manière à ce que le poids d'entrée moyen soit proche entre la salle CMONS et la salle témoin. Le poids de chaque porc transféré ou mort au cours de l'engraissement a été enregistré. Enfin, les poids de départ des animaux ont été enregistrés à partir des données de l'abattoir, les porcs ayant un marquage individuel relatif à leur salle d'engraissement, avec un rendement forfaitaire de 76,5% appliqué au poids froid pour approcher le poids vif de sortie d'engraissement (Badouard *et al.*, 2012).

1.2.2. Quantités et compositions des aliments consommés

Les quantités d'aliments consommés ont été enregistrées dans chaque élevage lorsque cela était possible. A défaut un indice de consommation (IC, kg d'aliment par kg de croissance de porc), identique pour les deux traitements, a été estimé par l'éleveur à partir des données technico-économiques de son élevage. La composition des aliments (teneurs en matière azotée totale, carbone, phosphore, potassium) a été estimée à partir des données du fabricant d'aliments ou des indications de l'éleveur en cas de fabrication d'aliments à la ferme (FAF).

1.3. Caractérisation des émissions gazeuses

Les émissions gazeuses ont été mesurées à l'aide de la « méthode simplifiée » (Hassouna et Eglin, 2015 ; fiche n°22) dans 5 des 9 élevages durant la bande 1 et la bande 3 (bande en période chaude et en période froide), soit 10 bandes de porcs. Ce choix résulte de contraintes organisationnelles et financières. Cette méthode est basée sur le couplage entre le calcul des pertes gazeuses de carbone de chaque bande (bilan de masse du lot d'animaux déduit des données sur l'alimentation, la croissance et les effluents) et la mesure des gradients de concentrations entre l'intérieur et l'extérieur de chaque salle pour chaque gaz d'intérêt : dioxyde de carbone (CO₂), NH₃, protoxyde d'azote (N₂O) et méthane (CH₄). Elle est basée sur deux hypothèses : (1) la ventilation de la salle d'élevage entraîne de la même manière tous les gaz, en conséquence les émissions de CO₂ et des autres gaz (CH₄, NH₃, N₂O) sont proportionnelles ; (2) si les émissions d'une salle sont plus faibles que celles d'une autre salle, les proportions entre gaz seront différentes.

Des poches d'air (Flexfoil®, SKC) ont été prélevées toutes les deux semaines dans la salle CMONS, la salle témoin et à l'extérieur. Le point de prélèvement de l'air extrait a été ajusté en fonction du type de sortie d'air (dans la gaine d'extraction pour une extraction basse, dans la masse pour une extraction haute). Dans chaque élevage, les prélèvements d'air ont été réalisés sur une durée de 5 minutes. Les poches d'air ont été transportées dans un conteneur maintenu chaud par des eutectiques puis analysées à l'aide d'un analyseur photoacoustique INNOVA 1412 afin de mesurer les concentrations en NH₃, CO₂, N₂O et CH₄. En période froide, des problèmes de condensation du NH₃ dans les poches d'air peuvent avoir lieu. C'est pourquoi, des mesures complémentaires au tube colorimétrique (Draeger) ont été réalisées avant transport afin de vérifier les mesures réalisées avec l'analyseur de gaz INNOVA.

1.4. Analyse des données

1.4.1. Calcul des performances zootechniques

Pour chaque salle, les taux de mortalité ont été calculés. Sur la base des données des trois bandes, les performances standardisées entre 30 et 115 kg pour le gain moyen quotidien (GMQ) et l'IC ont été calculées, en se basant sur la méthode de Aubry et al. (2004). Les calculs ont été adaptés pour tenir compte de la mortalité des animaux par salle. Les consommations d'aliment des porcs morts en cours d'élevage ont été déduites de la consommation totale de la salle en s'appuyant sur les mêmes modèles de croissance et de consommation d'aliment standardisés (utilisés pour les porcs sortis vivants) et en utilisant l'indice de consommation et la croissance calculés avec l'ensemble des animaux (quantité totale d'aliment divisée par le nombre de porcs x jours de présence dans la salle ; quantité totale de kilo de croit des porcs divisée par le nombre de porcs x jours de présence dans la salle). Les calculs de production de kg de poids vif ont été exprimés par place en prenant en compte la mortalité des animaux car la rentabilité des investissements est évaluée par place.

1.4.2. Production d'effluents et calcul du bilan de masse

La production et la composition des effluents ont été estimées à partir des références utilisées en élevage porcin de 4,1 kg de lisier par porc présent et par jour (RMT Elevage et environnement, 2016). L'utilisation du bilan de masse sur l'élément P, élément non volatil, permet de s'assurer de la

cohérence des données d'aliment et de croissance des porcs. Le bilan sur le carbone permet d'estimer la perte gazeuse totale (Perte_C) qui est ensuite répartie entre les formes CO₂ et CH₄ (équation 1). Le bilan sur l'azote permet de vérifier les ordres de grandeurs des émissions gazeuses de gaz azotés (N₂O et NH₃).

1.4.3. Calcul des émissions gazeuses

Les émissions de NH₃ pour les salles CMONS et témoin des 5 élevages durant les bandes suivies en période chaude et en période froide ont été calculées en utilisant les équations suivantes (de 1 à 5) :

$$\text{Perte}_C = E_{C_CO_2} + E_{C_CH_4} \quad (1)$$

avec $E_{C_CO_2}$ et $E_{C_CH_4}$, les émissions de C sous la forme de CO₂ et de CH₄, respectivement.

Sur la base de l'équation (1), l'émission pour chaque gaz a été exprimée de la manière suivante :

$$E_{C_CO_2} = \text{Pertes}_C / [1 + (\text{Gradient}_{C_CH_4} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}}] \quad (2)$$

$$E_{C_CH_4} = E_{C_CO_2} \times (\text{Gradient}_{C_CH_4} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}} \quad (3)$$

$$E_{N_NH_3} = E_{C_CO_2} \times (\text{Gradient}_{N_NH_3} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}} \quad (4)$$

$$E_{N_N_2O} = E_{C_CO_2} \times (\text{Gradient}_{N_N_2O} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}} \quad (5)$$

avec $\text{Gradient}_{\text{gaz}}$, l'augmentation de la concentration de gaz dans l'air sortant de la salle par rapport à celle de l'air entrant dans la salle. Le rapport entre les gradients de deux gaz traduit la proportionnalité des émissions. Pour chaque élevage, les émissions de NH₃ ont été calculées en kg de NH₃ émis par porc produit et par période ainsi qu'en kg de NH₃ émis par place et par an. Pour ce dernier calcul, les gradients de concentration moyennés sur les périodes chaude et froide (bandes 1 et 3 – la bande 2 n'ayant pas fait l'objet de mesure) et les performances zootechniques moyennées sur les 3 bandes suivies (bandes 1, 2 et 3) ont été utilisés.

1.4.4. Analyse des différences entre lots d'engraissement

L'hétérogénéité des conditions climatiques, des pratiques d'élevage et des réponses aux CMONS entre les bandes justifie que les lots d'engraissement ont été considérés indépendants les uns des autres. Etant données les tailles d'échantillons, il s'agit de l'hypothèse la plus parcimonieuse quant à la structure des données. Le taux de mortalité des porcs a été analysé par modélisation linéaire généralisée incluant les effets Bande et Modalité de traitement ainsi que leurs interactions et avec une structure d'erreur binomiale (lien logit). Les prédictions quant aux effets améliorateurs du CMONS ont été traitées en comparant les moyennes des émissions de gaz, du GMQ et de l'IC avec des tests de Student appariés unilatéraux. Pour limiter l'influence du faible échantillonnage sur les estimations des paramètres requis par ces tests, nous présentons également les valeurs de significativité de tests unilatéraux de comparaison de moyennes de deux échantillons appariés issus d'une procédure de bootstrap, notées P_{boot} . Nous basons cette méthode non paramétrique de statistique inférentielle sur 10 000 itérations de ré-échantillonnage. Les analyses ont été réalisées dans l'environnement R version 4.2.2 (R Core Team, 2022).

Le seuil de significativité à 90 % a été établi afin de prendre en considération la diversité des élevages dans le déroulement de cette étude. Moyennes et écarts-types pondérés par le nombre de porcs par salle sont présentés pour documenter les tendances de toutes les variables zootechniques.

Les performances zootechniques (GMQ, IC, taux de mortalité) sont exprimées par porc toutes bandes confondues (bandes 1, 2 et 3). La production de poids vif (en kg par place) est calculée comme le produit du GMQ moyen sur les trois bandes par une durée d'engraissement au cours des trois bandes. La durée considérée est la durée moyenne d'engraissement observée

durant les trois bandes dans les deux modalités. Pour chaque modalité, la production annuelle ainsi exprimée par porc est multipliée par le taux de survie moyen des porcs de la modalité pour obtenir une production par place et par an. Le score d'efficacité alimentaire renseigné par l'IC est multiplié par la quantité de poids vif produit moyenne sur les trois bandes.

2. RESULTATS

2.1. Performances zootechniques

Les allotements n'ont pas été réalisés dans tous les élevages de façon à assurer l'homogénéité des poids d'entrée, alors que ce paramètre a une influence importante sur les performances de croissance (Quiniou *et al.*, 2017). Les porcs sont entrés plus lourds de 979 g en moyenne dans les salles témoins (test t : $t = 2,516$, $P = 0,019$).

Pour les neuf élevages, les différences de performances zootechniques (GMQ, IC et taux de mortalité) entre modalités de traitement sont présentées dans le tableau 2. Les performances zootechniques des porcs dont le poids d'entrée entre la salle CMONS et la salle témoin est hétérogène (ensemble des données) sont différenciées de celles dont le poids d'entrée est homogène avec un écart inférieur à 1 kg par porc en moyenne entre les deux salles.

Sur l'ensemble des données, comprenant les poids d'entrée hétérogènes entre les modalités, la durée moyenne d'engraissement est de 105,1 jours, tous lots confondus.

La tendance à l'augmentation du GMQ de 6,32 g/j dans les salles CMONS implique une production supplémentaire moyenne de 665 g par porc. De la même manière, une tendance à l'amélioration de l'IC de $-2,70 \cdot 10^{-2}$ dans les salles CMONS implique une diminution de la consommation de 2,442 kg d'aliment par porc.

Avec un poids d'entrée homogène et une durée moyenne d'engraissement de 107,5 j, l'effet du CMONS sur l'IC est de $-5,76 \cdot 10^{-2}$ permettant une réduction statistiquement significative de la consommation de -4,625 kg d'aliment par porc. Ce résultat est très marqué étant donnée la taille d'échantillon restreinte. Le CMONS améliore le GMQ de 7,92 g/j entraînant une production supplémentaire moyenne de 855 g par porc. La non significativité de ce résultat est à mettre en perspective de la taille d'échantillon réduite du fait de l'évincement des lots pour lesquels l'allotement n'était pas homogène, qui aboutissaient à l'augmentation du GMQ de 6,32 g/j avec un $P = 0,105$. De même, l'effet observé sur la mortalité n'a pu être considéré comme significatif.

Pour le cas des poids d'entrée homogènes, en modalité CMONS, la production annuelle de 275,2 kg de poids vif par place est supérieure à celle de la modalité témoin de 3,5 kg/place. Avec une moyenne annuelle de production de 273,4 kg de poids vif par place, la consommation d'aliment dans la modalité CMONS est de 721,4 kg/place. Cela représente une économie d'aliment de 15,8 kg/place par rapport à la modalité témoin.

Tableau 2 - Performances zootechniques et effets du CMONS toutes bandes confondues

| | | CMONS | | Témoin | | Différence ¹ | t | ddl ² | P | P _{boot} |
|---|-----------------------|------------------|-----------|--------|-----------|-------------------------|--------|------------------|-------|-------------------|
| | | Moyenne (± e.t.) | | | | | | | | |
| Poids d'entrée hétérogène (5 504 porcs) | GMQ (g/jour) | 864 | (± 59) | 858 | (± 50) | 6,32 | 1,287 | 23 | 0,105 | 0,109 |
| | IC | 2,564 | (± 0,414) | 2,59 | (± 0,395) | $-2,70 \cdot 10^{-2}$ | -1,038 | 21 | 0,155 | 0,146 |
| | Taux de mortalité (%) | 1,71 | | 2,17 | | -0,463 | -0,83 | 46 | 0,41 | |
| Poids d'entrée homogène (2 825 porcs) | GMQ (g/jour) | 870 | (± 52) | 862 | (± 51) | 7,92 | 0,961 | 12 | 0,178 | 0,184 |
| | IC | 2,639 | (± 0,514) | 2,69 | (± 0,462) | $-5,76 \cdot 10^{-2}$ | 1,823 | 11 | 0,048 | 0,017 |
| | Taux de mortalité (%) | 1,91 | | 2,26 | | -0,347 | | 24 | 0,65 | |

¹ Différence entre CMONS – Témoin. ² ddl pour GMQ et IC : degrés de liberté = effectif – 1.

2.2. Concentrations et émissions de NH₃

2.2.1. Concentrations gazeuses

Au total, le nombre de campagnes de mesure a été de 32 en période chaude (bande 1) et de 29 en période froide (bande 3) dans les cinq élevages ayant fait l'objet de mesure.

Les concentrations moyennes en CO₂ étaient proches entre la salle CMONS et la salle témoin (écart inférieur à 500 mg/m³) dans les élevages 2, 3, 4 et 5 en période chaude et en période froide témoignant d'une gestion identique de la ventilation entre les deux salles dans chaque élevage (tableau 3). Seul l'élevage 1 montre un différentiel de ventilation important avec une concentration en CO₂ bien inférieure dans la salle CMONS par rapport à la salle témoin quelle que soit la saison témoignant d'un taux de ventilation plus important dans la salle CMONS que dans la salle témoin. Le taux de ventilation ayant une influence importante sur les émissions de NH₃ (Vigan *et al.*, 2018), les différences d'émissions de gaz calculées dans cet élevage sont en partie dues à cette différence.

En moyenne, les concentrations en CO₂ étaient plus élevées en période froide, reflétant ainsi la diminution du renouvellement

d'air. Néanmoins les faibles différences entre saisons montrent que celles-ci n'étaient pas très contrastées (hiver doux et été frais).

Tableau 3 - Concentrations moyennes en CO₂ (mg CO₂/m³ air sortant) mesurées en période chaude et en période froide

| Elevage | Période chaude | | Période froide | |
|---------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| | CMONS | Témoin | CMONS | Témoin |
| 1 | 3202 ± 445 | 4111 ± 592 | 4502 ± 1128 | 5475 ± 835 |
| 2 | 4450 ± 580 | 4217 ± 744 | 5491 ± 666 | 5553 ± 991 |
| 3 | 4352 ± 1027 | 4348 ± 1418 | 4655 ± 500 | 5106 ± 627 |
| 4 | 3815 ± 594 | 3948 ± 720 | 3807 ± 116 | 4447 ± 963 |
| 5 | 3749 ± 776 | 3844 ± 806 | 3841 ± 869 | 4252 ± 1021 |

Les concentrations moyennes en NH₃ sont globalement faibles (Tableau 4). Elles sont inférieures à 10 mg/m³, concentration moyenne mesurée en fin d'engraissement (Lagadec *et al.*, 2019). Elles ont été, en période chaude, significativement moins élevées ($t = -2,83$, $ddl = 4$, $P = 0,02$) dans la salle CMONS que dans la salle témoin. Les différences entre élevages ont été retrouvées entre les deux saisons. On note des concentrations légèrement plus élevées en période chaude qu'en période froide pour l'ensemble des suivis.

