



HAL
open science

Prédisposition génétique et expression des comportements liés à la morsure de queue en lien avec les caractéristiques de chaque porc

Laurianne Canario, Catherine Larzul

► To cite this version:

Laurianne Canario, Catherine Larzul. Prédisposition génétique et expression des comportements liés à la morsure de queue en lien avec les caractéristiques de chaque porc. 55èmes Journées de la recherche porcine, Jan 2023, Saint-Malo, France. hal-04032931

HAL Id: hal-04032931

<https://hal.science/hal-04032931v1>

Submitted on 17 Mar 2023

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



Prédisposition génétique et expression des comportements liés à la morsure de queue en lien avec les caractéristiques de chaque porc

Laurianne CANARIO et Catherine LARZUL

UMR1388 GenPhySE, INRAE, Université de Toulouse, INPT, 31326, Castanet, Tolosan, France

laurianne.canario@inrae.fr

Prédisposition génétique et expression des comportements liés à la morsure de queue en lien avec les caractéristiques de chaque porc

Le déterminisme de la morsure de queue est multifactoriel et complexe. La mesure corrective généralisée est la coupe partielle de queue, mais de nombreuses recommandations qui consistent à agir sur l'environnement de l'animal ont été émises afin de réduire cette pratique routinière. Pour progresser, il y a cependant une impérieuse nécessité à développer des recherches pour approfondir notre compréhension des facteurs internes en jeu. Cette synthèse s'intéresse aux facteurs physiologiques – l'état corporel, la sensibilité au stress, la santé et le microbiote - et génétiques, directs et indirects, qui interviennent en interaction avec l'environnement, sur l'expression de ces caractères anormaux. Ces facteurs interagissent pour façonner la prédisposition de chaque animal à mordre ou se faire mordre la queue. Les approches qui s'appuient sur de la prédiction, par l'étude des paramètres physiologiques, n'ont permis d'établir que peu de relations avec les comportements cibles. Des progrès doivent être réalisés sur la caractérisation des animaux, en particulier leur comportement, et de leur environnement physique et social pour mener des actions directes sur les phénotypes cibles. La solution génétique est insuffisamment exploitée pour réduire les morsures de queue, la variation phénotypique observée dépendant fortement d'effets génétiques indirects. L'acquisition de données individuelles en continu dans chaque groupe et dans de grandes populations sur plusieurs générations est cruciale pour pouvoir combiner les effets directs et dus aux interactions sociales. Des modèles analytiques qui tiennent compte de plusieurs facteurs internes à la fois, de leur évolution dans le temps, et de la composition du groupe d'individus sont maintenant disponibles et leur utilisation devrait contribuer à améliorer le bien-être des porcs élevés en groupe.

Genetic predisposition and expression of tail biting behaviour in relation to individual pig characteristics

Causes for tail biting are multifactorial and complex. The most common corrective measure is partial tail docking, but many recommendations have been made to reduce this routine practice by acting on the animal's environment. To make progress, however, there is a compelling need to develop research to deepen understanding of the internal factors involved. Therefore, this review focuses on the physiological factors - body condition, stress sensitivity, health and microbiota - and genetic factors that interact with the environment to determine the expression of these abnormal traits. These factors interact to shape each animal's predisposition to tail bite or to be tail bitten. Approaches that rely on prediction, through the study of physiological parameters, have found few relationships with the behaviours associated with tail biting. Progress must be made in characterising the animals, in particular their behaviour, and their physical and social environment in order to take direct action on the target phenotypes. The genetic solution is under exploited for reducing tail biting, the phenotypic variation observed being strongly dependent on indirect genetic effects. The acquisition of continuous individual data in each group and in large populations over several generations is crucial to combine direct effects and those due to social interactions. Analytical models that consider several internal factors at once, their dynamics, and the composition of the group of individuals are now available, and using them should help improve the welfare of pigs reared in groups.

INTRODUCTION

Les porcs interagissent fréquemment avec leurs congénères. Le comportement normal qui consiste à renifler et à mordiller doucement la queue des autres, peut se transformer en morsure de queue, ou caudophagie, qui constitue un comportement anormal (Schrøder-Petersen *et al.*, 2003). Il faut distinguer deux types de morsures de queue. En effet, celles-ci peuvent être accidentelles et non intentionnelles, mais elles peuvent également constituer une agression parfois sévère, avec des morsures multiples qui causent des blessures profondes si le congénère ciblé ne réagit pas. Dans la plupart des cas, ces comportements découlent d'une évaluation précise par l'animal de la situation dans laquelle il se trouve.

L'importance du phénomène de morsure de queue reste mal connue en France, et est encore peu quantifiée (Courboulay et Drouet, 2018). Entre 30 % et 70 % des élevages européens seraient concernés (EFSA, 2007), avec une prévalence de porcs sévèrement affectés par des blessures très variable selon les élevages. La prévalence qui est en moyenne de 1 à 5 % selon les études et peut monter jusqu'à 15% (Courboulay *et al.*, 2018) est probablement sous-estimée par manque d'outils de surveillance.

La solution généralisée pour lutter contre les morsures de queue est la coupe de queue qui divise par quatre le risque de morsure (FareWellDock, 2017). Depuis 1991, les textes réglementaires européens et nationaux précisent qu'avant de pratiquer une coupe de queue, tous les moyens pour essayer de prévenir la caudophagie doivent avoir préalablement été mis en œuvre, notamment en modifiant les conditions d'ambiance ou les types de conduite. En France, malgré l'apport de matériaux d'enrichissement, 95% des porcs avaient encore une queue coupée en 2018 (de Briyne *et al.*, 2018). Les bénéfices des modifications promues pour diminuer le risque de caudophagie dépendant du type d'élevage, un diagnostic des facteurs propres à chaque élevage doit être posé pour proposer des solutions adéquates (Niemi *et al.*, 2021).

Bien que la plupart des facteurs de risque évoqués pour les comportements associés à la caudophagie soient liés à l'absence d'enrichissement optimal et au type de logement (Henry *et al.*, 2021), le problème ne peut être résolu uniquement par des modifications de l'environnement. Les difficultés rencontrées pour réduire la prévalence de ce comportement nuisible résident principalement dans le fait que les causes sont multi-factorielles.

Du point de vue de l'individu, la réponse du porc à une situation dépend de ses gènes, on parle de prédisposition génétique, de son état interne et de sa perception de l'environnement à un moment donné. Ainsi, de nombreux comportements des porcs sont reproductibles et héréditaires (Rydhmer et Canario, 2022). Ils sont aussi modifiés par l'expérience et l'apprentissage (Gieling *et al.*, 2011), ce sont deux composantes qui affectent le porc dans sa décision d'interagir physiquement et de manière normale ou non avec ses congénères. Ces mécanismes sont complexes à décrypter.

Dans cette synthèse dans une première partie, nous décrivons les facteurs internes qui peuvent expliquer pourquoi les porcs passent d'un comportement normal à ce comportement anormal envers certains membres de leur groupe, en distinguant le statut des animaux comme victime ou mordeur, et lorsque cela a été possible, comme neutre ou mordeur occasionnel ou agressif. Nous mettons l'accent sur les facteurs génétiques dans les comportements associés aux morsures de

la queue. Les effets directs déterminent le potentiel d'un animal à mordre la queue ou à se faire mordre la queue et ils sont exprimés par chaque porc (Canario *et al.*, 2010, 2020). Les effets indirects font référence à l'influence d'un porc sur les comportements associés aux morsures de queue des autres porcs dans le groupe. Dans une seconde partie, nous expliquons quels travaux supplémentaires sont nécessaires pour améliorer nos connaissances sur les modalités d'apparition des différentes formes de morsures de queue. L'exploitation de ces données en sélection génétique est décrite dans la troisième partie.

1. AMELIORER LE COMPORTEMENT DES ANIMAUX

1.1. Améliorations directes

1.1.1. Définitions et considérations générales

Il existe trois différents types d'activité de morsure de queue : être une victime, être un mordeur et rester neutre, avec des motivations assez différentes et potentiellement, des facteurs de risque différents (Taylor *et al.*, 2010). Pour préciser davantage cette classification, il existe deux profils de mordeur : non agressif/occasionnel et agressif/obsessionnel. De même, il existe différents types de victimes. Le statut de la victime est apprécié avec l'analyse de la sévérité des lésions de la queue. Certains porcs réagissent en ripostant ou en évitant de nouvelles morsures, d'autres sont persécutés, et d'autres encore sont placides et se laissent mordre la queue et l'arrière-train sans réagir. Contrairement aux mordeurs et aux victimes, les porcs neutres ne sont pas impliqués dans les épisodes de morsures de queue, même si des morsures sont perpétrées sur des porcs qui les entourent (Brunberg *et al.*, 2011). Pour aborder la problématique dans son intégralité, il est important de caractériser chaque animal en détail, car certains porcs passent d'un profil à l'autre au fil du temps ou présentent le double profil de victime et de mordeur (Brunberg *et al.*, 2011 ; Zonderland *et al.*, 2011a ; Ursinus *et al.*, 2014a).