Tableau 4 - Concentrations moyennes en NH₃ (mg NH₃/m³ air sortant) mesurées en période chaude et en période froide

| Elevage | Période chaude | | Période froide | |
|-------------------|--|--------------|---|--------------|
| | CMONS | Témoin | CMONS | Témoin |
| 1 | 5,73 ± 2,12 | 6,66 ± 1,57 | 4,57 ± 0,87 | 4,63 ± 0,46 |
| 2 | 4,86 ± 2,06 | 5,62 ± 2,39 | 3,33 ± 1,81 | 3,14 ± 1,28 |
| 3 | 5,94 ± 1,92 | 6,42 ± 1,87 | 5,69 ± 1,19 | 5,13 ± 1,31 |
| 4 | 9,30 ± 1,35 | 9,78 ± 0,96 | 6,95 ± 2,92 | 8,99 ± 1,55 |
| 5 | 6,03 ± 1,82 | 8,42 ± 2,57 | 5,98 ± 2,34 | 6,46 ± 1,42 |
| Moyenne ± e.t. | 6,37 1,7 | 7,38 1,69 | 5,30 1,39 | 5,67 2,20 |
| Différence | -13,65 % t = -2,83, ddl = 4, P = 0,023 | | -6,45 % t = -0,81, ddl = 4, P = 0,231 | |

2.2.2. Rapports entre gradients de concentration

Plus le rapport de gradients de concentration C-CO₂/N-NH₃ est faible, plus l'émission en N-NH₃ est élevée. Dans les élevages émettant du NH₃ au niveau de référence (environ 1 kg NH₃/porc produit) ce rapport est inférieur ou proche de 100. On observe ici des valeurs majoritairement supérieures à 200 (tableau 5) signifiant que les émissions sont faibles et inférieures à 0,5 kg NH₃/porc produit.

Tableau 5 - Rapports entre les gradients de concentrations (C-CO₂/N-NH₃) mesurés en période chaude et en période froide

| Elevage | période chaude | | période froide | |
|-------------------|----------------|-------------|----------------|--------------|
| | CMONS | Témoin | CMONS | Témoin |
| 1 | 175 ± 73 | 189 ± 62 | 295 ± 57 | 374 ± 79 |
| 2 | 366 ± 244 | 285 ± 175 | 824 ± 607 | 633 ± 326 |
| 3 | 219 ± 64 | 190 ± 47 | 261 ± 59 | 337 ± 84 |
| 4 | 115 ± 41 | 110 ± 25 | 203 ± 80 | 163 ± 13 |
| 5 | 184 ± 45 | 135 ± 48 | 222 ± 90 | 221 ± 68 |
| Moyenne ± e.t. | 212 ± 94 | 182 ± 68 | 361 ± 261 | 346 ± 182 |

2.2.3. Emissions gazeuses

Les émissions de NH₃ produites par porc sont présentées dans le tableau 6. En période chaude, l'ensemencement du lisier avec le CMONS est associé à une diminution statistiquement significative des émissions de NH₃ avec des réductions de 7 à 28 % observée dans quatre des cinq élevages suivis (2, 3, 4 et 5). Durant la période froide, aucune différence entre modalités ne peut être conclue et les émissions ont été 43,4 % plus faibles qu'en été, toutes modalités confondues.

Tableau 6 - Emissions de NH₃ (kg NH₃/porc produit) observées en période chaude et en période froide

| Elevage | Période chaude | | Période froide | |
|-------------------|--|----------------|---|----------------|
| | CMONS | Témoin | CMONS | Témoin |
| 1 | 0,44 ± 0,22 | 0,43 ± 0,15 | 0,26 ± 0,05 | 0,19 ± 0,04 |
| 2 | 0,15 ± 0,19 | 0,20 ± 0,20 | 0,07 ± 0,11 | 0,09 ± 0,07 |
| 3 | 0,33 ± 0,10 | 0,40 ± 0,10 | 0,38 ± 0,09 | 0,23 ± 0,06 |
| 4 | 0,56 ± 0,23 | 0,60 ± 0,15 | 0,30 ± 0,14 | 0,38 ± 0,03 |
| 5 | 0,54 ± 0,14 | 0,75 ± 0,30 | 0,36 ± 0,18 | 0,36 ± 0,12 |
| Moyenne ± e.t. | 0,40 ± 0,17 | 0,48 ± 0,21 | 0,27 ± 0,12 | 0,25 ± 0,12 |
| Différence | -15,23 % t = -1,98, ddl = 4, P = 0,059 | | +9,6 % t = 0,59, ddl = 4, P = 0,708 | |

Les émissions de NH₃, calculées par place et par an à partir des performances 30-115 sur une production théorique de 85 kg de poids vif sont présentées dans le tableau 7. Une diminution moyenne des émissions de NH₃ place par an sur l'intervalle 30-115 de 6,3 % est globalement observée en modalité CMONS par rapport à la modalité témoin. Cette réduction prend en compte les données de l'élevage 1 pour lequel une différence de ventilation entre les salles questionne la valeur des émissions. En restreignant l'analyse aux autres élevages, la réduction moyenne des émissions de NH₃ associée à l'utilisation du CMONS est de 10,8 % par place par an sur l'intervalle 30-115, périodes chaude et froide confondues (t = -1,71, ddl = 3, P = 0,093), de 10,1 % par porc produit, périodes chaude et froide confondues (t = -1,13, ddl = 7, P = 0,148) et de 19,1 % par porc en période chaude (t = -2,40, ddl = 3, P = 0,048). Cela conforte notre hypothèse d'un effet bénéfique du CMONS sur ces émissions de NH₃.

Tableau 7 - Emissions de NH₃ (kg NH₃/place par an¹) sur l'intervalle 30-115

| Elevage | CMONS | Témoin | Effet CMONS |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 0,901 | 0,776 | +16 % |
| 2 | 0,347 | 0,465 | -25 % |
| 3 | 0,872 | 0,799 | +9 % |
| 4 | 1,302 | 1,505 | -14 % |
| 5 | 1,153 | 1,338 | -14 % |
| Moyenne ± e.t | 0,91 ± 0,36 | 0,98 ± 0,43 | -6,4 % |

¹ facteur d'émission national = 2,411 kg NH₃/place/année (CITEPA, 2023)

3. DISCUSSIONS

Les résultats de cette étude montrent d'une part l'importance de répéter les mesures dans différents élevages pour observer l'effet du CMONS et d'autre part la variabilité des résultats lorsque les mesures sont réalisées en condition d'élevage commercial. Les poids des animaux ayant été hétérogènes, le choix a été fait de distinguer les résultats avec des allotements hétérogènes et homogènes et d'exprimer les performances par porc 30-115 kg. En prenant les allotements homogènes, l'effet du CMONS est plus marqué avec une augmentation du GMQ et une réduction de l'IC aboutissant à une production supplémentaire de 855 g par porc et une économie d'aliment de 4,625 kg d'aliment par porc. Une augmentation de gain de poids de 3,5 kg/place et une économie d'aliment de 15,8 kg/place ont été constatées dans les salles CMONS par rapport aux salles témoins.

Concernant les concentrations gazeuses mesurées, les tubes colorimétriques ont confirmé les mesures réalisées avec l'analyseur de gaz INNOVA 1412. Les concentrations en CO₂ ont permis d'observer si la gestion de la ventilation était identique entre les deux salles. Elle a été très proche pour quatre des cinq élevages (2, 3, 4 et 5) mais pas dans l'élevage 1 avec un renouvellement de l'air plus important dans la salle CMONS influençant l'interprétation des émissions gazeuses dans cet élevage. Les concentrations en NH₃ étaient faibles, à moins de 10 mg/m³ en moyenne soit 14 ppm, ce qui est inférieur à la limite d'exposition professionnelle de 20 ppm durant 15 minutes (INRS, 2022). Converties en émissions par place et par an, les émissions rapportées dans cette étude (0,9 kg/place et par an) sont très inférieures au facteur d'émission de 2,411 kg NH₃ par place et par an retenu pour le calcul des inventaires des émissions en France (CITEPA, 2023). Associés aux très bons GMQ et IC, ces paramètres d'élevage sont des marqueurs de

performances zootechnique et environnementale initialement très bonnes pour ces exploitations.

Les différences entre élevages concernant les concentrations en NH₃ ont été retrouvées aux deux saisons. Cela reflète la répétabilité des effets conjoints de la gestion du climat des salles d'élevage et des effluents sur les teneurs en NH₃. Cela confirme que des prélèvements intermittents de poches de gaz, réalisés sur deux périodes (froide et chaude) sont suffisants pour constater les effets de la conduite d'élevage sur les émissions.

Les rapports de concentrations ont été, pour tous les élevages, plus faibles en période chaude qu'en période froide indiquant des émissions de NH₃ plus élevées en période chaude. Ce résultat est en accord avec Cortus *et al.* (2008) qui a mis en évidence une augmentation des émissions de NH₃ avec une hausse de la température ambiante. Malgré les faibles émissions générales des élevages, des différences d'émissions entre saisons ont été mesurées. En hiver quand les émissions sont réduites de façon naturelle, il n'a pas été possible de détecter un effet significatif du CMONS en conditions d'élevage commercial. Durant la saison chaude, la plus émettrice en NH₃, l'utilisation du CMONS a permis d'obtenir une réduction des émissions 19,1 % par porc en moyenne. Ces résultats sont remarquables étant donnée la taille d'échantillon, l'hétérogénéité des conditions d'élevage et la nature non expérimentale des exploitations.

CONCLUSION

L'ensemencement du lisier avec le CMONS a entraîné l'amélioration des performances zootechniques toutes saisons confondues et la réduction d'émissions de NH₃ en période chaude. Des résultats significatifs ont été observés malgré les incertitudes inhérentes aux mesures en élevage. L'augmentation du nombre et de la diversité des élevages observés conduirait à des estimations statistiques plus précises. Cette étude éclaire le besoin d'analyser le métabolisme du lisier en interaction avec la zone d'élevage pour mieux comprendre les processus liant émissions gazeuses, performances zootechniques et biofilms, avec et sans CMONS. Le faisceau d'indications des effets améliorants du CMONS montre qu'il est une technique à retenir dans une stratégie d'amélioration globale des élevages porcins dans leur dimension technique, économique, éthique et environnementale.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les éleveurs de porcs ayant participé à l'étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allain E., Aubert C., 2009. Réorganiser l'azote dès le bâtiment par un complexe de microorganismes pour réduire fortement les pertes d'ammoniac en bâtiment et au champ et les pertes par lessivage de nitrates au champ, en obtenant sans retournement un compost normé, au bénéfice des animaux, de l'économie et de l'environnement. Journées de la Recherche Avicole, 8, 233-237.
- Aubry A., Quiniou N., Le Cozler Y., Querné M., 2004. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage : actualisation des coefficients appliqués aux critères standardisés de performances en Gestion Technico-Économique. Journées Rech. Porcine, 36, 429-432.
- Badouard B., Berthelot N., 2012. Le rendement des porcs charcutiers en France aujourd'hui : quelles conséquences sur les résultats de gestion ? Journées Rech. Porcine, 44, 243-244
- CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten ed, 575 p.
- Cortus E.L., Lemay S.P., Barber E.M., Hill G.A., Godbout S., 2008. A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. Biosyst. Eng., 99, 390-402.
- Dourmad J.Y., 2012. Influence des pratiques d'élevage sur l'impact environnemental des systèmes de production porcine. Journées Rech. Porcine, 44, 115-126.
- Espagnol S., Brame C., Dourmad J.Y., 2019. Pratiques d'élevage et environnement. Mesurer, évaluer, agir. Versailles, Editions Quae, 376 p.
- Gardiner G.E., Metzler-Zebeli B.U., Lawlor P.G., 2020. Impact of Intestinal Microbiota on Growth and Feed Efficiency in Pigs: A Review. Microorganisms 2020, 8(12), 1886, 31 p.
- Hassouna M., Eglin T., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME. 314 p. ISBN : 2-7380-1375-9 www.inra.fr/animal_emissions/Actualite/Mesurer-les-emissions-gazeuses-en-elevage, 314 p.
- Hénault C., Bizouard F., Laville P., Gabrielle B., Nicoulaud B., Germon J.C., Cellier P., 2005. Predicting in situ soil N₂O emission using NOE algorithm and soil database, Global Change Biology. 11, 115-127.
- INRS, 2022. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. Logiciel en ligne
- Lagadec S., Guingand N., Truchau P., Gabrysiak L., Guinot L., Hassouna M., 2018. Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM_{2,5} durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers. Journées Rech. Porcine, 50, 1-6.
- Quiniou N., Corregé I., 2017. Importance du poids à la naissance, au sevrage et en début d'engraissement sur les performances de croissance ultérieures du porc alimenté à volonté. Journées Rech. Porcine, 49, 157-162
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RMT Elevage et environnement, 2016. Valorisation agronomique des effluents de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins, 41 fiches.
- Sommer, S.G., Zhang, G.Q., Bannink, A., Chadwick, D., Misselbrook, T., Harrison, R., Hutchings, N.J., Menzi, H., Monteny, G.J., Ni, J.Q., Oenema, O., Webb, J., 2006. Algorithms Determining Ammonia Emission from Buildings Housing Cattle and Pigs and from Manure Stores, in: Donald L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 261-335.
- Vigan A., Guingand N., Espagnol S., Hassouna M., Lagadec S., Loyon L., Mathias E., Eglin T., Robin P., 2018. Contribution de ELFE à l'établissement de facteurs d'émission d'ammoniac par les bâtiments et le stockage en élevage porcine. Journées Rech. Porcine, 50, 13-24.



Caractérisation des flux de Cu et de Zn tout au long du continuum aliment – animal – déjections – effluents dans les systèmes porcins

Emma GOURLEZ (1,2,3), Fabrice BELINE (2), Jean-Yves DOURMAD (1), Alessandra MONTEIRO (3), Fabrice GUIZIOU (2), Anne LE BIHAN (2), Francine DE QUELEN (1)

(1) UMR PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 Saint-Gilles

(2) UR OPAALE, INRAE, 35044 Rennes

(3) Animine, 10 rue Léon Rey Grange, 74960 Annecy

francine.dequelen@inrae.fr

Caractérisation des flux de Cu et de Zn tout au long du continuum aliment – animal – déjections – effluents dans les systèmes porcins

L'objectif de cette étude était de déterminer le devenir du cuivre (Cu) et du zinc (Zn) tout au long du continuum allant de l'alimentation animale jusqu'aux effluents traités afin d'identifier les leviers à mettre en œuvre pour réduire leurs impacts environnementaux. Les niveaux de Cu et de Zn dans l'alimentation, les principales modalités de gestion des effluents, ainsi que l'interaction entre les deux, ont été étudiés. Pour cela, des fèces de 24 porcs en finition nourris avec quatre régimes alimentaires différents, ont été collectées : un régime sans supplémentation en Cu et Zn (NS) ; deux régimes supplémentés en oxydes (O_{REG}) ou en sulfates (S_{REG}) à des niveaux réglementaires et un régime supplémenté en oxydes à un niveau intermédiaire (O_{INT}). Les échantillons de fèces ont ensuite été soumis à deux types de traitement : une digestion anaérobie et un compostage. Les teneurs en Cu et Zn des fèces obtenues variaient respectivement entre 38 et 188 mg Cu et entre 191 et 728 mg Zn par kg de matière sèche, selon le régime alimentaire. Après traitements, la dégradation d'une fraction importante de la matière organique concentrait les teneurs en Cu et Zn par rapport à la matière sèche. Ainsi, les teneurs étaient multipliées par deux, quel que soit le régime alimentaire. Pour tous les régimes alimentaires, la digestion anaérobie entraînait une diminution de la part extractible à l'eau du Cu et du Zn, et donc de leur disponibilité dans les sols. Le compostage ne modifiait pas la part extractible à l'eau du Cu mais diminuait celle du Zn. Cette étude montre que l'alimentation est le principal levier de réduction des teneurs en Cu et Zn des effluents d'élevage. Les traitements testés sont, quant à eux, des outils de pilotage des flux de Cu et de Zn pour réduire leur impact environnemental.

Characterization of Cu and Zn flows along the feed – animal – excreta – waste continuum in pig systems

The aim of this study was to determine the fate of copper (Cu) and zinc (Zn) along the continuum from feed to treated waste in order to identify mechanisms that can be used to reduce their environmental impacts. The contents of Cu and Zn in pig feed, the waste management strategy and their interactions were studied. Faeces were collected from 24 finishing pigs fed one of four diets: a finishing basal diet with no Cu or Zn supplementation (NS), two diets with Cu and Zn supplementations as oxides (O_{REG}) or sulphates (S_{REG}) at EU regulatory levels, and an intermediate diet with Cu and Zn supplementation as oxides (O_{INT}). Two types of manure treatment were applied: anaerobic digestion (AD) and composting. The Cu and Zn concentrations of the faeces obtained varied from 38-188 and 191-728 mg/kg dry matter (DM), respectively, depending on the diet. After manure treatment, the degradation of much of the organic matter significantly increased the Cu and Zn concentrations per kg DM, doubling them, regardless of the dietary concentration and the form of Cu and Zn supplemented. For each diet, AD decreased the water-extractible fraction of Cu and Zn and thus their availability when applied to soil. Composting did not influence the water-extractible fraction of Cu but did decrease that of Zn. This study shows that diet is the main mechanism for reducing Cu and Zn concentrations in livestock waste. The treatments tested are tools for managing Cu and Zn flows in order to reduce their environmental impacts.

INTRODUCTION

Le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) sont des nutriments essentiels pour les cultures, mais leur accumulation dans les sols agricoles peut avoir un impact négatif sur l'environnement. Ils peuvent effectivement s'accumuler dans les sols après l'épandage du lisier de porcs, entraînant à moyen ou long terme un risque de toxicité pour les micro-organismes et les plantes du sol (McGrath *et al.*, 1995). Le Cu et le Zn sont également des éléments essentiels pour la nutrition minérale des porcs, mais plus de 90 % du Cu et du Zn ingérés sont excrétés via les fèces, leur taux de rétention par les animaux étant faible (Dourmad *et al.*, 2015). La forme de Cu et de Zn dans les effluents, liée à leurs propriétés chimiques et physiques, est aussi un paramètre important à considérer, afin de prédire leur mobilité dans les sols et leur possible disponibilité pour les plantes, et ainsi leur risque de toxicité (Legros *et al.*, 2017). Selon Doelsch *et al.* (2008) et Legros *et al.* (2010), la forme majoritaire du Cu dans les effluents porcins est Cu(I)-S, et pour le Zn, les formes Zn²⁺-S et Zn²⁺-O. Selon la littérature, le Cu se trouve dans des fractions peu phytodisponibles et mobiles. Quant au Zn, il se trouve dans des fractions plus mobiles (Legros *et al.*, 2008). En considérant le continuum allant de l'alimentation animale jusqu'au retour au sol des effluents, deux leviers majeurs sont identifiés pour une gestion optimale des flux de Cu et de Zn dans le système d'élevage porcin. Le premier concerne l'alimentation via la modification des niveaux de Cu et de Zn et leur forme d'apport. Le second consiste à planifier une chaîne de traitement permettant d'adapter les caractéristiques de l'effluent final à des objectifs environnementaux. Plusieurs études ont évalué différentes stratégies d'alimentation et montrent qu'il est possible de réduire encore d'avantage le Cu et le Zn dans l'alimentation des porcs que les niveaux imposés par les réglementations actuelles (Peter *et al.*, 2001 ; Ma *et al.*, 2018 ; Ding *et al.*, 2021). Ces dernières années, la réglementation européenne a déjà permis une réduction considérable de l'ingestion et de l'excrétion du Cu et du Zn, en réduisant les niveaux alimentaires maximums autorisés. Par ailleurs, quelques études ont évalué l'effet des traitements sur le devenir du Cu et du Zn, comme la séparation de phases (Møller *et al.*, 2007 ; Loussouarn *et al.*, 2014), la digestion anaérobie (Marcato *et al.*, 2009 ; Legros *et al.*, 2017) et le compostage (Hsu et Lo, 2001) ; Santos *et al.*, 2018). Cependant, aucune étude n'a combiné stratégies alimentaires et traitements des effluents et aucune n'a étudié le comportement du Cu et du Zn sur l'ensemble du continuum aliment-porc-excrétions-effluents. Aussi, une meilleure compréhension du comportement de ces éléments tout au long de ce continuum en fonction de la composition des aliments et de la chaîne de gestion des effluents est nécessaire pour proposer des stratégies de réduction de l'impact environnemental du Cu et du Zn en production porcine. L'objectif de cette étude était ainsi de déterminer le devenir du Cu et du Zn tout au long du continuum alimentation-excrétions-effluents en étudiant l'effet (i) des teneurs et des formes d'apport en Cu et Zn des aliments et (ii) de la chaîne de gestion des effluents porcins (digestion anaérobie et compostage), ainsi que l'interaction entre les deux.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et régimes alimentaires

Cette étude a été réalisée entre mars et juin 2022 au sein de l'unité expérimentale de physiologie et de phénotypage du porc

(doi : 10.15454/1.5573932732039927E12) d'INRAE située à Saint-Gilles (35, France). L'expérimentation a été autorisée par le Comité d'éthique en expérimentation animale de Rennes (autorisation sur les animaux vivants n° 2021041318055831).

1.1.1. Régimes alimentaires

Les porcs ont été assignés à quatre régimes alimentaires, basés sur la composition de la ration de base : NS, correspondant aux régimes de base, sans supplémentation en Cu et Zn ; O_{INT}, supplémenté avec des oxydes de Cu et Zn (Cu₂O et ZnO ; CoRouge® et Hizox®, Animine, France) avec des teneurs intermédiaires en minéraux ; O_{REG}, contenant une source d'oxyde de Cu et de Zn et S_{REG}, contenant des sulfates de Cu et de Zn (sources de référence) à des teneurs proches des teneurs maximales autorisées par la réglementation européenne (25 mg Cu et 120 mg Zn /kg d'aliments). Les concentrations en Cu et Zn des régimes ont été analysées (Tableau 1).

Tableau 1 – Teneurs en Cu et Zn des régimes expérimentaux (en mg/kg d'aliments)

| | Régimes expérimentaux | | | |
|-----------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | NS | O _{INT} | O _{REG} | S _{REG} |
| Cu | 4,9 | 7,1 | 21,0 | 22,1 |
| Zn | 32,6 | 53,4 | 111,0 | 110,0 |

1.1.2. Animaux et dispositif expérimental

L'expérience a été menée en trois répétitions de huit porcs (deux porcs par régime alimentaire et par répétition). Vingt-quatre porcs en finition Piétrain × (Landrace × Large White) ont été affectés aux quatre régimes alimentaires en fonction du poids vif (PV) initial et de l'origine génétique. Seuls des mâles entiers ont été utilisés afin de faciliter la collecte séparée des fèces et de l'urine. Les porcs ont d'abord été logés dans des cases individuelles pendant 15 jours (de 58,7 ± 6,1 kg PV à 75,3 ± 7,7 kg PV) et ont été nourris avec le régime NS, correspondant à une phase de déplétion (Phase I), afin de diminuer leurs réserves en Cu et Zn et ainsi homogénéiser ces niveaux de réserves entre tous les animaux. Ensuite, une phase de 10 jours d'adaptation aux différents régimes expérimentaux a été mise en place (phase II, jusqu'à 81,2 ± 9,0 kg PV). Finalement, les porcs ont été logés individuellement pendant 10 jours dans des cages de digestibilité en acier inoxydable permettant un contrôle des quantités ingérées et la collecte séparée de l'urine et des fèces, dans une salle à environnement climatique contrôlé (24 °C) (jusqu'à 91,5 ± 9,0 kg PV). Après une période d'adaptation de 3 jours à la cage de digestibilité (phase III), les excréta ont été totalement collectés quotidiennement sur une période de 7 jours (phase IV). Tous les porcs ont reçu leur alimentation sous forme de granulés deux fois par jour (8h30 et 15h30) en deux repas égaux. Pendant toute la durée de l'expérience, les animaux ont été nourris selon un plan d'alimentation basé sur leur poids métabolique (140 g/kg PV^{0,6} par jour). Pendant la phase de collecte, les refus alimentaires ont été collectés et pesés chaque jour.

1.2. Collecte des effluents

Pendant l'essai de digestibilité (7 jours), l'urine de chaque porc a été collectée quotidiennement et pesée à la fin de l'expérimentation. À la fin de la collecte, un échantillon d'urine représentant 2 % de la collecte totale a été prélevé par porc et centrifugé (1500 × g, 10 min, 4 °C), le surnageant a été récupéré et stocké à -20 °C jusqu'à analyse. Les fèces ont également été collectées quotidiennement par porc, pesées et stockées à 4 °C.

À la fin de la période de collecte, les fèces ont été mélangées et homogénéisées pour chaque porc. Une partie des fèces a été sous-échantillonnée pour l'analyse de la matière sèche (MS) et des cendres, puis lyophilisée, broyée (1 mm) et stockée à 4°C jusqu'à analyse des minéraux. Les fèces restantes ont été mélangées et homogénéisées par régime alimentaire et stockées à -20°C jusqu'aux essais de digestion anaérobie, ou stockées à 4°C jusqu'aux essais de compostage *in vitro*.

1.3. Traitement des effluents

1.3.1. Digestion anaérobie

La digestion anaérobie (DA) a été réalisée dans des bioréacteurs de 500 ml en utilisant un bioréacteur par régime alimentaire (NS, O_{INT}, O_{REG}, S_{REG}) avec un volume de travail de 200 mL. Chaque bioréacteur a été rempli avec 175 mL de digestat, provenant d'une unité expérimentale de méthanisation, pour fournir des micro-organismes anaérobies et 25 mL d'un mélange de fèces + eau (ratio 1:1). Au début de l'expérimentation et après chaque remplissage, la phase gazeuse a été purgée avec de l'azote. La température du bioréacteur a été maintenue à 38°C durant toute l'expérimentation. Chaque réacteur a été alimenté de manière semi-continue pendant 90 jours avec un mélange d'eau et de fèces (1:1), en prélevant 50 g de digestat et en ajoutant 50 g du mélange d'eau et de fèces hebdomadairement, ce qui a conduit à un temps de séjour hydraulique (HRT) de 28 jours. Le pH a été contrôlé une fois par semaine et la production de gaz mesurée chaque jour, afin de vérifier le bon fonctionnement du processus. À la fin de l'expérience, le digestat de chaque bioréacteur a été collecté (durée des essais > 3 × HRT).

1.3.2. Compostage

Les essais de compostage ont été menés uniquement sur les fèces des régimes alimentaires NS, O_{REG} et S_{REG}. Des mélanges de fèces et de paille ont été préparés. La paille a été utilisée pour structurer le produit et faciliter ainsi son aération et a été ajoutée avec un ratio massique fèces:paille de 9:1. La paille contenait 2,67 mg de Cu et de 23 mg de Zn /kg MS. Ainsi, la paille représentait 25 % de la MS et moins de 4 % du Cu et du Zn du mélange. Le dispositif expérimental comprenait six cellules de respirométrie. Chaque mélange (4 kg par cellule) a été analysé en duplicat et a été disposé dans une cellule de respirométrie sans compactage. Chaque cellule a été aérée pendant 5 semaines à 75 L/h. Le mélange a été retourné deux fois au cours de l'essai (après 16 et 26 jours). Les concentrations en O₂ et CO₂ des flux d'air entrant et sortant ont été contrôlées fréquemment, afin de vérifier le bon fonctionnement du processus. Toutes les cellules ont été maintenues à 40 °C afin de comparer la biodégradabilité des différents mélanges dans les mêmes conditions optimales. À la fin du test de respirométrie, les mélanges ont été retirés de leurs cellules, pesés et échantillonnés pour analyses. Un bioréacteur aérobie

de compostage (O_{REG}) a été retiré des résultats, car les bonnes conditions de compostage n'ont pas été atteintes en raison d'une défaillance de l'appareil.

1.4. Caractérisation des fractions de cuivre et zinc extractibles à l'eau

Les fractions extractibles à l'eau ont été déterminées sur les fèces brutes, les digestats, les mélanges de fèces et paille et les composts, pour chaque régime alimentaire considéré. Pour cela, les échantillons ont été mélangés avec de l'eau avec un ratio eau/produits solides de 5:1 (fèces, mélanges paille/fèces et composts) ou dans un rapport eau/digestat de 1:2 (préalablement mélangé avec de l'eau avant la DA dans un rapport 1:1). Ces mélanges ont été homogénéisés pendant une heure avant de récupérer le surnageant de chaque mélange par centrifugation (20000 × g, 15min, 20°C). Ces surnageants ont été analysés afin de déterminer la concentration en macro-éléments (Ca, Mg, P, K, Na) et en oligo-éléments (Cu, Mn, Zn). Après avoir soustrait la quantité d'éléments apportée par l'eau ajoutée (représentant une très faible quantité), la fraction obtenue dans le surnageant a été considérée comme la fraction extractible à l'eau du produit organique considéré.

1.5. Analyses chimiques

La concentration en MS de chaque échantillon (fèces brutes, digestat final, compost final) a été quantifiée après mise à l'étuve à 103°C pendant 24h et les concentrations en cendres, et en matière organique (MO) ont été déterminées après incinération au four à moufle à 550°C pendant 18h. Les analyses minérales (Ca, Mg, P, K, Na, Cu, Mn, Zn) ont été réalisées sur les échantillons d'urines et de fèces par porc, de paille, et de compost et de digestat sur un pool par régime, à l'aide d'un spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES, Agilent 5110). Pour les fèces et les effluents, les analyses ont été réalisées selon la norme NF-EN 16174 et un témoin de référence a été utilisé pour valider les résultats (ERM®, CC-144, Boues d'épuration). Pour les échantillons d'urines, les échantillons ont été acidifiés avec du HNO₃ (4 %) avant analyses à l'ICP-OES et un contrôle a été utilisé pour valider les résultats (Seronorm™, éléments traces Urine L-1). Toutes les analyses ont été effectuées en duplicat dans les laboratoires INRAE.

1.6. Statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R studio (version 4.1.2, R Foundation, Vienne, Autriche). Des modèles linéaires à effets mixtes ont été utilisés avec la fonction "lm" du package "nlme". Pour les performances des animaux et les données de bilan d'ingestion et d'excrétion, les modèles prenaient en compte les effets du régime alimentaire et de la répétition, ainsi que leur interaction.