Les améliorations environnementales préconisées concernent l'apport de matériaux d'enrichissement optimaux et la réduction des sources potentielles de stress en lien par exemple avec le confort thermique, la qualité de l'air et de la lumière, la santé, l'alimentation et la propreté des cases (Commission européenne, 2017). Cela peut, entre autres, consister à réduire la densité d'animaux en diminuant leur nombre par case ou en augmentant la taille des cases. Parmi les solutions proposées actuellement figurent la socialisation précoce (Camerlink *et al.*, 2018) qui donne lieu à des mélanges anticipés pré-sevrage, et également la limitation des mélanges d'animaux. D'Eath *et al.* (2014) soulignent que si les épisodes commencent souvent par des changements notables dans l'environnement, il arrive parfois que ce ne soit pas le cas. Les déclenchements d'épisodes pourraient aussi dépendre d'un changement du seuil de réponse de l'animal ou de fluctuations dans sa réponse au stress, ce qui souligne à nouveau l'importance d'aborder le problème des morsures de queue du point de vue de chaque porc.

1.1.2. Caractéristiques physiques des individus mordeurs, mordus et neutres

L'âge et le sexe sont deux caractéristiques générales bien connues pour leur mise en cause dans la morsure de queue, mais pas toujours de manière cohérente entre les études (Canario et Larzul, 2022). Le risque accru de morsure de queue observé chez l'un ou l'autre sexe dépendrait notamment de la constitution des cases avec des sexes mélangés ou non, avec un

risque plus élevé chez les mâles en cas de mélange. La morsure de queue est principalement observée chez les porcs en croissance et en engraissement, mais il semble que dans certaines populations, le phénomène apparaît également dans la phase pré-sevrage (Hakanson et Bolhuis, 2021).

Il est de plus en plus reconnu que l'état corporel des animaux joue aussi un rôle clé. Des études ont souligné que les victimes de morsure ont une vitesse de croissance plus élevée (Hakansson et Houe 2020 ; Valros *et al.*, 2021), contrairement aux résultats présentés par Camerlink *et al.* (2012) et Sinisalo *et al.* (2012) qui observent une relation opposée. Une explication possible est que les porcs à croissance rapide qui deviennent des victimes peuvent finir par avoir une croissance réduite s'ils sont sévèrement mordus (Boyle *et al.*, 2022). A un âge plus tardif, Canario et Flatres-Grall (2018) n'ont observé aucune différence de croissance entre les truies mordues et non mordues. Il est toutefois très intéressant de noter que les truies mordues étaient plus maigres que les autres, comme précédemment souligné par Breuer *et al.* (2005). Pour ce qui est des mordeurs, Sambraus (1985) a observé que les porcs qui se livrent à de la morsure de queue sont les plus légers du groupe, mais cette observation n'a pas été confirmée par Breuer *et al.* (2005). De même, Van de Weerd *et al.* (2005) ont signalé que, bien qu'il n'y ait pas de différence de poids entre les porcs qui mordent occasionnellement et les témoins qui ne mordent pas, les porcs qui mordent de façon persistante sont effectivement plus légers, quel que soit leur âge. Les mordeurs fanatiques dont le poids est inférieur à la moyenne ont été décrits comme des porcs hyperactifs qui passent d'une queue à l'autre lors d'un épisode de morsures (Van de Weerd *et al.*, 2005). Zonderland *et al.* (2011b) ont également constaté que les porcs mordeurs en post-sevrage étaient plus légers que leurs victimes et les témoins (de 500 g en moyenne). Plusieurs raisons peuvent expliquer le poids inférieur des mordeurs. Il se peut qu'ils dépensent plus d'énergie parce qu'ils sont plus actifs (Van de Weerd *et al.*, 2005), ou qu'ils aient une croissance réduite en raison de causes internes telles que leur état de santé (Valros et Heinonen, 2015). Contrairement à tous ces résultats, Ursinus *et al.* (2014b) ont rapporté que les cochettes mordeuses avaient une croissance plus rapide. Valros *et al.* (2021) ont en outre observé que les porcs avec une vitesse de croissance élevée mordillaient plus d'autres porcs. Les porcs à croissance rapide qui sont plus susceptibles de se livrer à des morsures de queue sont certainement soumis à un stress plus important. Ces différences entre mordeurs et non-mordeurs relèvent peut-être d'un défaut de croissance qui surviendrait près du moment où s'exprime le comportement plutôt que tôt après la naissance (Van de Weerd *et al.*, 2005). Cela souligne l'importance de développer des outils pour un suivi plus fin de la cinétique de croissance des porcs. Les disparités de relation qui ont été établies entre études peuvent s'expliquer par des facteurs déterminants différents entre les populations, et par le fait que les études traitent dans les faits de différents types de morsures de queue.

Les porcs neutres sont peu caractérisés au-delà de leurs profils comportementaux et génétiques. Il semble raisonnable de supposer que leurs caractéristiques peuvent être diverses.

1.1.3. Comportements associés aux épisodes de morsures

L'importance d'une alimentation suffisante en qualité et en quantité, de même qu'un accès à des matériaux manipulables et comestibles a largement été documentée dans les études sur les morsures de queue (Henry *et al.*, 2021). La morsure de queue peut relever d'une tactique pour éloigner d'autres porcs

de la mangeoire lorsque l'accès est difficile (D'Eath *et al.*, 2014). De plus, la dénutrition pendant la lactation a été suggérée comme un facteur prédisposant au comportement de morsure chez les porcelets en post-sevrage, comme l'ont examiné Prunier *et al.* (2019). Le lien entre comportement alimentaire et morsure de queue est mal connu et la plupart des études tendent à montrer que des changements de comportement alimentaire peuvent servir de prédicteurs d'épisodes de morsure de queue. Par exemple, la réduction du temps passé à s'alimenter peut être un indicateur précoce (Wallenbeck *et al.*, 2010). De plus, les porcs victimes de morsure ont un nombre de visites plus élevé en situation stable, et ce nombre diminue fortement en cas d'épisode de morsure de queue (Wallenbeck et Keeling, 2013) alors qu'aucun changement de comportement alimentaire n'est observé chez les porcs neutres ou mordeurs.

Indépendamment, en lien avec la frustration de ne pas satisfaire ses besoins, on observe parfois chez le porc une réorientation de la recherche de nourriture et de l'exploration de l'environnement physique vers les congénères (Fraser, 1987 ; Taylor *et al.*, 2010). Le comportement exploratoire, très prononcé chez cette espèce, peut être utilisé comme un indicateur de l'adaptation du porc à son environnement. Les porcs non affectés par des perturbations dans leur environnement maintiennent ce comportement dans le cadre de leur activité globale. Néanmoins, Ursinus *et al.* (2014a) n'ont pas constaté de changement dans la fréquence du comportement exploratoire avant les événements de morsure de queue.

Le degré de sociabilité est aussi un paramètre important à prendre en compte. En général, la sociabilité est variable chez les porcs : certains recherchant davantage de contacts que d'autres, et le lien social s'intensifie par le léchage du corps des autres porcs. La forme non agressive de morsure de queue peut être facilitée dans les groupes où les contacts sociaux et les comportements dirigés vers d'autres porcs (par exemple, le nez sur le ventre, la queue dans la bouche, du mordillement) sont plus importants. Brunberg *et al.* (2013a, b) ont souligné que lorsqu'ils sont exposés à un risque, les porcs neutres ont moins de comportements dirigés vers d'autres porcs que les porcs dans des enclos sans mordeur. On peut émettre l'hypothèse qu'il existe un déficit d'attention à l'environnement chez les porcs neutres qui les rend moins sociaux et moins affectés par ce qui se passe autour d'eux. La peur est un autre trait de personnalité lié au fait de (se) mordre la queue, mais les conclusions ne sont pas cohérentes sur les quelques études menées sur le sujet (Zupan *et al.*, 2012 ; Ursinus *et al.*, 2014c).

1.2. Améliorations indirectes

C'est grâce à ces multiples facteurs internes en interaction que la susceptibilité à mordiller ou mordre la queue des congénères est établie. Ainsi, lorsqu'un porc se trouve dans une situation à risque - où il est soumis à un facteur de stress dans un contexte social facilitant - les informations qu'il a intégrées au niveau de son organisme (génétiques et non génétiques) se combinent pour déclencher la décision de mordre la queue d'un congénère. La maîtrise des facteurs de risque constitue la principale méthode de lutte contre la caudophagie à l'heure actuelle. Des facteurs liés à la santé, à la sensibilité au stress et à la composition du microbiote ont été identifiés et sont un peu étudiés. Dans cette partie, nous décrivons les effets connus de ces facteurs sur les déterminismes de l'état de mordeur et de mordu, au plan phénotypique. Selon le contexte environnemental et génétique, on peut s'attendre à ce que

certains soient plus importants que d'autres. Il convient donc d'entreprendre des études qui portent sur plusieurs de ces facteurs à la fois.