Tableau 2 – Effet des régimes expérimentaux sur les performances de croissance des porcs pendant les phases III et IV¹

| | Régimes expérimentaux | | | | Statistiques | |
|-------------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|-------|
| | NS | O _{INT} | O _{REG} | S _{REG} | Etr | P |
| PV initial, kg | 82,4 | 79,4 | 82,3 | 82,7 | 2,7 | 0,438 |
| PV final, kg | 92,3 | 89,9 | 91,8 | 94,1 | 3,2 | 0,500 |
| Aliment ingéré, kg/jour | 2,19 | 2,15 | 2,15 | 2,15 | 0,06 | 0,780 |
| GMQ, g/jour | 951 | 1013 | 918 | 1091 | 100 | 0,211 |
| IC, kg/kg | 2,38 | 2,18 | 2,37 | 2,00 | 0,19 | 0,085 |

¹ GMQ = Gain Moyen Quotidien, IC = Indice de consommation, Etr = Ecart-type Résiduel, P = P-value de l'effet du régime alimentaire

Les différences ont été considérées comme significatives pour $P < 0,05$ et les tendances ont été mise en avant pour des valeurs entre $= 0,05$ et $0,10$. Pour chaque modèle construit, toutes les hypothèses (normalité de la variable prédite et normalité des résidus du modèle) ont été validées.

2. RESULTATS

2.1. Performances de croissances des animaux

Le PV initial et final, la consommation d'aliment, le GMQ et l'indice de consommation sont comprises respectivement entre 79,4 et 82,7 kg, 89,9 et 94,1 kg, 2,15 et 2,19 kg/jour, 918 et 1091 g/jour et 2,00 et 2,38 kg/jour (Tableau 2). Ces performances n'étaient significativement affectées ni par la teneur ni par la forme d'apport de Cu et de Zn du régime alimentaire ($P > 0,05$).

2.2. Composition des excréta

Comme attendu, plus la quantité de Cu et de Zn ingérée par les porcs était faible, plus la quantité excrétée l'était également ($P < 0,05$). Aucune différence significative entre les formes d'apport n'a été mise en évidence ($P > 0,10$) pour le Zn excrété dans les fèces. Les porcs nourris avec O_{REG} ont excrété plus de Cu (399 ± 49 mg /porc sur la période IV) que ceux nourris avec S_{REG} (348 ± 30 mg /porc sur la période IV) ($P < 0,05$), alors que les porcs avaient ingéré la même quantité de Cu sur la période IV (pas de différence entre les régimes O_{REG} et S_{REG}).

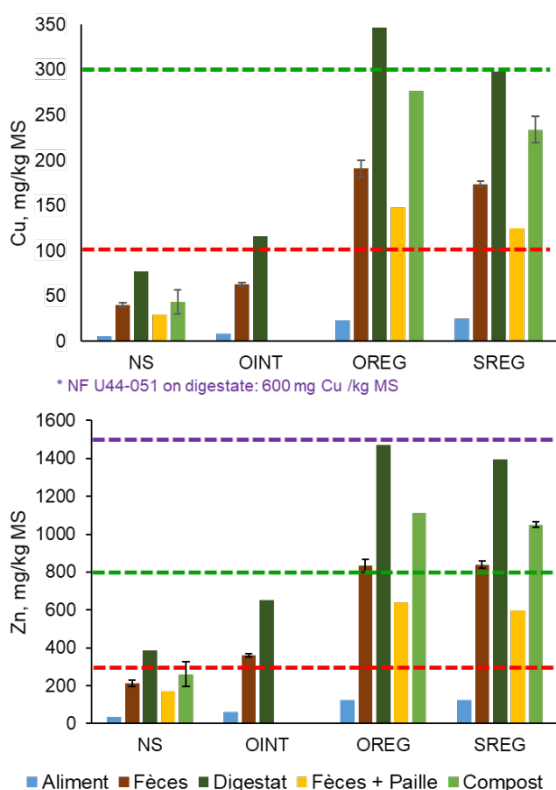


Figure 1 – Teneurs en cuivre (haut) et zinc (bas) dans les aliments, les fèces brutes et les effluents après digestion anaérobie et compostage

Ligne rouge = niveau maximum autorisé par l'Ecolabel ; Ligne verte = Règlement (UE) N°2019/1009 sur les engrais organiques ; Ligne violette=NF U44-051 sur le digestat.

Même si la quantité de Cu excrétée dans l'urine était très faible par rapport à celle excrétée dans les fèces, on observe une réduction de l'excrétion urinaire lorsque la teneur de l'aliment diminue ($P < 0,05$) avec des différences entre les sources d'apport ($S_{REG} > O_{REG} > O_{INT} = NS$).

2.3. Influence du traitement des effluents

La figure 1 présente les teneurs en Cu et Zn des produits tout au long du continuum aliments - excréments - effluents en fonction du régime alimentaire et du traitement des effluents (DA ou compostage). Les teneurs en Cu et en Zn des différents produits augmentent tout au long du continuum, quels que soit le régime alimentaire et le traitement. L'augmentation la plus importante des teneurs en Cu et en Zn est observée après la DA. Ainsi, en prenant comme exemple le régime O_{REG}, les teneurs en Cu et en Zn s'élèvent à respectivement $23,7 \pm 0,8$ et 126 ± 2 mg/kg MS dans les aliments, 191 ± 9 et 834 ± 33 mg/kg MS dans les fèces, et 347 ± 1 et 1472 ± 10 mg/kg MS dans le digestat (Figure 1). Les teneurs augmentent également après compostage, mais de manière moins importante que lors de la DA. En prenant toujours le traitement O_{REG} en exemple, les concentrations en Cu et Zn augmente ainsi respectivement de 148 ± 3 et 639 ± 12 mg/kg MS, dans le mélange fèces + paille, à 277 et 1111 mg/kg MS, dans le compost final (Figure 1).

Tableau 3 – Fractions de Cu et de Zn extractibles à l'eau dans les différents produits organiques (en %)

| | Régimes expérimentaux | | | |
|----------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | NS | O _{INT} | O _{REG} | S _{REG} |
| Cuivre | | | | |
| Fèces | 3,9 | 3,9 | 4,6 | 4,3 |
| Digestat | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |
| Fèces + paille | 4,3 | | 4,5 | 4,4 |
| Compost | 2,6 | | 4,1 | 5,8 |
| Zinc | | | | |
| Fèces | 5,5 | 4,4 | 4,1 | 3,5 |
| Digestat | 1,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| Fèces + paille | 3,1 | | 2,9 | 3,3 |
| Compost | 1,1 | | 0,7 | 1,2 |

Les fractions de Cu et Zn extractibles à l'eau mesurées au long du continuum dans les différents produits organiques sont présentées dans le tableau 3. Pour la DA, ces fractions diminuent après traitement. En prenant le régime O_{REG} en exemple, les fractions de Cu et de Zn extractibles à l'eau correspondent à 4,6 % du Cu total et à 4,1 % du Zn total dans les fèces brutes, tandis que dans le digestat ces fractions correspondent à seulement 0,3 % du Cu total et à 0,7 % du Zn total. Les résultats sont similaires pour les fèces des porcs ayant reçu les autres régimes. Au cours du compostage, la fraction de Cu extractible à l'eau reste assez constante, tandis que la fraction de Zn extractible à l'eau diminue. Ainsi, pour le régime O_{REG}, la fraction de Cu extractible à l'eau représente respectivement 4,5 % et 4,1 % du Cu total dans le mélange fèces + paille et dans le compost. Pour le Zn, pour ce même régime, la fraction de Zn extractible à l'eau passe de 2,9 % du Zn total dans le mélange fèces + paille à 0,7 % du Zn total dans le compost, les résultats étant similaire pour les autres régimes alimentaires.

3. DISCUSSION

3.1. Effet des stratégies alimentaires sur l'excrétion de cuivre et de zinc

Chez les porcs nourris avec des niveaux réglementaires européens de Cu et de Zn (O_{REG} et S_{REG}), les concentrations dans les fèces n'étaient pas différentes atteignaient respectivement

174 et 191 mg Cu /kg MS et 834 et 839 mg Zn /kg MS. D'autres études conduites sur des porcelets ont montré des résultats similaires concernant l'effet de la forme d'apport (Armstrong *et al.*, 2004). Les teneurs de Cu et Zn des fèces sont diminuées de 67 % et 52 % chez les porcs nourris avec O_{INT} comparativement à ceux nourris avec O_{REG} . La réduction (77 % pour Cu et 71 % pour Zn) est encore plus marquée chez les porcs recevant le régime NS sans supplémentation en Cu et Zn. Le principal facteur affectant l'excrétion du Cu et du Zn est donc la quantité de Cu et de Zn ingérée par l'animal, indépendamment de la forme d'apport dans l'aliment. Cela confirme que l'alimentation est le premier levier à mobiliser pour réduire la teneur en Cu et en Zn des effluents et réduire le risque de leur accumulation dans le sol. Dans cette étude, en conditions contrôlées, les performances des animaux n'ont pas été affectées par la réduction des teneurs en Cu et de Zn de l'aliment. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature, en accord avec nos observations, après avoir supprimé ou diminué la supplémentation en Cu et en Zn dans l'alimentation de porcs en finition (Peter *et al.*, 2001 ; Ma *et al.*, 2018 ; Ding *et al.*, 2021). Toutefois, ces résultats sont à confirmer dans des exploitations commerciales avec des animaux en groupes et présentant des contextes sanitaires différents.

3.2. Effet du traitement sur les niveaux de Cu et Zn des effluents

Après traitement, les concentrations en Cu et Zn des produits obtenus, relativement à la MS, sont environ 1,8 fois supérieures aux concentrations initiales. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie qui rapporte des accroissements de concentrations d'un facteur 2,5 dans le digestat de méthanisation (Marcato *et al.*, 2009 ; Legros *et al.*, 2017) ou dans le compost (Hsu et Lo, 2001 ; Saéz *et al.*, 2017). En effet, ces procédés transforment près de la moitié de la MO en méthane et CO_2 , dans le cas de la digestion anaérobie, ou en CO_2 , dans le cas du compostage, ce qui conduit à une forte réduction de la teneur en MS du produit final comparativement au produit initial. Comme le Cu et le Zn sont conservés au cours de ces processus, leur concentration augmente par rapport à la MS. En pratique, la mono-digestion de fèces, comme dans notre étude, est rare et les déjections porcines sont généralement mélangées à d'autres matières organiques. Dans ces situations la dilution du Cu et du Zn relativement à la MS résultant de l'ajout de co-substrats dans la chaîne de traitement peut permettre de limiter l'accroissement de la concentration en Cu et Zn dans le digestat final.

Les deux traitements étudiés permettent une valorisation plus efficace des effluents d'élevage et la conservation de plusieurs nutriments tels que l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le cuivre et le zinc (Marcato *et al.*, 2009 ; Amaral *et al.*, 2014). Ces effluents traités peuvent être utilisés comme engrais organiques et être exportés dans des régions déficitaires, afin d'éviter l'accumulation d'éléments tels que le Cu et le Zn dans les sols de régions excédentaires. Ces traitements ont également un impact sur la spéciation des éléments traces métalliques (ETM) et donc sur leur disponibilité pour les plantes. Dans notre étude, la digestion anaérobie diminue la fraction extractible à l'eau de Cu et Zn dans le digestat, et le compostage celle de Zn dans le compost. Ainsi, le Cu et le Zn sont moins solubles donc moins mobiles dans le sol après épandage de ces effluents. D'autres études ont montré l'impact de ces traitements sur la mobilité et la phytodisponibilité du Cu et du Zn pour les plantes. Selon Amaral *et al.* (2014), les

concentrations en Cu et Zn de la fraction définie comme faiblement disponible dans l'environnement augmentent après digestion anaérobie de 4,5 % à 16,7 % et de 3,0 % à 10,6 %, respectivement, et à la fin du processus de digestion, cette fraction est la plus concentrée en Cu et en Zn. Ces résultats sont confirmés par d'autres études (Marcato *et al.*, 2009 ; Legros *et al.*, 2017). Ceci indique que la digestion anaérobie réduit la phytodisponibilité du Cu et du Zn, c'est-à-dire la disponibilité de ces métaux pour les plantes, en les stabilisant dans des fractions moins solubles et moins disponibles. Dans notre étude, la part de Cu extractible à l'eau n'a pas été affectée par le compostage. Ce résultat n'est pas confirmé par la littérature. En effet, Hsu et Lo (2001) ont observé une augmentation de la teneur en Cu soluble durant les 18 premiers jours du compostage, suivie d'une diminution du Cu sous forme soluble dans le compost final. Ces auteurs ont observé un effet plus faible sur la partie soluble du Zn au cours du compostage, contrairement à notre étude. Finalement, l'ajout de matériaux organiques, comme la paille dans notre étude, peut réduire l'activité des ETM pendant le compostage et facilite leur transfert vers des formes plus stables. Ceci est lié à la formation de composés ayant une affinité pour la matière humique du compost (Santos *et al.*, 2018 ; Li *et al.*, 2019).

3.3. L'alimentation et le traitement des effluents comme leviers pour atteindre les réglementations européennes sur le retour du Cu et du Zn au sol

D'après nos résultats, les réglementations actuelles qui définissent les teneurs en Cu et Zn dans les aliments porcins (correspondant à O_{REG} et S_{REG}) ne permettent pas dans le cas des filières de traitement que nous avons testées de respecter les teneurs maximales autorisées en Cu (300 mg/kg MS maximum autorisé) et en Zn (800 mg Zn /kg MS maximum autorisé) pour la commercialisation des engrais organiques en Europe (Règlement (UE) 2019/1009) (Figure 1). Pour le Cu, avec une moyenne de 325 mg/kg MS dans les digestats O_{REG} et S_{REG} , la teneur dépasse seulement légèrement le maximum autorisé, alors que pour le compost la valeur (250 mg/kg MS en moyenne) est inférieure. La situation est plus problématique pour le Zn, aussi bien pour les digestats (1420 mg Zn /kg MS en moyenne) que pour le compost (900 mg/kg MS, en moyenne), le maximum réglementaire étant dépassé. Pour les digestats, les teneurs en Cu et Zn restent cependant inférieures à la norme française (NF U44-051) qui autorise leur épandage agricole jusqu'à des teneurs maximales de 600 mg Cu et 1500 mg Zn /kg MS.

Avec les régimes alimentaires O_{INT} et NS, les teneurs en Cu et Zn du digestat et du compost sont fortement réduites et passent en deçà (largement pour Cu) des maximums autorisés par la réglementation européenne relative aux engrais organiques. Seuls le digestat et le compost issus des déjections des porcs nourris avec l'aliment sans supplémentation en Cu et Zn (NS) respectent les teneurs fixées par l'Ecolabel européen sur les engrais organiques (100 et 300 mg Cu et Zn /kg MS, Figure 1), qui est le label le plus restrictif à l'heure actuelle.

CONCLUSION

Cette étude a évalué le devenir du Cu et du Zn depuis l'alimentation, en passant par l'animal et ses excréments, jusqu'au produit organique après traitement à appliquer sur le sol. À notre connaissance, aucune étude n'avait auparavant travaillé à cette échelle sur l'ensemble de ce flux.