1.2.1. Santé des porcs

Le seuil auquel un porc réagit à son environnement physique et social peut varier lorsqu'il ressent la faim, la fatigue ou la maladie. En d'autres termes, un porc peut "simplement" perdre le contrôle. Veillez à préserver la santé des animaux est crucial pour diminuer les risques de morsure de queue (Boyle *et al.*, 2022). Une dégradation de la santé engendre non seulement une augmentation du stress mais aussi des processus physiologiques d'activation du système immunitaire. Cependant, les associations entre les morsures de queue et les maladies pourraient résulter de facteurs de risque partagés, même en l'absence de toute relation de cause à effet (Boyle *et al.*, 2022). Il est intéressant de noter que la maladie rend également les porcs moins réactifs de façon générale à la saisie de leur queue par d'autres membres du groupe, ce qui les expose à un risque accru de blessure (Munsterhjelm *et al.*, 2017).

1.2.2. Style d'adaptation et sensibilité au stress

Les mordeurs comme les victimes peuvent ne pas s'adapter à leur environnement qu'ils perçoivent comme insatisfaisant, pauvre ou peu sûr. L'image souvent utilisée pour illustrer la réponse d'un individu aux stress environnementaux est celle d'un verre en équilibre qui se remplit et finit par se renverser (Bracke *et al.*, 2018). La réponse individuelle pourrait alors se caractériser par un verre plus ou moins petit ou qui se remplit plus ou moins rapidement. La sensibilité au stress d'un porc doit donc toujours être appréciée au regard de l'environnement mais aussi des différentes expériences rencontrées au cours de son existence, potentiellement dès la phase prénatale. Le comportement de la queue dans la bouche, connu pour être un précurseur de la morsure de la queue, se développe à un jeune âge (Schrøder-Petersen *et al.*, 2003 ; Taylor *et al.*, 2010). Par conséquent, la lactation pourrait être une phase importante dans l'étiologie de ce comportement anormal. Les expériences de vie précoce peuvent avoir un impact sur la réponse au stress ultérieure.

Formellement, le style d'adaptation décrit la façon dont les porcs réagissent lorsqu'ils sont mis au défi (Koolhaas *et al.*, 2007). Les individus proactifs forment facilement des routines et expriment peu de flexibilité comportementale. À l'inverse, les individus réactifs sont plus flexibles, ce qui les rend plus réactifs aux stimuli environnementaux. L'effet du style d'adaptation sur l'activité de morsure de queue est médié par le degré d'enrichissement de l'environnement (Bolhuis *et al.*, 2005) à différentes étapes de la vie. Les porcs plus réactifs montrent plus de frustration dans un environnement pauvre (Jansen *et al.*, 2009). On peut supposer qu'ils se mordent davantage la queue en cas de manque ou de perte de matériel d'enrichissement. Cependant, Ursinus *et al.* (2014a) n'ont pas trouvé de lien entre le style d'adaptation et le fait de (se faire) mordre la queue.

Jensen *et al.* (2004) ont souligné que les animaux plus vulnérables au stress sont plus susceptibles de développer des comportements délétères. L'une des dimensions importantes dans la sensibilité et l'adaptation au stress des porcs est l'activité de l'axe corticotrope (Mormède et Terenina, 2012) qui peut être étudiée en surveillant les variations de concentration du cortisol. Valros *et al.* (2013) ont montré que les porcs mordus de façon chronique avaient une réponse du cortisol plus faible au stress aigu que les porcs non mordus. Cela peut avoir été

induit par le stress chronique causé par le fait d'être mordu, ou par toute infection persistante causée par le mordillement chronique de la queue. Les différences individuelles dans la capacité d'adaptation aux challenges imposés par un environnement de production peuvent conduire à un développement sous-optimal de l'activité de l'axe corticotrope dans des situations stressantes.

Les systèmes dopaminergique et sérotoninergique pourraient également être impliqués dans la morsure de la queue chez les porcs. Le premier a un rôle important dans le système de récompense et influence le comportement d'exploration et les réactions émotionnelles telles que la peur et l'anxiété, tandis que le second est impliqué dans de nombreuses fonctions physiologiques, notamment la température corporelle, l'appétit, le sommeil, la douleur, la motricité et la cognition. Les deux systèmes jouent un rôle majeur dans la capacité de l'animal à faire face à des conditions environnementales stressantes et à la frustration. La sérotonine du sang périphérique est plus faible chez les mordeurs que chez les victimes (Ursinus *et al.*, 2014c), mais on ne sait pas si ces différences dans le métabolisme de la sérotonine sont des conditions temporaires ou des différences stables entre les porcs qui sont enclins à se mordre la queue et ceux qui ont une moindre propension à le faire. Dans tous les cas, les différences dans le sang sont difficiles à interpréter car elles ne reflètent pas le métabolisme de l'ensemble du système.

1.2.3. Microbiote

Ces dernières années, la recherche sur le microbiote, en particulier dans l'intestin, a suscité un intérêt croissant car le microbiote intestinal peut interagir avec la physiologie de l'hôte et avoir un impact sur la santé et le bien-être des animaux (Kraimi *et al.*, 2019). Le microbiote intestinal pourrait donc jouer un rôle important dans le développement de comportements anormaux chez les porcs (Brunberg *et al.*, 2016). En particulier, il existe des différences dans la composition du microbiote intestinal entre les porcs mordeurs et victimes d'une part, et les porcs neutres d'autre part, avec une abondance relative de *Lactobacillus* (Rabhi *et al.*, 2020) ou de *Prevotella_7* (Verbeek *et al.*, 2021) plus importante chez les porcs neutres. Les porcs neutres ont également tendance à montrer des abondances relatives plus faibles de *Butyrivibrio* et *Family_XIII_AD3011* par rapport aux mordeurs et aux victimes. Au-delà de la composition du microbiote, il est important de considérer les effets bénéfiques des produits de fermentation microbienne, les acides gras à chaîne courte et surtout le butyrate, qui sont connus pour avoir un rôle sur la santé et la sensibilité au stress des animaux (Kobek-Kjeldager *et al.*, 2022). Jusqu'à présent le rôle de ces acides gras dans la caudophagie n'a cependant pas été spécifiquement démontré (Verbeek *et al.*, 2021). Les profils du microbiote intestinal sont contrôlés par des facteurs environnementaux, mais la génétique de l'hôte est connue pour les moduler. Une abondance élevée dans le microbiote intestinal de *Ruminococcus*, liée à de faibles niveaux de cortisol, pourrait avoir un lien avec la gestion du stress et le développement de comportements anormaux (Mudd *et al.*, 2017). Pour l'instant, nous disposons de preuves encore limitées de l'impact direct ou indirect du microbiote intestinal sur le développement des morsures de queue, mais les résultats des premières études sont prometteurs. Ainsi, les interactions entre le microbiote intestinal, les comportements anormaux mais aussi avec l'axe corticotrope et le système sérotoninergique (cf 1.2.2) restent à explorer dans des études expérimentales sur des porcs mordeurs, mordus et neutres.

1.2.4. Les effets génétiques indirects

Le déterminisme génétique des comportements de morsure de queue a été estimé dans quelques études et semble varier d'une race à l'autre. Breuer *et al.* (2005) ont constaté que l'activité de morsure de queue était faiblement héritable dans la race Landrace ($h^2 = 0,27$) alors qu'elle n'était pas du tout héritable dans la population Large White étudiée ($h^2 = 0$). L'héritabilité de la présence de lésions à la queue a été estimée à 0,23 par Aikins-Wilson *et al.* (2021) en utilisant des mesures répétées et divers croisements, et à seulement 0,06 dans une lignée maternelle sino-européenne (Canario et Flatres-Grall, 2018). Les différences historiques dans l'élaboration des schémas de sélection peuvent expliquer pourquoi les lignées diffèrent dans le mordillement de la queue en fonction de l'augmentation de la maigreur et/ou de la vitesse de croissance. Plusieurs études soulignent que le fait de se mordre la queue et d'autres comportements anormaux sont défavorablement corrélés à la maigreur au niveau génétique (Breuer *et al.*, 2005 ; Silano *et al.*, 2012 ; Brunberg *et al.*, 2013a ; Canario et Flatres-Grall, 2018). Par conséquent, on peut supposer qu'un pool commun ou des pools partagés de gènes sous-tendent les deux catégories de caractères. Mais rien ne prouve clairement que le fait de se mordre la queue est plus fréquent dans les populations modernes hautement sélectionnées que dans leurs homologues anciennes. Notons que l'héritabilité de la longueur de la queue à la naissance est modérée ($h^2 = 0,42$), ce qui indique la possibilité de sélectionner des queues courtes, mais en raison d'une corrélation génétique positive modérée (0,40), il pourrait en découler une moindre croissance des porcs (Aikins-Wilson *et al.*, 2021).