L'alimentation apparaît le principal levier pour réduire la teneur en Cu et Zn des effluents et donc le risque de leur accumulation dans les sols après épandage des effluents porcins. De plus, les résultats indiquent qu'il existe une marge de progression et qu'il serait possible, pour les porcs en finition, de réduire les teneurs dans l'aliment en deçà des maximums autorisés sans affecter les performances des animaux. La gestion du traitement des effluents peut être considérée comme un outil de pilotage et de valorisation des effluents d'élevage. Les traitements, tels que la digestion anaérobie ou le compostage, induisent une augmentation de la concentration en Cu et en Zn dans le produit organique final qu'il serait possible de contrebalancer par une modification de l'alimentation. Ces traitements ont également un impact sur la solubilité de Cu et Zn et sur leur phytodisponibilité, en diminuant leur mobilité dans les produits à épandre.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ADEME pour le soutien financier apporté à ce travail dans le cadre de l'appel à projet GRAINE 2019 et du projet RECUIZ. Ce travail a été réalisé, dans le cadre d'une convention de thèse CIFRE, gérée par l'Association Nationale de la Recherche Technique (ANRT) et établie entre INRAE et la société Animine (Annecy, 74). Les auteurs remercient Etienne Labussière pour son aide lors de la conception et la mise en œuvre du protocole, et Baptiste Ringo étudiant de l'ESA d'Angers qui a contribué à l'expérimentation animale et aux analyses de laboratoire. Les auteurs remercient le personnel de l'unité expérimentale pour les soins apportés aux animaux, et la collecte des données et des échantillons. Les auteurs remercient Sylvie Picard pour son aide lors des analyses chimiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amaral A.C., Kunz A., Radis Steinmetz R.L., Justi K.C., 2014. Zinc and copper distribution in swine wastewater treated by anaerobic digestion. *J. Environ. Manage.*, 141, 132-137.
- Armstrong T.A., Cook D.R., Ward M.M., Williams C.M., Spears J.W., 2004. Effect of dietary copper source (cupric citrate and cupric sulfate) and concentration on growth performance and fecal copper excretion in weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 82, 4, 1234-1240.
- Ding H., Zhang Q., Xu H., Yu X., Chen L., Wang Z., Feng J., 2021. Selection of copper and zinc dosages in pig diets based on the mutual benefit of animal growth and environmental protection. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 216, 112177.
- Doelsch E., Legros S., Rose J., Masion A., Proux O., Hazemann J.L., Saint Macary H., Bottero J.Y., 2008. First Insights of Copper and Zinc Speciation within a Pig Slurry: An X-Ray Absorption Spectroscopy Study. In: P. Schlegel, S. Durosoy & A.W. Jongbloed (Eds), *Trace elements in animal production systems*, 253-255. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaün Y., Espagnol S., 2015. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. *RMT Elevages et Environnement*, Paris, France, 26 p.
- Hsu J.H., Lo S.L., 2001. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environ. Pollut.*, 114, 119-127.
- Ko H.J., Kim K.Y., Kim H.T., Kim C.N., Umeda M., 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste management*, 28, 813-820.
- Legros S., Doelsch E., Masion A., Saint-Macary H., Bottero J.Y., 2008. First Insights of Copper and Zinc Speciation within a Pig Slurry: Sequential Extraction and Size Fractionation Studies. In: P. Schlegel, S. Durosoy & A.W. Jongbloed (Eds), *Trace elements in animal production systems*, 250-252. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Legros S., Chaurand P., Rose J., Masion A., Briois V., Ferrasse J-H., Saint Macary H., Bottero J-Y., Doelsch E., 2010. Investigation of copper speciation in pig slurry by a multitechnique approach. *Environ. Sci. Technol.*, 44, 6926-6932.
- Legros S., Levard C., Marcato-Romain C.E., Guisresse M., Doelsch E., 2017. Anaerobic digestion alters copper and zinc speciation. *Environ. Sci. Technol.*, 51, 10326-10334.
- Li R., Meng H., Lixin Z., Zhou H., Shen Y., Zhang X., Ding J., Cheng H., Wang J., 2019. Study of the morphological changes of copper and zinc during pig manure composting with addition of biochar and a microbial agent. *Bioresour. Technol.*, 291, 121752.
- Loussouarn A., Lagadec S., Robin P., Hassouna M., 2014. Raclage en « V » : bilan environnemental et zootechnique lors de sept années de fonctionnement à Guernevez. *Journées Rech. Porcine*, 46, 199-204.
- Ma Y.L., Lindemann M.D., Webb S.F., Rentfrow G., 2018. Evaluation of trace mineral source and preharvest deletion of trace minerals from finishing diets on tissue mineral status in pigs. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, 31(2), 252-262.
- Marcato C.E., Pinelli E., Pinelli E., Cecchi M., Winterton P., Guisresse M., 2009. Bioavailability of Cu and Zn in raw and anaerobically digested pig slurry. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 72, 1538-1544.
- McGrath S.P., Chaudri A.M., Giller K.E., 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. *J. Ind. Microbiol.*, 14, 94-104.
- Møller H.B., Jensen L.S., Tobiasen L., Hansen M.N., 2007. Heavy metal and phosphorus content of fractions from manure treatment and incineration. *Environ. Technol.*, 28, 1403-1418.
- NF U44-051, Avril 2006. Amendements organiques. Dénominations, spécifications et marquage. AFNOR. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-u44051/amendements-organiques-denominations-specifications-et-marquage/fa125064/754>
- Peter C.M., Parr R.M., Parr E.N., Webel D.M., Baker D.H., 2001. The effects of phytase on growth performance, carcass characteristics, and bone mineralization of late-finishing pigs fed corn-soybean meal diets containing no supplemental phosphorus, zinc, copper and manganese. *Animal feed science and technology*, 94 (3-4), 199-205.
- Regulation (EU) 2019/1009 of the European parliament and of the council of 5 June 2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>
- Saéz J.A., Clemente R., Bustamante M.A., Yañez D., Bernal M.P., 2017. Evaluation of the slurry management strategy and the integration of the composting technology in a pig farm - Agronomical and environmental implications. *J. Environ. Manage.*, 192, 57-67.
- Santos A., Fanguero D., Moral R., Pilar Bernal M., 2018. Composts produced from pig slurry solids: Nutrient efficiency and N-leaching risks in amended soils. *Front. Sustainable Food Syst.*, 2, 8.

Conception d'un module thermorégulé pour l'étude de l'influence de la température sur les performances zootechniques et environnementales de porcs à l'engraissement

Nadine GUINGAND, Yvonnick ROUSSELIÈRE, Johan THOMAS, Aurélien COLLIN

IFIP, Institut du Porc, Le Rheu, France

nadine.guingand@ifip.asso.fr

Designing a temperature-controlled unit for studying effects of temperature on zootechnical and environmental performances of fattening pigs

As part of an ADEME-funded project to study environmental impacts of lower temperatures on gaseous emissions during pig fattening, a temperature-controlled unit called ClimatoTec was built at the IFIP experimental station in Romillé, France. The unit consists of two rooms, each with a capacity of 20 pigs of 25-118 kg live weight. Each room is divided into two pens, each housing 10 pigs raised on fully concrete slatted floors. The slurry is stored in a pre-pit under the floor throughout the animals' stay. Air is supplied to each room by 0.15 m² ceiling shutters and extracted by a 350 mm fan underneath the slatted floor. Each room is equipped with a reversible heat pump, which can cool or heat depending on the experiment (cold or hot conditions), a water tank and an air heater. The air heater draws outside air through a water battery before the air enters the room's attic. The battery is fed by the water from the storage tank so that the air in contact with it can cool down or warm up without changing its absolute humidity. The air heater has a fan with a progressive operating mode controlled by the room's regulating unit. The heat pump moves refrigerant fluid in a double circuit, one directed towards the tank and the other towards the device to dissipate or recover heat. To date, the ClimatoTec unit has been used only to create cold conditions, such as ambient temperatures of 16 ± 1°C for pigs of 25-118 kg. Tests under hotter conditions will be conducted soon.

INTRODUCTION

Dans les années 1990, de nombreuses études ont été conduites pour déterminer l'impact de la température ambiante des porcheries sur les performances zootechniques des porcs charcutiers (Massabie *et al.*, 1996 ; Granier *et al.*, 1996). Plusieurs d'entre elles précisent qu'une gestion de l'ambiance autour de 24°C semblent être le meilleur compromis. Au-delà, le gain moyen quotidien des animaux et la consommation sont réduits tandis qu'en dessous, c'est généralement l'indice de consommation qui est dégradé. A cette période, la qualité de l'air ne représentait pas, du moins au niveau français, une priorité d'importance dans les travaux de recherche et développement. A l'inverse, les pays d'Europe du Nord ont mobilisé de nombreux moyens sur cette thématique et ceci particulièrement sur le volet ammoniac. Parmi les facteurs influençant la volatilisation d'ammoniac, la température est un paramètre primordial. Certains pays comme le Danemark préconisent l'application de températures de consigne de l'ordre de 18°C en vue, entre autres, de réduire les émissions d'ammoniac du bâtiment. La publication du BREF Élevage (Best REF document, outil de la directive sur les émissions industrielles) en 2017 impose à certaines catégories d'élevage de réduire les émissions d'ammoniac des bâtiments neufs et existants. C'est dans ce contexte que l'IFIP a construit un nouveau module thermorégulé sur la station expérimentale de

Romillé afin de mieux connaître l'influence de la conduite de la température sur la qualité de l'air tout en intégrant le suivi des performances zootechniques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Équipements et logement des animaux

La ClimatoTec est composée de deux salles identiques sur caillebotis intégral dont les combles et les préfosse (profondes de 65 cm) sont séparées. Chaque salle comporte 2 cases de 10 animaux avec un couloir latéral. La surface par porc est de 0,82 m². L'entrée d'air se fait par le plafond, positionné à 2,5 m du sol, par l'intermédiaire d'un dispositif Flud'R (Rose Charpente) de 0,15 m², alors que l'extraction se fait sous le caillebotis à l'aide d'un ventilateur de 350 mm de diamètre équipé d'une trappe de freinage manuelle.

1.2. Module thermorégulé

A l'extérieur du bâtiment, chaque salle dispose d'un bloc thermorégulé permettant de souffler dans les combles un air réchauffé ou refroidit (selon le protocole expérimental). Il est composé de quatre éléments principaux (Figure 1) :

1. Un aérotherme de 12 kW avec une cheminée d'extraction de 300 mm de diamètre chargé de propulser l'air extérieur à travers une batterie d'échange thermique avant d'entrer dans

les combles de la salle. Cette batterie est alimentée par des canalisations d'eau (chaude ou froide) et l'air, à son contact, peut se rafraîchir ou se réchauffer sans modification de son humidité absolue. Ce ventilateur a un mode de fonctionnement progressif qui est piloté par le boîtier de régulation de la salle à partir des paramètres programmés et de la température mesurée dans la salle.

2. Un ballon d'eau tampon de 50 litres relié au circuit d'eau traversant la batterie de l'aérotherme. Son rôle est de d'alimenter la batterie avec une eau à la température désirée.

3. Une pompe à chaleur de 11 kW. Elle a pour objectif de faire circuler un liquide calorifique dans un double circuit. Le premier est en direction du ballon d'eau et permet de maintenir une température d'eau stable dans le temps en la réchauffant ou en la refroidissant, selon les besoins. Le deuxième est dirigé vers un dispositif visant à évacuer les calories récupérées dans le ballon vers l'extérieur ou à capter les calories provenant de l'air extérieur pour les amener au ballon.

4. Un dissipateur ou capteur des calories : il s'agit d'un caisson chargé de faire circuler l'air extérieur à l'aide d'un ventilateur à travers une batterie dans laquelle circule le liquide calorifique de la pompe à chaleur. Selon le fonctionnement du système (condition chaude ou froide), le dispositif se charge de capter ou dissiper les calories.

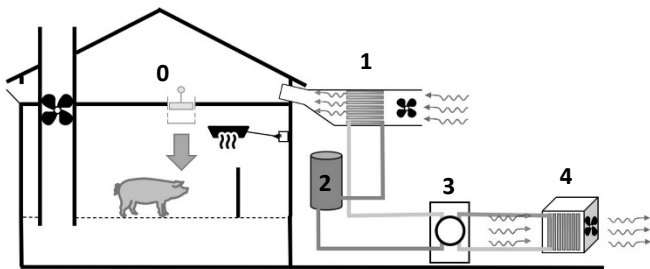


Figure 1 – Dispositif expérimental du module de thermo-régulation de l'air ambiant (0 : porcherie avec un air ambiant à la température désirée / 1 et 2 : aérotherme relié à un ballon d'eau / 3 : pompe à chaleur / 4 : dissipateur ou capteur de calories (selon les essais))

Quelles que soient les conditions souhaitées (chaudes ou froides), la pompe à chaleur fonctionne de manière constante dans le temps. Son objectif est de maintenir l'eau du ballon à une température la plus stable possible autour de la valeur programmée par l'opérateur. Une fois que la température de l'eau est réglée, elle ne doit plus être modifiée. De ce fait, si l'on veut moduler la quantité de calories entrant dans les combles, il faut moduler le régime de l'aérotherme via le boîtier de régulation afin de faire circuler plus ou moins d'air à travers la batterie et ainsi obtenir la température souhaitée dans la salle.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La principale difficulté que présente ce dispositif est de définir les réglages permettant de maintenir la température de la salle autour de la valeur désirée, malgré la production de chaleur croissante des animaux au cours de leur croissance. Pour cela, il

est possible de travailler sur trois paramètres (Figure 2) : (i) le taux d'ouverture de la trappe de freinage manuelle sur le ventilateur de la salle qui permet de réduire la surface d'extraction jusqu'à 66% de la surface de la gaine lorsqu'elle est complètement fermée. Il s'agit du réglage le plus impactant pour gérer le bilan calorifique de la salle. Le ventilateur de la salle est surdimensionné par rapport au besoin réel d'extraction d'air. Par conséquent, en l'absence de dispositif de freinage, le maximum de ventilation (80 m³/h/porc) est très rapidement atteint (autour de 15-20 % de ventilation) ; (ii) le débit d'extraction du ventilateur de la salle géré à partir des réglages traditionnels d'un boîtier de régulation (minimum, maximum, plage de ventilation et température de consigne) ; (iii) le débit de l'aérotherme soufflant l'air dans les combles géré à partir du même boîtier. Son régime dépend de l'écart existant entre la température mesurée à l'intérieur de la salle et la température désirée, paramétrée par l'opérateur.

Globalement, les écarts de débit à un pourcentage de ventilation donné entre deux situations où l'aérotherme tourne à 100% ou est à l'arrêt, sont relativement faibles lorsque la trappe de freinage est complètement fermée. Il en est de même lorsque l'on retire entièrement la trappe. Cependant, lorsque celle-ci est fermée à 50%, le régime de l'aérotherme a une incidence directe sur le régime global de la salle, avec un delta moyen de performance autour de 16%.