La faible variance génétique directe mise en évidence soulève des questions sur les variations dans l'expression et la régulation des gènes de l'individu qui sous-tendent ces comportements anormaux. Il faut également garder à l'esprit que tous les individus génétiquement prédisposés à mordre la queue ou à être mordus n'exprimeront pas forcément ce comportement au cours de leur vie si la situation environnementale ne s'y prête pas.

Les congénères avec lesquels un porc interagit socialement constituent une partie très importante de son environnement. Le fait qu'un porc exprime un comportement de mordeur ou de victime à un moment donné dépend à la fois de lui-même et des autres membres du groupe. Chaque individu prend des décisions, en partie en réponse au groupe qui l'entoure, et à son tour, il est capable d'influencer le comportement des autres membres du groupe. Un porc peut influencer les caractères des porcs qui l'entourent, soit de manière coercitive en prenant des ressources que d'autres auraient utilisées, soit de manière consensuelle en partageant des ressources (par exemple, de la nourriture, des matériaux d'enrichissement). Lorsque la capacité d'influencer les autres socialement est elle-même héritée, le génotype d'un individu affecte les caractères des autres porcs, en d'autres termes les phénotypes des autres membres du groupe (Moore *et al.*, 1997 ; Canario *et al.*, 2010, 2020). On parle d'effets génétiques indirects. Si le caractère d'intérêt est le comportement qui consiste à mordre, par opposition à l'effet génétique direct, les effets génétiques indirects sont les effets du génotype du porc étudié sur l'activité de mordre de ses congénères. Dans les études décrivant la présence de lésions de la queue, qui reflète le fait d'avoir été mordu, l'effet indirect décrit le fait de causer des lésions de la queue aux membres du groupe, ce qui, pour certains individus, reflètera le fait d'avoir mordu d'autres porcs. La comparaison

de l'héritabilité classique au rapport entre la variance héritable totale et la variance phénotypique totale, qui respectivement ne tiennent pas et tiennent compte de la variation dite indirecte, a permis d'identifier d'importants effets génétiques indirects (sociaux) sur les cochettes qui se font mordre la queue (Canario et Flatres-Grall, 2018). Ces effets expliquent une bien plus grande part de la variation observée de ce caractère que les effets directs. Par conséquent, les interactions avec les autres membres du groupe jouent un rôle majeur dans le fait de se faire mordre la queue, tant au niveau non génétique que génétique.

2. NOUVELLES MESURES ET LEUR UTILISATION

2.1. Enregistrement de nouvelles mesures clé

Le suivi individuel des comportements de morsure de queue est le facteur clé pour progresser dans la compréhension des mécanismes impliqués, dans des systèmes de production où la coupe de queue n'est pas généralisée. Les données individuelles sont récoltées sur un intervalle de temps court, soit sur l'élevage, soit à l'abattoir, en comptabilisant les lésions observées sur la queue. Cette démarche ne donne qu'une vision parcellaire en permettant d'identifier certaines victimes. Identifier et caractériser les porcs neutres qui se tiennent à l'écart des interactions qui conduisent à la morsure de queue serait également une grande avancée. Rappelons que les comportements associés aux morsures de queue sont liés à l'expérience antérieure au sein du groupe et aux expériences encourues aux stades de développement précédents, avec des effets importants suspectés d'être présents dans la phase précoce du développement, notamment l'exposition au stress. Il est donc essentiel de générer des enregistrements individuels de façon longitudinale, à différents stades de la vie de l'animal.

L'enregistrement du comportement de chaque individu dans un groupe est compliqué si le comportement est peu fréquent et de courte durée, en particulier lorsque de nombreux porcs peuvent interagir les uns avec les autres. Les capacités d'observation visuelle par l'humain sont évidemment limitées, et l'enregistrement ponctuel du comportement et des mesures indirectes pertinentes telles que les dommages à la queue prennent du temps, d'autant plus que les blessures doivent être finement caractérisées. En effet, la prévalence des morsures graves de la queue peut être faible, de l'ordre de 3 %, alors que celle des morsures légères peut atteindre 72 % (van Staaveren *et al.*, 2017). L'enregistrement fin des lésions de la queue peut être facilité par l'analyse d'images (Brünger *et al.*, 2019).

Des développements technologiques en analyse d'images par des méthodes d'intelligence artificielle sont attendus pour permettre un suivi automatique de l'activité des porcs de façon individuelle. L'enregistrement automatisé vers un suivi simultané des individus et l'identification des interactions sociales par paire d'individus serait un progrès crucial pour identifier les morsures de queue (Liu *et al.*, 2020). Les projets qui étudient le potentiel de la détection automatisée de l'activité des porcs et des morsures de queue utilisent l'analyse vidéo 2D pour établir la proximité des individus (Liu *et al.*, 2020) et l'analyse 3D pour observer la posture et les mouvements de queue (D'Eath *et al.*, 2018, 2021). Les algorithmes capables de détecter les agressions pourraient aider à détecter les morsures agressives de la queue (Liu *et al.*, 2020). Pour l'instant, l'analyse vidéo ne parvient pas à détecter les comportements subtils de préhension et de morsure de queue. Un tel suivi pourrait être décisif pour comprendre pourquoi un porc se fait mordre la

queue par un congénère. L'identification du mordeur présente un intérêt considérable lorsqu'il s'agit de sélectionner contre ce comportement. En outre, les paramètres de l'environnement doivent être enregistrés régulièrement. Des enregistrements longitudinaux couvrant la totalité de la vie de l'animal sont nécessaires si nous voulons prendre en compte les conditions d'élevage antérieures et les expériences sociales passées. L'étude du comportement nuisible à un stade spécifique de la vie, avec de multiples enregistrements obtenus avant et après l'événement, permettra d'améliorer la classification des porcs en différentes catégories, par exemple, mordeur unique ou mordeur fanatique (Canario *et al.*, 2020). Enfin, des observations multiples d'un individu nous permettraient d'étudier les changements d'état de manière dynamique - par exemple, analyser la transition entre le moment où un porc n'a pas de morsure et le moment où il en a (Ursinus *et al.*, 2014a).

En comprenant la base physiologique du mordillement de queue, il sera possible également d'identifier des biomarqueurs utilisables à grande échelle. Il s'agira de mieux caractériser les mécanismes d'adaptation des porcs à un environnement stressant. De ce point de vue, les possibilités offertes par l'ensemble des technologies « omiques », qui vont de la génomique à la métabolomique en passant par la transcriptomique et la protéomique sont à prendre en considération (Kasper *et al.*, 2020). Des échantillons biologiques sur chaque individu peuvent fournir des informations sur les microbiotes pour comprendre les interactions entre un porc et son environnement.

2.2. Utilisation des mesures

2.2.1. Mieux quantifier les effets des facteurs de risque

Pour décrypter les mécanismes de la morsure de queue, la première étape consiste à caractériser finement et à enregistrer les différentes formes de comportement de morsure de queue dans de grandes populations à l'échelle de l'individu, afin de distinguer les cas compulsifs des cas ponctuels. Les données comportementales seront plus significatives si elles sont agrégées et liées aux caractéristiques intrinsèques et des environnements physiques et sociaux de l'individu à différents moments de sa vie.

C'est grâce à des interactions entre les multiples facteurs internes que la susceptibilité au mordillement de queue est établie. Lorsqu'un porc se trouve dans une situation à risque - où il est soumis à un facteur de stress et en fonction de la situation sociale (avec d'autres porcs réagissant avant lui ou ne le faisant pas) - les informations qu'il a intégrées au niveau de son organisme (génétiques et non génétiques) se combinent pour déclencher la décision de l'expression (ou non) d'un comportement en lien avec la morsure de queue.

Le recours à des évaluations du bien-être par des auditeurs externes, et à des mesures au niveau du groupe acquises grâce à des outils spécifiques seront le seul moyen d'éviter de sous-estimer le phénomène en élevage.

2.2.2. Mieux estimer la contribution de la génétique au déterminisme du caractère

Pour une estimation précise de la part du caractère qui dépend des gènes, il est important de tenir compte des sources de variation clé pour ces comportements et des possibles interactions avec l'environnement et d'utiliser des modèles d'analyse optimisés pour traiter la problématique. Lorsqu'un modèle direct est appliqué à des caractères qui dépendent d'interactions sociales, la variation héritable supplémentaire

qui est attribuable aux effets génétiques indirects est partiellement cachée dans les résidus et dans d'autres variances telles que l'effet de groupe (non génétique) qui tient compte de l'identité du groupe dans lequel le porc étudié est élevé. Il a été démontré que les modèles qui intègrent à la fois des sources directes et indirectes de variation génétique capturent mieux et avec plus de précision la variation génétique (Ellen *et al.*, 2014 ; Canario *et al.*, 2017).

Des éléments clés liés à la zootechnie

Il est essentiel d'avoir des informations sur les animaux qui ont été logés ensemble dans un enclos. Un effet de groupe aléatoire qui représente l'identité du groupe doit être inclus dans le modèle si l'on veut estimer correctement les effets indirects. Si un animal (par exemple, un porc blessé) est retiré du groupe, il faut l'enregistrer avec la date. Dans la pratique, il arrive souvent que le retrait ne soit pas enregistré. L'utilisation de boucles électroniques pour suivre les animaux lorsqu'ils sont déplacés dans les différents enclos ou bâtiments a été testée dans des troupeaux expérimentaux. Son extension aux troupeaux commerciaux facilitera l'enregistrement des mouvements des animaux. Chaque enclos possède un micro-environnement spécifique qui peut contribuer à un comportement nuisible (ventilation, etc.). L'enregistrement de l'identité de l'enclos aidera à distinguer les effets causés par les autres membres du groupe de ceux causés par l'environnement physique. Les phénotypes intrinsèques tels que les états liés à la croissance, et les facteurs extrinsèques comme le système d'alimentation, doivent être enregistrés si l'on veut contextualiser et analyser correctement les comportements. La façon dont les étapes précédentes de la vie de l'animal peuvent influencer ces comportements devient une question clé. L'enregistrement répété de l'identité des groupes donne accès à la composition des groupes en fonction du mélange précédent, un déterminant clé des interactions sociales dans le groupe. Le mordillement de queue se construit à travers la physiologie (stress, motivation) et les capacités cognitives, d'adaptation et sociales du porc qui évoluent tout au long de sa vie. En particulier, l'environnement en début de vie module l'ensemble du développement d'un porc. Canario *et al.* (2017) ont montré que les porcelets élevés dans la même portée développent des compétences sociales communes, qui génèrent des effets sociaux précoces qui peuvent avoir une forte influence par la suite sur les congénères, via des effets indirects perçus jusqu'au stade adulte.

Les interactions génétique-environnement

Les pratiques de gestion liées à l'alimentation, la stratégie de regroupement, l'espace disponible, le climat et l'enrichissement sont autant de facteurs de risque qui interagissent avec les facteurs internes (notamment génétiques). Les différences entre les porcs dans leur propension à mordre la queue des autres et/ou à être mordus pourraient être liées à une plus grande sensibilité de certains individus à un facteur de risque de l'environnement. Ces interactions sont des interactions génotype-environnement (GxE). Elles font référence à la variation de la performance relative des génotypes entre les environnements ou en réponse à un changement dans l'environnement. Deux génotypes avec le même niveau de morsure de queue dans un environnement peuvent avoir des niveaux différents dans un autre environnement. Cela conduit à l'estimation de paramètres génétiques différents, entre des populations, ou entre élevages, quand la population est élevée dans des conditions environnementales qui diffèrent (Canario *et al.*, 2020). Il est possible de décrire l'environnement comme

un gradient et d'examiner par exemple le temps passé par les porcs à manipuler de la paille pour calculer le point limite auquel un apport supplémentaire de paille n'affecte pas la morsure de queue pour un génotype donné (Bodin *et al.*, 2015). Les gradients environnementaux peuvent être tirés de facteurs qui influencent le contexte social comme la taille du groupe, l'espace disponible. Pour tenir compte de GxE dans les analyses, les données sur une lignée génétique ou une race doivent être collectées dans au moins deux élevages ou dans des conditions différentes.

Les mécanismes conduisant à une modification de la morsure de queue en fonction de la taille du groupe agiraient différemment d'un cas d'interactions lié à l'agressivité entre porcs, où l'on soupçonne une diminution des interactions dans les grands groupes, assimilable à une dilution (Canario *et al.*, 2017). Les analyses indiquent que les GxE des morsures de queue évoluent plutôt par un mécanisme de contagion, sans dilution (L Canario, comm. pers.). Le GxE présumé signifie que la prédisposition génétique à mordre ou à être mordu s'exprime ou non en fonction de l'environnement. Ainsi, le choix du génotype ou de la race à utiliser dans un environnement doit être fait avec prudence, afin qu'il/elle soit adapté(e) à celui-ci.

2.2.3. Repenser les dynamiques de groupe par l'analyse des réseaux sociaux

L'analyse des réseaux sociaux qui quantifie la position des individus dans un contexte social et le flux d'informations au sein du réseau permet de définir de nouveaux phénotypes d'interactions sociales plus intégratifs. L'analyse des réseaux sociaux, comme illustré sur la figure 1, suppose en effet que les individus sont interdépendants, que les interactions deux à deux ne se font pas isolément du reste du groupe. Le principal avantage est de quantifier la position relative des individus (Goh, 2002).

À cet égard, l'analyse des réseaux sociaux semble être une méthode adéquate pour décrire la structure des relations sociales dans un groupe de porcs, et analyser les comportements préjudiciables chez les porcs, y compris les morsures de la queue (Kleinhappel *et al.*, 2016). Comprendre l'évolution des interactions sociales dans le temps pourrait aider à identifier la manière dont les comportements anormaux se propagent. L'objectif principal serait d'identifier les mordeurs et les victimes, d'expliquer comment ces rôles sont associés à la position dans le réseau et d'identifier les acteurs-clés. Les réseaux sociaux permettent d'associer à chaque individu des coefficients, appelés coefficients de centralité. Ces coefficients peuvent ensuite être utilisés comme nouveaux caractères plus pertinents pour décrire les comportements anormaux qu'une simple classification en mordeur/victime/neutre (Fisher et McAdam, 2017). Li *et al.* (2017), en appliquant ce type d'analyse sur des groupes de porcs, ont mis en évidence que des animaux familialement plus proches avaient des comportements de morsure plus fréquents entre eux, comparés à des individus familialement plus distants. Les informations requises pour créer des liens dans un réseau peuvent être obtenues via des observations directes du comportement des porcs (Løvendahl *et al.*, 2005), mais dans le cas d'un comportement à basse fréquence, cette méthode peut rapidement devenir fastidieuse et imprécise. Au-delà de leur utilisation comme nouveaux caractères, les paramètres sociaux peuvent aussi être utilisés pour pondérer les effets génétiques indirects (IGE) (Fisher et McAdam, 2017).

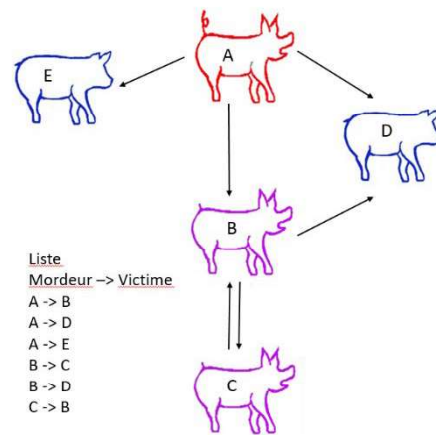


Figure 1 – Schéma d'analyse des réseaux sociaux appliqués à l'analyse des morsures de queue (repris de Canario *et al.*, 2020, rouge : mordeur, bleu : victime, violet : mordeur et victime)

2.2.4. Modéliser les interactions sociales

Cette partie traite de la modélisation des interactions sociales entre les individus, qui sont en lien avec la morsure de queue.

Les méthodes d'analyses génétiques ont été développées à partir de modèles avec un seul effet génétique (l'effet direct du génotype de l'individu sur son comportement) à des modèles avec deux effets génétiques, c'est-à-dire l'effet direct de l'individu et un effet social décrivant l'influence génétique de l'individu sur les caractéristiques des autres membres du groupe (performance, comportement). Le modèle avec IGE proposé par Griffing (1967) et Moore *et al.* (1997) a été amélioré pour obtenir des estimations de la valeur génétique directe et de la valeur génétique indirecte de chaque individu du groupe (Bijma *et al.*, 2007). Le modèle avec un seul effet génétique (l'effet direct) est adapté à l'étude du comportement de l'individu cible (par exemple, un mordeur), tandis que le modèle incluant à la fois des effets directs et des effets indirects est adapté à l'étude des caractères qui sont affectés par l'interaction sociale entre les individus. Les études qui utilisent le modèle avec IGE ont principalement ciblé les caractères de performance tels que le taux de croissance (par exemple, Canario *et al.*, 2017), l'hypothèse étant que l'interaction sociale entre les membres du groupe façonne la performance individuelle. Le modèle social a également été appliqué à des caractères de santé (Lipschutz-Powell *et al.*, 2012) et aux blessures à la queue, l'effet direct étant lié à la victime et l'effet indirect aux autres membres du groupe en tant que mordeurs potentiels (Canario et Flatres-Grall, 2018). S'il est appliqué à un comportement, l'effet direct se réfère à l'individu qui manifeste le comportement et l'effet indirect se réfère aux individus qui reçoivent le comportement. Le modèle à effets indirects se traduit par des valeurs génétiques pour la capacité d'un porc à influencer les performances ou le comportement des autres membres du groupe, mais il ne décrit pas les différences de force ou de type d'interactions entre les paires de porcs au sein du groupe. De manière simplifiée, le même modèle est applicable sans prise en compte de structure génétique pour une étude purement phénotypique des interactions sociales.