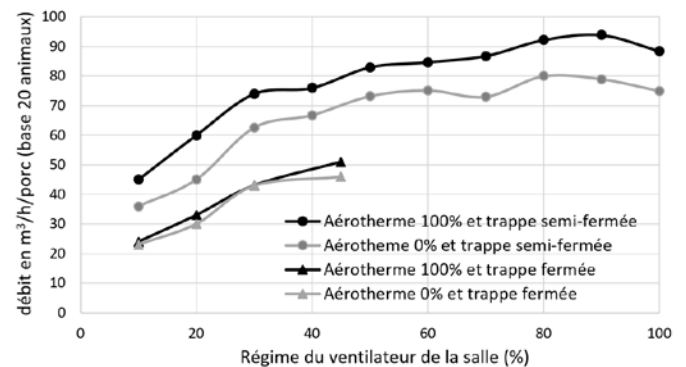


Figure 2 – Débit d'extraction du ventilateur de la salle selon les réglages du boîtier de régulation, le régime de l'aérotherme et le taux d'ouverture de la trappe

D'une manière générale, plus la température désirée de la salle sera basse et plus il faudra sur-ventiler la salle pour ramener de la fraîcheur. Les conditions chaudes seront plus faciles à stabiliser grâce à la fois au régime de ventilation, à la trappe de freinage et aux radiants électriques présents dans la salle.

CONCLUSION

Dans les premiers essais réalisés en présence de porcs, le module de thermorégulation de l'air entrant, installé à Romillé, permet de maintenir des températures stables et constantes sur toute une bande sur une plage relativement grande entre 16 et 26°C (selon les besoins). Pour des températures froides plus extrêmes, la puissance de l'installation devient limitante à moins d'organiser les essais en période froide pour maximiser les performances de la pompe à chaleur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Granier R., Guingand N., Massabie P., 1996. Influence du niveau d'hygrométrie, de la température et du taux de renouvellement de l'air sur l'évolution des teneurs en ammoniac. Journées Rech. Porcine, 28, 209-216.
- Massabie P., Granier R., Le Dividich J., 1996 Influence de la température ambiante sur les performances zootechniques du porc à l'engrais alimenté ad libitum. Journées Rech. Porcine, 28, 189 - 194.



Comparaison de méthodes pour une mesure rapide de la concentration en ammoniac en porcherie d'engraissement

Nadine GUINGAND (1), Romain DUBREUIL (2), Cyril HERRIER (2), Rachid MOUFLIH (3)

(1) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

(2) ARYBALLE, 38000 Grenoble, France

(3) HEMERA, 25 Avenue du Granier, 38240 Meylan, France

nadine.quingand@ifip.asso.fr

Comparison of three methods for rapid measurement of ammonia concentration in pig-fattening housing

The ability of France to meet its European Union commitments to decreasing ammonia emissions requires better knowledge of concentrations in all sectors, including the pig sector. Thus, measuring equipment should provide reliable data and be easily used on farms. The aim of this study was to compare three types of measuring equipment used in a fattening room of Ifip's experimental farm. The room housed 54 pigs that weighed ca. 50 kg each, were kept on a fully slatted floor and had their slurry stored in a pit below the floor. The three types of equipment were an infrared photoacoustic analyser (Innova 1512, Lumasens Technologies, Denmark) that continuously measures ammonia, N₂O, CH₄ and CO₂; an opto-electronic nose (NeOse Advance, Aryballe, France) with a silicon-based optical sensor; and an ultraviolet (UV) spectrophotometer (G800, Hemera, France) that uses the spectral signature of ammonia. Each type of equipment was placed in the middle of a pen at ca. 1.8 m high and operated for 20 hours. The mean concentration of ammonia measured by the infrared photoacoustic analyser was 3.0 ± 0.6 ppm, which agreed with that observed previously under the same conditions and in the literature. The mean concentration measured by the opto-electronic "nose" and the UV spectrophotometer differed little: 2.5 ± 0 and 2.4 ± 0.8 ppm, respectively. These two types of equipment appeared more adaptable to measurements under commercial conditions than the gas analyser currently used for research on gaseous emissions from pig production.

INTRODUCTION

Le respect des engagements européens de la France sur la réduction des émissions d'ammoniac passe par une meilleure connaissance des concentrations, entre autres, au niveau des bâtiments des élevages porcins. Le nombre d'élevages de porcs en France et leurs diversités techniques représentent un niveau de difficulté supplémentaire dans l'acquisition de cette connaissance. L'utilisation de méthodologies de mesure robustes et facilement déployables en conditions d'élevage pourrait permettre d'améliorer rapidement l'inventaire des concentrations et émissions d'ammoniac dans les élevages. L'objectif de ce premier essai est de comparer les valeurs de concentration en ammoniac obtenues dans l'ambiance d'une porcherie avec trois équipements de mesures correspondant à trois méthodes de mesures différentes.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description des conditions de mesures

Les équipements de mesures ont été installés dans une salle d'engraissement de la station expérimentale de l'Ifip à Romillé (35). La salle abrite un total de 54 porcs à l'engraissement d'environ 50 kg, élevés sur caillebotis intégral béton avec stockage des effluents en préfosse sur la durée de présence des animaux. La ventilation de la salle est dynamique avec une entrée d'air par plafond diffuseur et une extraction basse sous caillebotis. Les conditions d'élevage sont représentatives des conditions nationales d'élevage des porcs charcutiers.

1.2. Présentation des méthodes de mesures

La première méthode repose sur l'utilisation d'un analyseur photoacoustique à infra-rouge permettant la mesure simultanée de l'ammoniac (NH₃), du protoxyde d'azote (N₂O), du méthane (CH₄) et du dioxyde de carbone (CO₂ - Innova 1512 multigaz, Lumasens Technologies A/S, Danemark). Le prélèvement d'air se fait dans l'ambiance par l'intermédiaire d'un tuyau inerte en PTFE relié à un échantillonneur 6 voies (Innova 1409, Lumasens Technologies A/S, Danemark) qui l'achemine vers l'analyseur pour une mesure toutes les minutes. A l'issue du cycle d'analyses, l'appareil affiche et stocke une concentration pour chaque gaz mesuré exprimée en mg.m⁻³. Dans notre essai, cette méthode est considérée comme la méthode de référence à laquelle seront comparées les deux autres méthodes

La deuxième méthode utilise un nez opto-électronique (Neose Advance, Aryballe, France). Cette technologie utilise une méthode optique (interférométrie Mach-Zehnder) sur support silicium. Si la précision sur la mesure de l'ammoniac est un peu moins bonne que les technologies onéreuses de laboratoire, le potentiel de miniaturisation et de réduction des coûts en font un outil pertinent pour le déploiement sur site. Par ailleurs, d'autres composés aminés que l'ammoniac peuvent être détectés pour compléter la mesure. L'apprentissage est réalisé en utilisant les données effectuées sur site, en prenant comme référence l'Innova 1512. La prédiction est alors effectuée le lendemain en utilisant ces données d'apprentissage. Ici, l'équipement est utilisé dans une phase exploratoire, ainsi seuls quelques points de mesure sont réalisés.

La troisième méthode utilise un spectrophotomètre ultra-violet (G800, Hemera, France). La signature de l'ammoniac est très particulière dans le domaine UV ce qui permet de le quantifier précisément après avoir effectué une calibration en laboratoire. L'appareil embarque tous les calculs nécessaires pour traduire le spectre obtenu en une valeur de concentration de l'échantillon analysé, ce qui le rend facile d'utilisation. Assez compact et intuitif, il est à mi-chemin entre l'instrumentation scientifique de laboratoire et les systèmes de capteur gaz peu onéreux. L'affichage instantané de la concentration mesurée permet un suivi rapide des mesures effectuées en temps réel. Lors des tests effectués à Romillé, la fréquence de mesure a été fixée à 10 secondes. Ce paramètre est aisément modifiable grâce à l'Interface Homme-Machine (IHM) de l'analyseur G800.

Les trois équipements (Photo 1) ont été mis en œuvre en simultané sur une période de 20 heures entre le 07 et le 08 juin 2023 correspondant à la fin de la phase de croissance des porcs à l'engraissement.

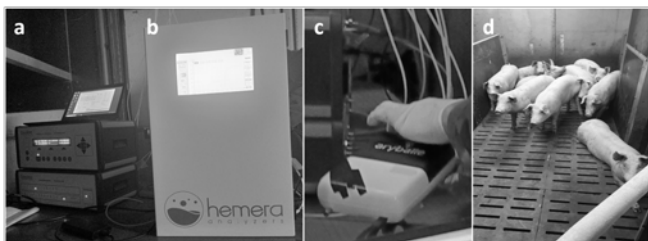


Photo 1 - Les trois équipements de mesure (a-Innova, b-Neose Advance, c-G800, d-salle d'engraissement)

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Conditions d'ambiance

Sur la période de mesure, la température moyenne de l'ambiance de la salle a été de $27,0 \pm 1,2$ °C alors que la température extérieure était de $24,5 \pm 7,4$ °C. L'hygrométrie ambiante était de $56,9 \pm 3,2\%$ vs $98,0 \pm 4,7\%$ pour l'hygrométrie extérieure. Les conditions d'ambiance sont représentatives de la période d'étude et du stade de croissance des animaux.

2.2. Concentrations en ammoniac

Sur la période de mesure, la concentration en ammoniac mesurée par l'analyseur photo-acoustique Innova a été de $3,0 \pm 0,6$ ppm. Cette valeur est en accord avec les concentrations déjà mesurées sur ce site dans des essais antérieurs en période estivale mais aussi aux valeurs de la littérature internationale donnant des valeurs de 2 à 15 ppm selon le type de sol, l'âge des animaux, la saison et le mode de gestion des effluents (Lagadec *et al.*, 2018).

La figure suivante illustre les valeurs de concentrations en ammoniac mesurées par les trois équipements. Les valeurs obtenues sont très proches avec respectivement une moyenne calculée de $2,4 \pm 0,8$ ppm et $1,4 \pm 0,5$ ppm pour le G800 d'Hemera et le NeoNose Advance d'Aryballe vs $3,0 \pm 0,6$ pour l'analyseur Innova (Figure 1).

2.3. Avantages et limites de chaque équipement

L'analyseur Innova est largement utilisé dans le domaine de la R&D en élevages du fait de la robustesse des données acquises. Cependant, son adaptabilité à des mesures à grande échelle en élevages commerciaux est limitée. L'appareil nécessite un échantillonneur et un ordinateur pour sa commande. De plus, il est nécessaire d'installer une voie de prélèvement (tuyau PTFE) pour assurer l'échantillonnage. Pour finir, la fragilité de l'équipement ne permet pas de le laisser sur une période plus ou moins longue dans l'ambiance d'une salle du fait du risque de corrosion et d'encrassement (particules).

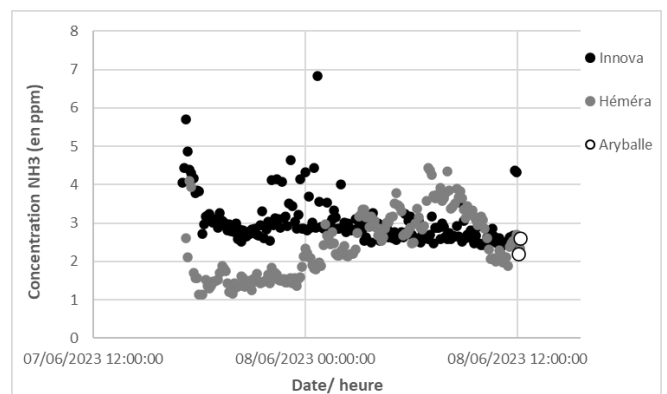


Figure 1 - Concentrations en ammoniac mesurées par les trois équipements

L'analyseur Hemera est un équipement compact et mobile ce qui lui permet d'être facilement déplacé d'une salle à une autre. Son interface permet aisément de suivre la valeur de la concentration, que ce soit grâce à la dernière valeur de concentration mesurée ou par la visualisation de la cinétique sur un graphique. L'exposition à un environnement très poussiéreux pourrait nécessiter l'installation d'une membrane filtrante en vue de protéger les optiques de mesures.

Le capteur Aryballe présente l'avantage d'être très compact - il est basé sur une technologie silicium. Les coûts peuvent donc devenir très bas dans une version industrialisée. Il présente également l'avantage de pouvoir être utilisé sur le terrain à condition d'installer de simples filtres. L'inconvénient de ce système est la difficulté de corréliser les concentrations terrain avec les concentrations mesurées en laboratoire. Ainsi, des apprentissages sur le terrain sont réalisés pour améliorer la robustesse des modèles et la performance.

CONCLUSION

Les premiers résultats obtenus lors de cet essai sont encourageants et permettent d'imaginer la mise en œuvre à plus grande échelle (temps et situations d'élevage) de ces équipements pour confirmer leurs intérêts.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Lagadec S., Guingand N., Trucheu P., Gabrysiak L., Guinot L., Hassouna M., 2018. Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM2,5 durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers. Journées Rech. Porcine 50, 1-6.



Évaluation de l'efficacité de la biofiltration sur la réduction des émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

Khaled AMIN (1), Solène LAGADEC (1), Nicolas KOLYTCHEFF (1), Claude COCHET (2)

(1) Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne, rue de Maurice Le Lannou, 35042 Rennes

(2) I-TEK, Z.A, Les Dineux, 22250 Trémeur

Khaled.amin@bretagne.chambagri.fr

Assessment of the effectiveness of biofiltration in reducing ammonia and greenhouse gas emissions

A biofilter is composed of an organic medium through which the air extracted from a pig building passes. The bacteria that grow in this substrate reduce pollutant emissions. Autotrophic nitrifying bacteria oxidise ammonia (NH_3) to nitrite and nitrate, and methanotrophic bacteria use methane (CH_4) as a source of carbon and energy. Multiple parameters influence the performance of this system, such as the retention time, the ambient conditions and the type of medium. To increase knowledge of the effectiveness of biofiltration in reducing NH_3 and greenhouse gas emissions, two biofilters (A and B) on pig farms were studied. Biofilter A treated the air from a fattening building with 1 800 places, whereas biofilter B treated air from a post-weaning building with 1 536 places. The medium consisted of wood chips. The size of the biofilters was set so that they would retain air for at least 5 seconds. The effectiveness of the biofilters was measured, during hot and cold periods, for periods of 3-15 days. A reduction in NH_3 emissions of $45 \pm 10\%$ and $57 \pm 20\%$ and in CH_4 emissions of $25 \pm 10\%$ and $22 \pm 24\%$ were observed for biofilters A and B, respectively. However, biofiltration had no influence on nitrous oxide emissions. These measurements made it possible to confirm the effectiveness of biofiltration in reducing NH_3 and CH_4 emissions from pig farms and identify key points for optimizing it, such as a sufficiently porous and humid medium and a retention time of at least 5 seconds.

INTRODUCTION

La biofiltration consiste à traiter l'air vicié sortant des porcheries par l'action de micro-organismes présents au sein d'un substrat à travers lequel passe l'air à traiter. Les premiers essais conduits sur des équipements pilotes à la Chambre d'Agriculture, montraient un fort niveau d'abattement sur l'ammoniac, pouvant atteindre 80% à 90% mais également que les performances du biofiltre étaient très sensibles aux conditions atmosphériques (Dumont *et al.* 2014). Afin d'améliorer les connaissances sur cette technique et d'identifier les points de vigilance, l'efficacité de deux biofiltres sur la réduction des émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre a été analysée dans des élevages équipés en Bretagne et Pays de la Loire.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description des deux biofiltres suivis

Les biofiltres sont installés dans deux élevages différents (Tableau 1). Le biofiltre A est utilisé pour traiter l'air extrait des bâtiments d'engraissement alors que le biofiltre B traite l'air d'un bâtiment de post sevrage. Tout l'air extrait des bâtiments concernés passe au travers des biofiltres. Les substrats utilisés sont des déchets de haies pour les deux biofiltres, formant une couche de 80 cm (biofiltre A) et 50 cm (biofiltre B). Les deux biofiltres ont été dimensionnés pour un temps de passage de l'air au travers de la couche de substrat de 5 secondes minimum.