En combinant les modèles génétiques qui exploitent le degré d'apparentement entre congénères, notamment le modèle qui inclut à la fois des effets directs et indirects, avec les analyses sur les interactions comportementales entre individus, il sera possible d'analyser plus précisément le déterminisme des caractères affectés par les interactions sociales entre individus.

D'autres méthodes statistiques dédiées pour mieux modéliser ces comportements peu fréquents et sporadiques, et prédire qui sont, au sein d'un groupe, les victimes et les agresseurs ont été mises au point (Canario *et al.*, 2020). Il est notamment illusoire de croire que l'intelligence artificielle permettra un phénotypage parfait et sans erreur. L'analyse de capture-recapture permet de surmonter les obstacles liés aux données manquantes sur l'identité des agresseurs et des victimes en prédisant des valeurs non observées, par le calcul de probabilités.

Le mordillement de queue présente des similitudes avec la propagation de maladie infectieuse (Bracke *et al.*, 2018), car le

nombre de mordeurs augmente rapidement après qu'un animal ait commencé à mordre (Figure 2). La vulnérabilité d'un individu à se faire mordre la queue est analogue à la maladie, et sa propension à mordre un autre porc est analogue à l'infectiosité. Et comme les comportements liés à la morsure de queue évoluent avec le temps, un modèle de contagion longitudinal inspiré des modèles épidémiologiques et d'analyses de survie pour suivre les changements d'états entre victime et agresseur dans le temps a aussi été proposé (Canario *et al.*, 2020). La combinaison de ce modèle longitudinal de contagiosité avec le modèle à effets indirects devrait permettre de mieux estimer les valeurs génétiques directes et indirectes associées à la morsure de queue.

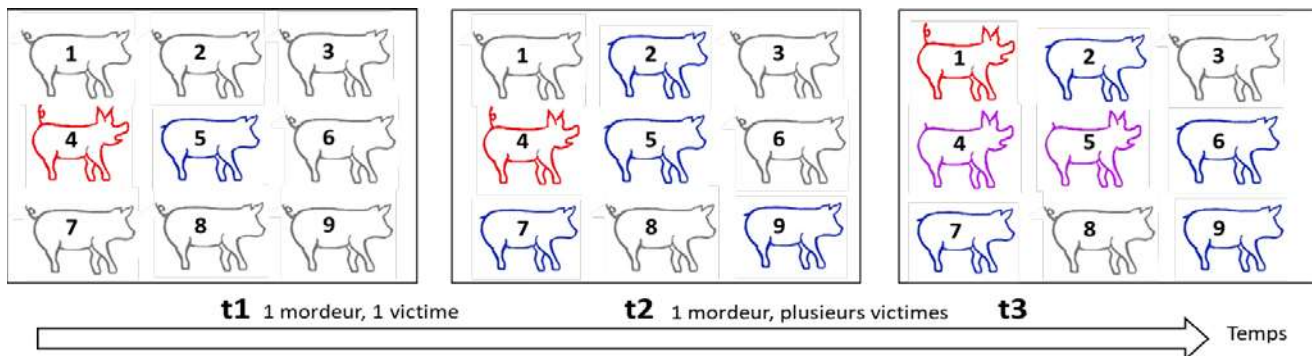


Figure 2 – Illustration de la dynamique de propagation des comportements de morsure de queue au sein du groupe (repris de Canario *et al.*, 2020 ; gris : porc indemne, rouge : mordeur, bleu : victime, violet : mordeur et victime)

3. PERSPECTIVES DE SELECTION GENETIQUE

3.1. Caractères à prendre en compte dans les schémas d'amélioration

Il s'agit de conserver dans les populations les porcs qui ne mordent pas leurs congénères ou bien qui le font de manière non compulsive, et qui ne se laissent pas faire non plus. Des différences entre races dans la tendance à mordre la queue ont parfois été signalées sans qu'il soit possible de conclure sur les types génétiques les plus à risque sachant que la race ou le croisement qui présente de la morsure de queue varie d'une étude à l'autre (Westin, 2000 ; Breuer *et al.*, 2003 ; Sinisalo *et al.*, 2012). Certaines études montrent même une absence d'effet du type génétique (Lund et Simonsen, 2000 ; Guy *et al.*, 2002). Peu d'études se sont expérimentalement penchées sur l'effet de la race. L'absence de résultat ne nous permet cependant pas de rejeter totalement l'hypothèse de différence entre races vis-à-vis des comportements de morsures de queue.

Pour permettre une sélection sur des caractères de comportement, il est impératif d'associer précisément les enregistrements comportementaux à l'identité de chaque individu, ce qui reste un véritable défi pour les mesures enregistrées et analysées de manière automatique. S'il est résolu, nous serons potentiellement en mesure d'obtenir de grandes quantités de données comportementales, de définir des phénotypes informatifs (par exemple, la position centrale d'un porc dans un réseau plutôt que la simple somme de ses interactions dyadiques) et de tenir compte des effets directs et indirects. La combinaison de méthodes, telles que l'identification par radiofréquence (RFID) à la mangeoire et le suivi de l'identité par vidéo, peut améliorer la faisabilité et la précision de l'identification individuelle. Des analyses multidimensionnelles permettront de définir les caractères à utiliser. A titre d'exemples simples, pour identifier les mordeurs,

le comportement sera la seule information, pour les victimes, on pourra se référer au comportement de fuite ou utiliser les blessures comme proxy.

En ce qui concerne les autres facteurs intrinsèques aux porcs, le comportement exploratoire varie selon les individus et devrait être en partie sous contrôle génétique (Breuer *et al.*, 2003). La réponse au stress, mesurée par les niveaux de cortisol, est également héritable. Il sera judicieux de regarder l'influence d'éléments explicatifs, soit par leur prise en compte dans les modèles (adiposité, longueur de queue), soit par des analyses multi-caractères.

Tout comme les effets génétiques indirects pour les morsures de queue, les IGE pour la croissance font référence à l'influence du génotype du porc étudié sur la croissance des autres membres du groupe. Dans une expérience de sélection sur une génération, Camerlink *et al.* (2015) ont analysé les comportements de morsure au sein de groupes sélectionnés pour des IGE soit faibles soit élevés pour la croissance, dans deux environnements contrastés, soit logés dans des enclos conventionnels, soit dans des enclos enrichis de paille et de copeaux de bois. Les dommages à la queue et les morsures, qui étaient beaucoup moins fréquents dans les enclos enrichis, ont été affectés de manière presque égale par les conditions de logement dans les deux groupes génétiques (contenant des porcs avec des effets génétiques indirects faibles ou élevés pour la croissance). Les groupes de porcs avec des IGE plus élevés, c'est-à-dire des porcs qui favorisent la croissance de leurs congénères, présentaient les niveaux les plus bas de comportement en lien avec la morsure de queue dans les enclos enrichis. Les porcs avec des IGE plus faibles ont montré un niveau plus élevé de morsures de queue dans les enclos conventionnels tandis que dans les enclos enrichis, ils ont montré un comportement moins dommageable que les porcs en enclos conventionnels. Même si la relation n'est pas nécessairement réversible, l'analyse multi-caractère du

comportement de morsure de queue, de la croissance et de l'état d'engraissement mérite d'être entreprise pour définir l'impact global de la prise en compte de caractères en lien avec la morsure de queue dans les objectifs de sélection.

3.2. Plusieurs méthodes de sélection possibles

Pour enrayer une possible propagation de la caudophagie au sein des groupes, les éleveurs se doivent d'être vigilants et d'intervenir dès qu'un comportement anormal est constaté. Les outils d'aide à la décision qui pourraient voir le jour en lien avec des alertes sur le comportement alimentaire et prochainement les interactions seront très utiles. Mais nous avons souligné que l'isolement des animaux problématiques n'est pas toujours une solution. Par conséquent, il convient de travailler sur l'amélioration génétique des populations, et de combiner des efforts de sélection phénotypique et de sélection génétique. Il s'agit de choisir des reproducteurs (génétiquement) prédisposés à ne pas réaliser ou subir ces comportements délétères, de réduire la fréquence des individus de type mordeur ou victime au sein des populations. Notons que l'amélioration génétique bénéficierait de la détection précoce d'individus qui présentent le risque d'exprimer des comportements liés à la morsure de queue. Comme mentionné précédemment, les héritabilités des comportements de morsures, mordeur ou receveur, sont faibles, voire très faibles. En l'état actuel des connaissances, une sélection directe sur les lésions de queue, observées en élevage ou à l'abattoir, offrirait une amélioration très limitée sur le comportement des animaux. Les premières études sur les porcs en engraissement n'ont par ailleurs montré aucune interaction entre le génotype et l'environnement pour les morsures de queue, qu'elles soient de nature agressive ou non agressives (Hill *et al.*, 1998 ; Guy *et al.*, 2002). Il est donc nécessaire de proposer d'autres approches pour contre-sélectionner les mordeurs et les victimes.

3.2.1. Sélection en tenant compte des IGE

La prise en compte des IGE apparaît essentielle. Pour les cochettes victimes de morsure(s) de queue, de larges effets génétiques indirects ont été détectés, qui contribuent à 81-93 % de la variance héritable totale. Ces effets représentent entre 40 et 80 % de la variation phénotypique alors que les effets directs n'expliquent que 6 % de cette variation (Canario et Flatres-Grall, 2018). Faute d'enregistrement, aucune étude avec les IGE n'a été entreprise pour le moment pour analyser le comportement des porcs mordeurs. A l'instar des résultats obtenus dans d'autres espèces, la contribution des IGE sur la variance du comportement de mordeur de queue est sans doute substantielle.

Dans l'analyse des morsures de queue (Canario et Flatres-Grall, 2018), la corrélation entre deux troupeaux (élevages) des classements des verrats fréquemment utilisés, en fonction de leurs effets génétiques directs et indirects, a indiqué un fort effet GxE pour la présence de morsures. Le GxE signifie que les conclusions des études génétiques doivent être établies avec précaution. Etant donné que la variabilité du comportement est influencée par des facteurs de l'environnement, un génotype peut être utilisé pour la production dans un environnement pour lequel il n'est pas adapté, ce qui peut réduire l'efficacité de la sélection. Il conviendrait de sélectionner la descendance des verrats qui présentent des effets génétiques directs et indirects stables et avantageux dans tous les environnements. Grâce à leur utilisation préférentielle, cela réduirait la proportion de cochettes avec une prédisposition génétique à laisser les autres membres du groupe leur mordre la queue. La caractérisation

physiologique des verrats et de leur progéniture, la sensibilité au stress et d'autres facteurs de risque tels que la maigreur et la composition du groupe devraient être étudiés pour confirmer si le même déterminisme est impliqué dans des troupeaux qui diffèrent par exemple, par leur conduite.

Comme point clé, Rydhmer et Canario (2022) ont expliqué en détail pourquoi la covariance génétique entre les effets directs et les effets indirects est importante pour comprendre le fonctionnement des populations. La corrélation est négative (défavorable) si les porcs sont en compétition pour des ressources limitées. Si la corrélation génétique est positive, il y a coopération. Des corrélations génétiques directes-indirectes nulles pour le statut de victime ont été trouvées dans la lignée sino-européenne Tai Zumu (Canario et Flatres-Grall, 2018). Par conséquent, les cochettes avec une prédisposition génétique forte à se faire mordre la queue n'avaient pas de plus grands IGE. Ainsi, la probabilité que d'autres cochettes de leur groupe se fassent mordre la queue n'augmenterait pas du fait d'une sélection directe contre les victimes de morsures de queue.

3.2.2. Prise en compte de l'information génomique et d'autres formes de transmission

Sur des caractères faiblement héritables, la sélection génomique peut apporter un gain de progrès génétique intéressant. Pour aller plus loin, il pourrait s'avérer utile d'identifier plus précisément soit des locus à effets quantitatifs (QTL), soit les polymorphismes des gènes d'intérêt pour améliorer la précision des valeurs génomiques. Peu de QTL ont été identifiés comme associés au comportement de morsure de queue (Wilson *et al.*, 2012), avec des régions différentes identifiées pour le comportement de mordeur et celui de receveur. Des études sur l'expression des gènes du cerveau suggèrent également que les mordeurs et les victimes ont plus en commun que les individus neutres (Brunberg *et al.*, 2013a, b). Pour progresser, il sera utile de proposer des démarches intégratives qui utilisent des phénotypes intermédiaires tels que les réponses physiologiques au stress (Kasper *et al.*, 2020) ou bien en tenant compte des connaissances génétiques des caractères anormaux dans d'autres espèces.

L'épigénétique et le microbiote fonctionnent certainement comme des interfaces entre le porc et son environnement, à travers lesquels son corps interprète et répond aux expériences stressantes. Au cours d'expériences négatives et positives, le porc apprend des interactions avec ses congénères (Held *et al.*, 2000), ce qui module sa capacité d'adaptation et vraisemblablement son implication dans le mordillement de la queue. Si les effets épigénétiques sur les gènes impliqués dans le mordillement de queue ou la susceptibilité au stress sont transmis de génération en génération, le traitement positif des porcelets par leur mère (dans les phases prénatale et postnatale) pourrait influencer la méthylation de leur ADN, de sorte que les allèles associés au mordillement de la queue soient inactivés. La deuxième étape consistera à déchiffrer et à quantifier les modes et les types de transmission de la susceptibilité des porcs à être impliqués dans des activités liées à la morsure de queue. L'hypothèse de base du déterminisme génétique est que la progéniture est la moyenne des valeurs génétiques de ses parents. Mais les différences entre les porcs peuvent également être transmises physiquement à leur progéniture de manière non génétique. Le modèle de transmissibilité (David *et al.*, 2019) permet d'estimer des coefficients de transmission différents de 0,5 pour prendre en compte les deux voies de transmission génétique et non génétique. Le raffinement du modèle en intégrant des

informations sur les marques épigénétiques et la composition du microbiote offre la possibilité de mieux comprendre les similitudes génétiques et non génétiques entre les individus, ce qui ouvre la voie à l'amélioration par sélection de caractères complexes comme la morsure de queue.

CONCLUSION

Les attentes des éleveurs de porcs sont fortes pour éradiquer la caudophagie de leurs troupeaux. Des progrès doivent être réalisés en ce qui concerne la caractérisation des animaux, y compris la mesure de leur comportement sur le long terme, de manière à saisir les événements sporadiques de morsure de queue. Des modèles analytiques pertinents sont disponibles.

L'enregistrement continu des données relatives aux animaux et à l'environnement (y compris le contexte social) et le développement d'analyses intégrées de grandes populations en tenant compte des facteurs internes à l'animal sont essentiels pour trouver des solutions pour réduire la prévalence des morsures de queue. La génétique peut apporter des solutions parce qu'elle façonne ces interactions sociales anormales entre congénères. Il est donc indispensable d'acquérir des données généalogiques pour tenir compte de la parenté entre individus qui sont élevés en groupe. Le progrès (génétique) sur ces caractères dépendra de l'accès à l'information complète sur la nature des agresseurs et des agressés. Cette synthèse a été adaptée pour partie d'un chapitre rédigé par les auteurs et publié dans le livre « Tail-biting in Pigs », édité par Keelin O'Driscoll et Anna Valros (2022).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aikins-Wilson S., Bohlouli M., König S., 2021. Maternal and direct genetic parameters for tail length, tail lesions, and growth traits in pigs. *J. Anim. Sci.*, 99, 1-11.
- Bijma P., Muir W.M., van Arendonk J.A.M., 2007. Multilevel selection 1: quantitative genetics of inheritance and response to selection. *Genetics*, 175, 277.
- Bodin L., Algers B., Andersson M., Olsson A. C., Botermans J., 2015. The amount of straw for growing-finishing pigs considering the reduction of time spent in manipulative behavior. *J. Vet. Sci.*, 1, 105.
- Bolhuis J.E., Schouten W.G., Schrama J.W., Wiegant V.M., 2005. Behavioural development of pigs with different coping characteristics in barren and substrate-enriched housing conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 93, 213-28.
- Boyle L.A., Edwards S.A., Bolhuis J.E., Pol F., Šemrov M.Z., Schütze S., Nordgreen J., Bozakova N., Sossidou E.N., Valros A., 2022. The evidence for a causal link between disease and damaging behavior in pigs. *Frontiers Vet. Sci.* 8, 771682.
- Bracke M.B.M., Rodenburg T.B., Vermeer H.M., van Nieker T.G.C.M., 2018. Towards a Common Conceptual Framework and Illustrative Model for Feather Pecking in Poultry and Tail Biting in Pigs—Connecting Science to Solutions. Available online at: <http://www.henhub.eu/wp-content/uploads/2018/02/Henhub-pap-models-mb-090218-for-pdf> (accessed June 27, 2020).
- Breuer K., Sutcliffe M.E.M., Mercer J.T., Rance K.A., Beattie V.E., Sneddon I.A., Edwards S.A., 2003. The effect of breed on the development of adverse social behaviours in pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 84, 59-74.
- Breuer K., Sutcliffe M.E.M., Mercer J.T., Rance K.A., O'Connell N.E., Sneddon I.A., Edwards S.A., 2005. Heritability of clinical tail-biting and its relation to performance traits. *Livest. Prod. Sci.*, 93, 87-94.
- De Briyne N., Berg C., Blaha T., Palzer A., Temple D., 2018. Phasing out pig tail docking in the EU—present state, challenges and possibilities. *Porc. Health Manag.*, 4, 27-27.
- Brunberg E., Wallenbeck A., Keeling, L.J. 2011. Tail biting in fattening pigs: associations between frequency of tail biting and other abnormal behaviours. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 133, 18-25.
- Brunberg E., Jensen P., Isaksson A., Keeling L.J. 2013a. Behavioural and Brain Gene Expression Profiling in Pigs during Tail Biting Outbreaks - Evidence of a Tail Biting Resistant Phenotype. *PLoS One*, 8, e66513.
- Brunberg E., Jensen P., Isaksson A., Keeling L.J., 2013b. Brain gene expression differences are associated with abnormal tail biting behavior in pigs. *Genes Brain Behav.*, 12, 275-281.
- Brunberg E.I., Rodenburg B.T., Rydhmer L., Kjaer J.B., Jensen P., Keeling L.J., 2016. Omnivores going astray: A review and new synthesis of abnormal behavior in pigs and laying hens. *Front. Vet. Sci.*, 3, 1-15.
- Camerlink I., Bijma P., Kemp B., Bolhuis J.E., 2012. Relationship between growth rate and oral manipulation, social nosing, and aggression in finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 142, 11-17.
- Camerlink I., Ursinus W.W., Bijma P., Kemp B., Bolhuis J.E., 2015. Indirect genetic effects for growth rate in domestic pigs alter aggressive and manipulative biting behaviour. *Behav. Gen.*, 45, 117-126.
- Camerlink I., Farish M., D'Eath R.B., Arnott G., Turner S.P., 2018. Long term benefits on social behaviour after early life socialization of piglets. *Anim.*, 8, 192.
- Canario L., Flatres-Grall L., 2018. Genetics of tail-biting receipt in gilts from the Tai Zumu line. *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 11, 572.
- Canario L., Larzul C., 2022. « Chapter 4 – Individual pig related factors, » in *Tail-Biting in Pigs (First Edition)*, eds. K. O'Driscoll, A. Valros (Wageningen Academic Press), en prep.
- Canario L., Rydhmer L., Roehle R., Lundeheim N., Lawrence A., Knol E., Bergsma R., Turner S. 2010. Compétition ou coopération pour la croissance: relations génétiques avec l'agressivité des porcs élevés en groupe. *Journées Rech. Porcine*, 42, 155-160.
- Canario L., Lundeheim N., Bijma P., 2017. The early-life environment of a pig shapes the phenotypes of its social partners in adulthood. *Heredity*, 118(6), 534-541.
- Canario L., Bijma P., David I., Camerlink I., Martin A., Rau W.M., Flatres-Grall L., van der Zande L., Turner S.P., Larzul C., Rydhmer L., 2020. Prospects for the analysis and reduction of damaging behaviour in group-housed livestock, with application to pig breeding. *Front. Gen.*, 11:611073.
- Commission européenne, 2017. Ne plus avoir besoin de couper la queue – brochure. 14p. doi: 10.2875/430499
- Courboulay V., Drouet A., 2018. Evaluation de la prévalence de caudophagie par la notation des carcasses en abattoir. *Journées Rech. Porcine*, 50, 333-334.
- David I., Canario L., Combes S., Demars J., 2019. Intergenerational transmission of characters through genetics, epigenetics, microbiota, and learning in livestock. *Front. Gen.*, 10, 1058.
- D'Eath R.B., Arnott G., Turner S.P., Jensen T., Lahrmann H.P., Busch M.E., Niemi J.K., Lawrence A.B., Sandøe P., 2014. Injurious tail biting in pigs: how can it be controlled in existing systems without tail docking? *Animal*, 8, 1479-1497.