Tableau 1 - Caractéristiques des biofiltres suivis

| | Biofiltre A | Biofiltre B |
|-------------------------------------|---------------|--------------|
| Stade Physiologique | Engraissement | Post-sevrage |
| Nombre de place | 1800 | 1536 |
| Surface du biofiltre m ² | 110 | 96 |
| Volume du substrat m ³ | 88 | 48 |
| Hauteur du substrat m | 0,8 | 0,5 |

1.2. Méthode de mesure de l'effet de la biofiltration sur les émissions gazeuses

L'efficacité des deux biofiltres a été mesurée à la fois en période chaude et en période froide.

Des mesures de concentrations en ammoniac (NH_3), en méthane (CH_4) et en protoxyde d'azote (N_2O) ont été réalisées en continu à l'aide d'un analyseur de gaz photoacoustique INNOVA couplé à un échantillonneur d'air avant et après biofiltration. La température et l'hygrométrie de l'air à traiter avant biofiltration, et de l'air après biofiltration, ainsi que les paramètres d'ambiance extérieure ont été enregistrées toutes les heures durant l'essai à l'aide de sondes TH VOLTcraft.

En période chaude, la durée de mesures a été de 15 jours pour le biofiltre A (16/05 au 30/05) et 11 jours pour le biofiltre B (30/05 au 09/06). En période froide, elle a été de 9 jours, pour les deux biofiltres, complètement utilisables pour A (07/11 au 15/11), mais réduite à seulement 3 jours exploitables pour B (10/10 au 12/10), lié à un dysfonctionnement du matériel.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Efficacité sur la réduction des émissions d'ammoniac

La biofiltration permet de réduire les émissions d'ammoniac en moyenne de respectivement $45 \pm 10\%$ et $57 \pm 20\%$ pour les biofiltres A, B. Cette réduction est expliquée par i) le développement de bactéries nitrifiantes autotrophes au sein du substrat (Kristiansen *et al.*, 2011) et ii) un temps de passage suffisant pour permettre aux bactéries nitrifiantes oxydantes d'oxyder l'ammoniac. Un minimum de 5 secondes de temps de passage est préconisé pour avoir un taux d'efficacité optimal (Zeisig, 1987 ; Nicolai et Janni, 1999).

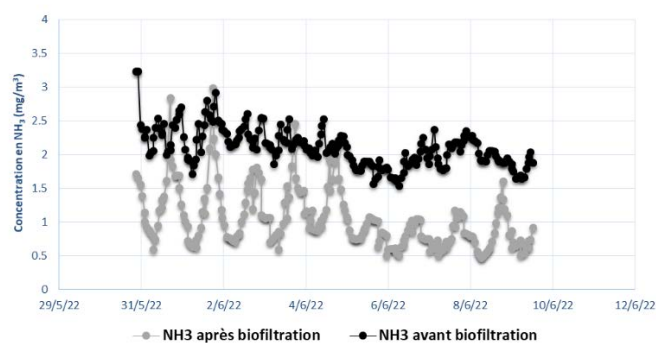


Figure 1 - Concentration en ammoniac (NH_3) avant et après biofiltration de l'élevage B en période chaude

La figure 1 présente l'évolution des concentrations en NH_3 en amont et aval du biofiltre B au cours de la période chaude. On observe trois pics où la concentration en NH_3 est plus élevée après qu'avant biofiltration, témoignant d'un relargage de l'ammoniac. Ce phénomène peut s'expliquer par une humidité insuffisante entraînant une réduction de l'activité des micro-organismes présents au sein du substrat. L'humidité recommandée varie entre 40 et 60% dans le biofiltre (Dumont *et al.* 2014 et Ottengraf *et al.* 1986) et la gamme de température permettant aux micro-organismes d'être les plus actifs se situe entre 21 et 31 °C.

La réalisation des mesures en période climatiques contrastées a montré une corrélation linéaire négative ($R = -0,7$) entre la température de l'air extérieur et la concentration en NH_3 avant biofiltration, lié au débit de ventilation inférieur en période froide et supérieur en période chaude (Dourmad *et al.*, 2008).

2.2. Efficacité sur la réduction des émissions des GES

Les mesures montrent que la biofiltration permet de réduire les émissions de méthane en moyenne de respectivement $25 \pm 10\%$ et $22 \pm 24\%$ pour les biofiltres A, B témoignant de l'action des bactéries méthanotrophes installés au sein du

substrat (Veillette *et al.* 2015). Une corrélation linéaire positive était observée entre la température de l'air extérieur et la concentration en CH_4 avant biofiltration ($R = 0,51$).

Par ailleurs, pour le biofiltre B, on observe à certaines périodes une augmentation de la teneur en méthane après biofiltration, signe d'un substrat compacté favorisant le développement des bactéries anaérobies comme les bactéries méthanogènes produisant le méthane (Figure 2).

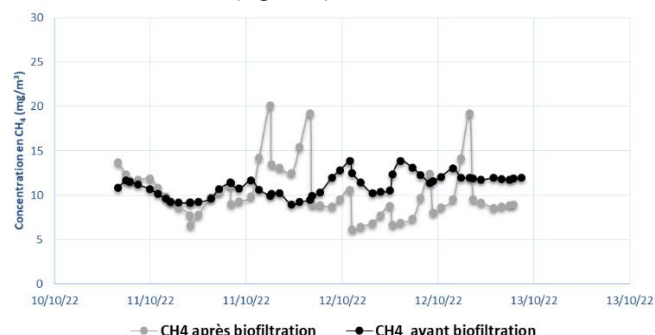


Figure 2 - Concentration en méthane (CH_4) avant et après biofiltration de l'élevage B en période froide

Le choix du substrat du biofiltre est critique dans la conception d'un biofiltre. Pour qu'un biofiltre fonctionne efficacement, le substrat doit fournir un environnement approprié pour la croissance microbienne respectant certaines conditions comme une porosité élevée pour permettre à l'air de circuler facilement et une capacité de rétention d'humidité, une teneur suffisante en nutriments, et une décomposition lente du substrat lui-même (Schmidt *et al.* 2020). En revanche, aucun effet significatif du biofiltre sur la réduction des émissions du N_2O n'a été observé.

CONCLUSION

En conclusion, cette étude confirme l'efficacité des biofiltres sur la réduction des émissions d'ammoniac et de méthane dans les élevages porcins. Cependant, une gestion précise des conditions environnementales et du substrat est essentielle pour optimiser leur performance. La biofiltration offre ainsi une solution prometteuse pour atténuer l'impact environnemental de l'élevage porcin.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du soutien financier de la société I-TEK et Programme Régional pour le Développement Agricole et Rural Bretagne. Les auteurs remercient les éleveurs de porcs ayant participé à l'étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dourmad J.-Y., Moset-Hernandez V., Espagnol S., Hassouna M., Rigolot C., 2008. Modélisation dynamique de l'émission et de la concentration d'ammoniac dans un bâtiment d'engraissement de porcs. Journées Rech. Porcine, 40, 267-268.
- Dumont E., Hamon L., Lagadec S., Landrain P., Landrain B., Andres Y., 2014. Traitement d'air de porcherie par biofiltration. Journées Rech. Porcine, 46, 207-208.
- Kristiansen A., Pedersen K.H., Nielsen P.H., Nielsen L.P., Nielsen J.L., Schramm A., 2011. Bacterial community structure of a full-scale biofilter treating pig house exhaust air. Syst. Appl. Microbiol., 34(5), 344e352.
- Nicolai R.K., Janni K.A., 1999. Biofiltration - adaptation to livestock facilities. In Proceedings of the 1999 ASAE Annual International Meeting, Paper No. 994062, Milwaukee, Wisconsin.
- Ottengraf S.P.P., 1986. Exhaust gas purification. Biotechnology, a Comprehensive Treatise, Vol. 8, pp. 426-452.
- Schmidt D., Jacobson L., Nicolai R., 2020. Biofilter design information - University of Minnesota, 28 p.
- Veillette M., Girard M., Viens P., Brzezinski R., Heitz M., 2012. Function and limits of biofilters for the removal of methane in exhaust gases from the pig industry. Appl. Microbiol. Biotechnol., 94, 601-611.
- Zeisig, H.D., Munchen T.U., 1987. Experiences with the use of biofilters to remove odours from piggeries and hen houses. In Volatile Emissions from Livestock Farming and Sewage Operations, Edited by V.C. Neilson J.H. Voorburg and P. L'Hermite. Elsevier Applied Science, 209-216.



Évaluation de différents additifs nutritionnels pour la réduction de l'empreinte environnementale de la production porcine par analyse du cycle de vie

Nicolo BRACONI (1), Björn KOK (1), Hans BLONK (1), Henk BOSCH (2), Sabine van CAUWENBERGHE (3), Charlotte VALLIERE (3), Daniel PLANCHENAU (4)

(1) Blonk Sustainability Tools, Gouda, The Netherlands

(2) Bosch Sustainability Consultant, Sittard, The Netherlands

(3) Dsm-Firmenich, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst, Suisse

(4) Dsm-Firmenich, 41-43 rue de Villiers, 92200 Neuilly sur Seine, France

daniel.planchenault@dsm-firmenich.com

Evaluation of different nutritional additives for reducing the environmental footprint of pig production using life cycle analysis

Animal production systems, including pig production, are an important part of the current global food system. However, they are often criticized for their resource use and environmental impacts. To assess the environmental footprint of animal production, different methods and standards have been produced, such as FCR Red Meat or the FAO's LEAP guidelines for feed additives. Among the many contributors to the environmental footprint, animal feed contributes the most. The main purpose of this study was to evaluate effects of different nutritional strategies based on the use of additives, alone or in combination, on the environmental footprint of a typical fattening farm in the Netherlands. The studies were performed according to the EF 2.0 method of life cycle assessment, in accordance with guidelines of the FCR Red Meat, PEFCR Feed and LEAP for feed additives. Three supplementation strategies were evaluated – two enzyme-based (phytase or xylanase to modify the feed formulation by reducing resource use) and one based on benzoic acid – to improve zootechnical performance and reduce ammonia emissions. The impacts assessed were climate change, marine eutrophication, freshwater eutrophication and respiratory inorganics. The functional unit was 1 kg of liveweight at the farm gate. The combination of these strategies reduced each impact by 3-8% compared to the baseline. This study confirms that nutritional additives can improve the environmental footprint of pig production at the feed and animal level by reducing resource use, improving productivity, or directly reducing on-site emissions.

INTRODUCTION

Les productions animales, dont la production porcine, sont des parties intégrantes du système alimentaire mondial, mais souvent décriées pour leurs consommations de ressources ainsi que pour leurs impacts environnementaux. Afin d'évaluer l'empreinte environnementale des productions animales, différentes méthodes et normes ont été produites tels que le Footprint Category Rules (FCR) Red Meat (Technical Secretariat for the Red Meat Pilot, 2019) ou le LEAP pour les additifs (FAO, 2020). Parmi les principaux contributeurs à l'empreinte environnementale de l'élevage se trouve l'alimentation des animaux. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de différentes stratégies nutritionnelles basées sur l'utilisation d'additifs, seuls ou en combinaison, sur l'empreinte environnementale d'un atelier de porcs à l'engraissement.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Normes et lignes directrices

Les calculs d'analyse de cycle de vie (ACV) ont été réalisés grâce à l'outil Sustell™ codéveloppé par Blonk Sustainability et Dsm-

Firmenich. Les calculs sont effectués en suivant la méthode d'évaluation d'impact « Environmental footprint » (EF) 2.0, développée par la commission européenne (Fazio *et al.*, 2018). Les lignes directrices propres à l'élevage (FCR Red Meat) et à l'aliment (PEFCR for feed) et pour les additifs (FAO LEAP) ont été suivies.

1.2. Système de référence : unité fonctionnelle et limite du système

Le système de référence est une ferme d'engraissement typique des Pays-Bas et transposable aux systèmes de productions d'Europe de l'Ouest. Dans l'élevage considéré, les porcelets entrent à 25 kg et sont envoyés à l'abattoir à 117 kg après un engraissement de 114 jours en moyenne. La consommation moyenne d'aliment est de 243 kg/porc, soit un indice de consommation de 2,64 kg/kg. Les porcs sont logés sur caillebotis intégral avec conservation des lisiers en fosse pendant plus d'un mois. L'unité fonctionnelle est le kilo de poids vif sur le quai d'embarquement de l'élevage.

1.3. Description des aliments

L'alimentation est réalisée avec un programme à trois aliments, nourrain (25-50 kg), croissance (50-80 kg) et finition (80-abattage), selon le principe de la formulation à moindre coût (prix : juin 2020) avec les matières premières disponibles et les valeurs nutritionnelles couramment utilisées aux Pays-Bas. La composition de l'aliment moyen selon trois interventions nutritionnelles est donnée tableau 1.

Tableau 1 – Composition de l'aliment moyen (%)

| | Base | P+ | X+ |
|--------------------------------|------|------|------|
| Matières premières, % | | | |
| Céréales | 64,3 | 64,2 | 60,0 |
| Coproduits de céréales | 14,9 | 15,7 | 16,6 |
| Tourteaux | 12,9 | 12,8 | 13,1 |
| Coproduits fibreux | 3,0 | 2,9 | 5,7 |
| Phosphate monocalcique | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Carbonate de calcium | 1,3 | 1,6 | 1,7 |
| Vitamines, acides aminés | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Valeurs nutritionnelles | | | |
| Protéine brute, % | 14,5 | 14,5 | 14,6 |
| Énergie Nette, MJ/kg | 9,8 | 9,8 | 9,8 |
| Lysine DIS ¹ , % | 0,82 | 0,82 | 0,82 |
| Phosphore digestible, % | 0,26 | 0,28 | 0,27 |

¹Digestible Illéale Standardisée. Les stratégies P+ et X+ sont décrites au tableau 2.

1.4. Inventaire de cycle de vie

Pour les matières premières et autres données d'entrée telles que les porcelets, nous avons utilisé la base de données Agri-footprint 5.0 (van Paassen *et al*, 2019). Pour les solutions « additifs » évaluées dans les différents scénarios, les données d'ACV ont été communiquées par le fournisseur dsm-firmenich.

1.5. Calcul des émissions et évaluation des impacts

Dix-neuf catégories d'impact ont été calculées selon la méthode EF 2.0. Seules quatre sont présentées dans cette étude en lien avec leur robustesse et leur pertinence. Il s'agit du changement climatique, des polluants respiratoires inorganiques, de l'eutrophisation marine et de l'eutrophisation eau douce.

1.6. Interventions

Trois interventions nutritionnelles reposant sur l'utilisation d'additifs sont testées. Les deux premières à base d'enzymes (phytase seule P+ ou associée avec une xylanase X+) modifient la composition de l'aliment en épargnant des ressources, respectivement du phosphate et des céréales (Tableau 1). La dernière à base d'acide benzoïque (AB+) ne modifie pas la formulation de base mais améliore les performances zootechniques et réduit les émissions d'ammoniac en bâtiment.

Les effets des stratégies additifs testées (Tableau 2) sont justifiés par une revue de la littérature en suivant les principes décrits dans le référentiel FAO LEAP additifs (FAO, 2020).

Tableau 2 – Description des effets des différentes stratégies

| Interventions | Effet zootechnique | Effets ACV |
|-------------------------------------|--|--|
| Phytase (P+) 2000 FYT/kg | Améliore la digestibilité du phosphore phytique | Reformulation avec moins de phosphate |
| Xylanase (X+) 200 FXU/kg | Améliore la digestion des arabinoxylanes | Reformulation avec moins de blé |
| Acide benzoïque (AB+) 5000 mg/kg | Améliore les performances, réduit le pH des urines | IC réduit de 3% et émissions de NH ₃ de 10% |

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'utilisation de phytase a un effet principal de réduction de -5,1% de l'eutrophisation de l'eau douce en réduisant le recours au phosphate inorganique et en diminuant les rejets associés. L'utilisation de xylanase réduit l'eutrophisation marine (-2,3 %) grâce à une moindre utilisation du blé contrebalancé par l'utilisation accrue de coproduits. L'acide benzoïque grâce à son effet sur l'indice de consommation améliore les quatre catégories d'impacts considérés avec un effet complémentaire marqué sur les polluants respiratoires de -8,5%.

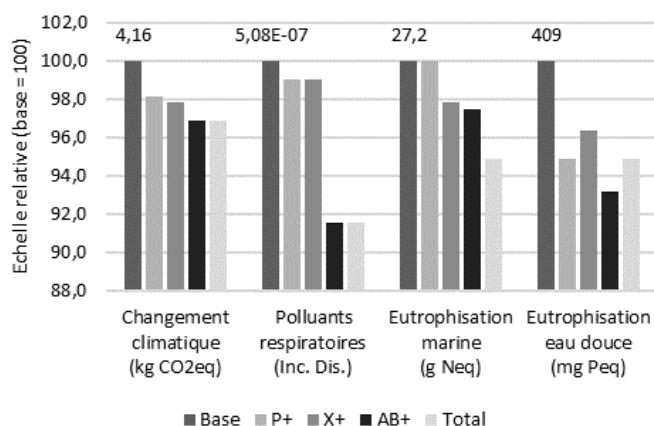


Figure 1 – Effet de différentes stratégies additifs sur quatre catégories d'impacts environnementaux

L'utilisation combinée des trois stratégies d'additifs permet une diminution de l'impact changement climatique de 3,1%, des polluants respiratoires de 8,5%, de l'eutrophisation marine de 5,1% et de l'eutrophisation de l'eau douce de 5,1 %. Dans tous les cas l'empreinte de l'additif est soit négligeable soit largement compensée par ses effets.

CONCLUSION

L'étude confirme la contribution des additifs dans l'amélioration de l'empreinte environnementale de la production porcine par l'amélioration de la productivité, de l'efficacité d'utilisation des ressources, de la santé et la réduction des émissions en bâtiments. La combinaison d'additifs soigneusement sélectionnés et rigoureusement évalués peut jouer un rôle dans l'élaboration de stratégies efficaces et positivement impactantes sur l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FAO, 2020. Environmental performance of feed additives in livestock supply chains. Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership (LEAP). FAO. Version1. Rome.
- Fazio S., Biganzoli F., De Laurentiis V., Zampori L., Sala S., Diaconu E., 2018. Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods (version 2). European Commission.
- Technical Secretariat for the Red Meat Pilot, 2019. Footprint Category Rules Red Meat, version 1.0.
- van Paassen M., Braconi N., Kuling L., Durlinger B., Gual P., 2019. Agri-footprint 5.0 - Part 2: Description of data. 134 pages



Développement d'un pilote mobile de transformation de lisier de porc en engrais azoté

Mariana MOREIRA (1), Nicolas THEVENIN (2), Lionel RUIDAVETS (2), Clément MUNIER (3),
Pierre-Baptiste BLANCHANT (4), Matthieu PREUD'HOMME (4)

(1) Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, 35042 Rennes, France

(2) RITMO Agro-environnement, 68025 Colmar, France

(3) Chambre régionale d'agriculture du Grand Est, 54520 Laxou, France

(4) Chambre d'agriculture de la Somme, 80200 Estrées-Mons, France

mariana.moreira@bretagne.chambagri.fr

Projet H2020 FERTIMANURE (Grant Agreement N° 862849). <https://www.fertimanure.eu/en/>

Development of a mobile pilot plant for converting pig manure into nitrogen fertiliser

In the current context of increasing fertiliser prices and new European Union fertiliser regulation (Regulation (EU) 2019/1009), technologies for recovering nutrients from livestock manure are regaining importance. As part of the H2020 Fertimanure project, a nitrogen-stripping pilot plant (mobile and adapted to different types of substrate) was developed, based on existing industrial plants in France. The efficiency of this pilot plant and of the use of bio-based ammonium sulphate (BBF-AS) as a fertiliser was evaluated. The stripping parameters tested were focused on the air:liquid ratio, pig slurry liming and heating in order to optimize the nitrogen extraction yield. The monitoring results showed an ammonia nitrogen recovery efficiency of up to 92 %, which would produce 16 l of BBF-AS (4.8 % NH_4^+) per m^3 of pig slurry (0.14-0.20 % NH_4^+). Laboratory incubation tests have shown that 100 % of the nitrogen provided by BBF-AS is available for crops. In the field, the BBF-AS, tested at three application doses of nitrogen, resulted in nitrogen export from spinach similar to that of the reference synthetic mineral fertiliser. The calculated nitrogen fertiliser replacement value of BBF-AS was close to 100 %, which indicates that it can be used to replace some synthetic mineral fertilisers. The same trend was observed for other crops (i.e. silage maize, potatoes and sauerkraut cabbage) using the same protocol. Work is currently in progress within the Fertimanure consortium to provide information about the investment and operational costs of stripping units (mobile or not) dedicated to livestock manure.

INTRODUCTION

A la fin des années 90, dans un contexte de mise en place de programmes de résorption pour la gestion des excédents structurels liés aux élevages hors-sol, différentes technologies ayant pour but de recycler les nutriments des effluents d'élevage ont été développées. Aujourd'hui, dans un contexte d'augmentation du prix des engrais et de circularité, ces technologies, regagnent de l'importance. C'est le cas du stripping de l'azote, un traitement physico-chimique qui consiste à volatiliser l'azote ammoniacal d'un effluent liquide pour ensuite le concentrer dans une solution acide par lavage d'air. Ce procédé, présent et opérationnel à grande échelle depuis 20 ans, rend plus facile la gestion de l'effluent liquide en le transformant d'une part en sulfate d'ammonium, un engrais azoté rapidement disponible pour les cultures et, d'autre part en un effluent appauvri en azote minéral. Les unités fixes de stripping nécessitent un investissement conséquent et cela peut s'avérer dissuasif pour de nombreux agriculteurs (Ifip, 2017 ; Likiliki, 2021). C'est pourquoi, en s'inspirant des installations industrielles déjà existantes en France, un pilote mobile a été développé dans le cadre du projet H2020 Fertimanure. L'objectif de ce travail est d'évaluer son efficacité ainsi que la qualité agronomique du sulfate d'ammonium obtenu (BBF-AS). De plus, ce projet permet d'étudier la

possibilité de développement d'unités mobiles de service pour les éleveurs en leur proposant un traitement de leurs effluents liquides avec une gestion individuelle de faibles excédents.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description du pilote de stripping

Le pilote est constitué d'une cuve tampon de lisier, de deux colonnes verticales liées par un tuyau (une colonne qui volatilise l'azote ammoniacale et l'autre qui le resolubilise, avec injection d'acide sulfurique à 50 %), d'un compresseur pour envoyer l'air vecteur, une sortie d'air, de deux corps de chauffe permettant de réchauffer le lisier injecté à 50-55 °C, des sondes de températures et de pression et des pompes d'injection, notamment pour l'ajout au goutte à goutte d'un produit chaulant facilitant la volatilisation de l'azote. Les colonnes sont remplies d'un support de forme sphérique creux et traversé de lignes verticales permettant d'augmenter le temps de séjour et la surface de contact des gouttes de lisier avec le flux d'air.

1.2. Suivi du procédé et suivi agronomique du BBF-AS

Entre 2021 et 2023, trois campagnes de production, de plusieurs mois, ont été réalisées avec un lisier de porc d'une exploitation d'élevage de porcs charcutiers et de porcelets de

lait de la région Grand Est (Alsace). Pour chaque lot de production, un suivi de la teneur en azote ammoniacal (NH_4^+), du pH et du volume des effluents a été réalisé. A la fin de chaque campagne, sur un échantillon de l'intégralité de la production, le pH, la densité, la matière sèche, les teneurs en carbone organique, azote total, NH_4^+ , phosphore total, potassium total et les éléments trace métalliques (ETM) ont été analysés dans les lots de BBF-AS. Ces mêmes paramètres ont été analysés dans le lisier de départ afin de réaliser un bilan de masse.

Au laboratoire, des incubations sur 91 jours à 28°C, réalisées en triplicata, ont été réalisées afin de déterminer le comportement de l'azote du BBF-AS (adapté de la méthode FD U 44-163). Des comparaisons ont été réalisées avec un engrais de référence (CAN), le lisier brut et un sol non fertilisé. Au champ, des dispositifs en blocs à trois répétitions ont été mis en place sur différentes cultures (maïs et épinards en Bretagne, pommes de terre dans la Somme et chou à choucroute dans le Grand Est), avec trois doses d'apport (30 %, 60 % et 100 % de la dose d'azote recommandée) de BBF-AS en comparaison avec un engrais de référence (ammonitrate 33.5 % N). Le rendement et l'azote absorbé par la culture ont été mesurés à la récolte. L'efficacité azotée du BBF-AS a été déterminée par le coefficient d'équivalence engrais (Keq N). Pour vérifier l'effet du type d'engrais sur les paramètres évalués, une ANOVA a été réalisée après vérification de la normalité (test de Shapiro Wilk). Les moyennes ont été comparées par un test post hoc de Tukey (version 4.2.1 de R, package *RVAideMemoire*).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performance du pilote, stabilité et qualité des produits

Les derniers essais de production ont permis de fixer les paramètres de traitement avec un ratio liquide/air de 450, une augmentation du pH du lisier à une valeur de 10-10,5, ainsi que le chauffage des gouttes de lisier à 50-55 °C. Ces paramètres ont été utilisés pour traiter 53 l ± 11 l de lisier et produire 0,85 l ± 0,20 l de BBF-AS avec une teneur en N- NH_4 de 4,88 % (soit 16 l de BBF-AS pour 1 m³ de lisier). Ainsi, avec une teneur initiale en N- NH_4 de 1,65 g/l dans le lisier brut et une teneur après stripping de 0,14 g/l (lisier épuré), ce traitement a permis d'atteindre un rendement d'extraction de NH_4^+ du lisier de 92 %, similaire à ce qui a pu être mesuré sur une unité industrielle en fonctionnement (Solagro-IRSTEA, 2012) ou dans la littérature (Bonmatí et Flotats, 2002 ; Laurení *et al.*, 2013). En moyenne sur la dernière campagne de production, le taux d'extraction du N- NH_4^+ est de 85 ± 6 % pour 15 lots de production avec un rendement minimum de 68 % et maximum de 92 %. Le BBF-AS se caractérise par une teneur en NH_4^+ de 4,88 % m/m et 32,5 % m/m de SO_3 . Les teneurs des autres

éléments fertilisants majeurs et secondaires et des ETM sont inférieures au seuil de détection du laboratoire d'analyse.

2.2. Efficacité agronomique du BBF-AS

Au laboratoire, les incubations ont montré que le BBF-AS se comporte comme l'engrais minéral. En effet, 109 % ± 11 % de l'azote appliqué restent sous forme minérale pendant l'incubation, soit à un niveau équivalent au CAN avec 104 % ± 21 %. Dans les essais au champ, pour les trois niveaux de fertilisation testés, le rendement et la quantité d'azote exporté par les épinards n'a pas été significativement différent entre BBF-AS et l'engrais de référence ($P < 0.001$) (Figure 1). Le Keq N pour cette culture a dépassé 100 %, ce qu'indique que le BBF-AS a le même effet sur l'alimentation azotée des épinards que l'engrais de référence. Ces résultats ont été observés également pour les autres cultures testées. La possibilité de remplacer les engrais minéraux par du sulfate d'ammonium bio-sourcé a été mis en évidence par Sigurnjak *et al.* (2017).

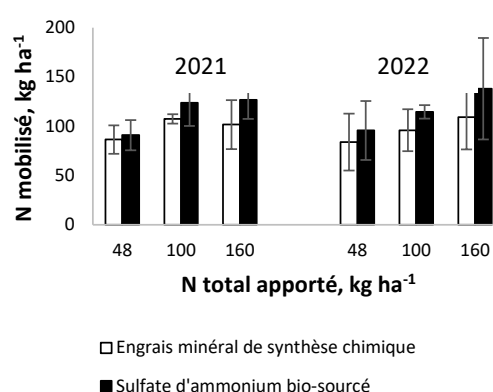


Figure 1 – Quantité d'azote mobilisé par les épinards avec un engrais de référence et le BBF-AS en 2021 et 2022.

Les barres d'erreur indiquent les écarts-types ($n = 3$).

CONCLUSION

Les essais de production de sulfate d'ammonium à partir de lisier ont permis de démontrer la faisabilité, même à petite échelle de ce procédé avec un matériel assez simple et robuste. Le sulfate d'ammonium issu des effluents d'élevage a la même caractéristique que les produits issus de la chimie de synthèse avec néanmoins des teneurs en azote plus faibles. Ces résultats confirment que ce produit a le potentiel pour remplacer une partie des engrais minéraux de synthèse. A ce jour, des travaux sont en cours au sein du consortium européen du projet Fertimanure afin de fournir des informations économiques liées aux investissements et au fonctionnement des unités de stripping (mobile ou non) dédiées aux effluents d'élevage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ifip, 2017. Gestion et traitement des digestats issus de méthanisation. Levasseur P, Toudic A., Bonhomme S., Loringuer E., Ifip Institut du porc Eds, Paris, 18 p.
- Likiliki C., 2021. Étude des procédés biologiques d'élimination d'azote appliqués à la phase liquide du lisier de porcs après séparation en bâtiment. Thèse de doctorat. Université Rennes 1, Rennes, 284 p.
- Solagro-IRSTEA, 2015. Etat de l'art des digestats et de leurs procédés de pos-traitement - rapport final. Projet ANR-10-BIOE-007 DIVA, 76 p.
- Bonmatí A., Flotats X., 2002. Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. *Waste Manage.*, 23, 261–272.
- Laurení, M., Palatsi J., Llovera M., Bonmatí A., 2013. Influence of pig slurry characteristics on ammonia stripping efficiencies and quality of the recovered ammonium-sulphate solution. *J. Chem. Technol. Biot.*, 88, 1654-1662.
- Sigurnjak I., De Waele J., Michels E., Tack F.M.G., Meers E., De Neve S., 2017. Nitrogen release and mineralization potential of derivatives from nutrient recovery processes as substitutes for fossil fuel based nitrogen fertilizers. *Soil Use Manage.*, 33, 437-446.



www.journees-recherche-porcine.com



Édité par l'IFIP - Institut du porc
5 rue Lespagnol, 75020 Paris
www.ifip.asso.fr