- D'Eath R.B., Jack M., Futro A., Talbot D., Zhu Q., Barclay D., Baxter E.M., 2018. Automatic early warning of tail biting in pigs: 3D cameras can detect lowered tail posture before an outbreak. *PLoS one*, 13, e0194524.
- D'Eath R.B., Foister S., Jack M., Bowers N., Zhu Q., Barclay D., Baxter E.M., 2021. Changes in tail posture detected by a 3D machine vision system are associated with injury from damaging behaviours and ill health on commercial pig farms. *PLoS one*, 16, e0258895.
- Ellen E.D., Rodenburg T.B., Albers G.A., Bolhuis J.E., Camerlink I., Duijvesteijn N., Knol E.F., Muir W.M., Peeters K., Reimert I., Sell-Kubiak E., van Arendonk J.A., Visscher J., Bijma P., 2014. The prospects of selection for social genetic effects to improve welfare and productivity in livestock. *Front. Gen.*, 5, 377.
- EFSA, 2007. The risks associated with tail biting in pigs and possible means to reduce the need for tail docking considering the different housing and husbandry systems (question no. EFSA-Q-2006-013). Annex to the EFSA J., 611, 1–13.
- FareWellDock, 2017. Coupe et morsure de queue : quelle douleur ? <https://farewelldock.eu/info/factsheets/factsheets-french/>
- Fisher D.N., McAdam A.G., 2017. Social traits, social networks and evolutionary biology. *J. Evol. Biol.* 30, 2088–2103.
- Fraser D. 1987. Attraction to blood as a factor in tail-biting by pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 17, 61-68.
- Gieling E.T., Nordquist R.E., van der Staay F.J., 2011. Assessing learning and memory in pigs. *Animal Cognition*, 14, 151-173.
- Goh S.C., 2002. Managing effective knowledge transfer: an integrative framework and some practice implications. *J. Knowl. Manage.*, 6, 23–30.
- Griffing B., 1967. Selection in reference to biological groups. I. Individual and group selection applied to populations of unordered groups. *Aust. J. Biol. Sci.*, 20, 127–139.
- Guy J.H., Rowlinson P., Chadwick J.P., Ellis M., 2002. Behaviour of two genotypes of growing–finishing pig in three different housing systems. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 75, 193-206.
- Hakansson F., Bolhuis J.E., 2021. Tail-biting behaviour pre-weaning: association between other pig-directed and general behaviour in piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 241:105385.
- Hakansson F., Lahrmann H.P., Forkman P., 2020. A longitudinal study of pre- and post-weaning tail damage in non-docked pigs. *Animal*, 14, 2159-2166.
- Henry M.H., Jansen M., del Rocio Amezcua M., O'Sullivan T.L., Niel L., Shoveller A.K., Friendship R.M., 2021. Tail-Biting in Pigs: A Scoping Review. *Animals*, 11, 2002.
- Hill J.D., McGlone J.J., Fullwood S.D., Miller M.F., 1998. Environmental enrichment influences on pig behavior, performance and meat quality. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 57, 51–68.
- Jansen J., Bolhuis J.E., Schouten W.G., Spruijt B.M., Wiegant V.M., 2009. Spatial learning in pigs: effects of environmental enrichment and individual characteristics on behaviour and performance. *Animal Cognition*, 12, 303–15.
- Jensen T., Busch M., Riis A., Maribo H., Vernersen A., 2004. Halebid: Manual om forebyggelse og håndtering. Landsudvalget for Svin, Danske Slagterier. 21p.
- Kasper C., Ribeiro D., Almeida A.M., Larzul C., Liaubet L., Murani E., 2020. Omics Application in Animal Science—A Special Emphasis on Stress Response and Damaging Behaviour in Pigs. *Genes* 11, 920.
- Kleinhappel T.K., John E.A., Pike T.W., Wilkinson A., Burman, O.H.P., 2016. Animal welfare: a social networks perspective. *Sci. Prog.*, 99, 68–82.
- Kobek-Kjeldager C., Schönherz A.A., Lene C., Pedersen J., 2022. Diet and microbiota-gut-brain axis in relation to tail biting in pigs: A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 246, 105514.
- Koolhaas J.M., De Boer S.F., Buwalda B., van Reenen K., 2007. Individual variation in coping with stress: a multidimensional approach of ultimate and proximate mechanisms. *Brain Behav. Evol.*, 70, 218–226.
- Kraimi N., Dawkins M., Gebhardt-Henrich S.G., Velge P., Rychlik I., Volf J., Creach P., Smith A., Colles F., Leterrier C., 2019. Influence of the microbiota-gut-brain axis on behavior and welfare in farm animals: A review. *Physiology and Behavior*, 210, 112658.
- Li Y.Z., Zhang H.F., Johnston L.J., Martin W., Peterson J.D., Coetzee J.F., 2017. Effects of tail docking and tail biting on performance and welfare of growing-finishing pigs in a confinement housing system. *J. Anim. Sci.* 95, 4835-4845.
- Lipschutz-Powell D., Woolliams J. A., Bijma P., Doeschl-Wilson A.B., 2012. Indirect genetic effects and the spread of infectious disease: are we capturing the full heritable variation underlying disease prevalence? *PLoS ONE*, 7, e39551.
- Liu D., Oczak M., Maschat K., Baumgartner J., Pletzer B., He D., Nortin, T., 2020. A computer vision-based method for spatial-temporal action recognition of tail-biting behaviour in group-housed pigs. *Biosystems Engineering*, 195, 27-41.
- Lund A., Simonsen H.B., 2000. Aggression and stimulus-directed activities in two breeds of finishing pig. *The Pig J*, 45, 123-130.
- Moore A.J., Brodie E.D.Jr, Wolf J.B., 1997. Interacting phenotypes and the evolutionary process. I. Direct and indirect genetic effects of social interactions. *Evolution*, 51, 1352–1362.
- Mormede P, Terenina E., 2012. Molecular genetics of the adrenocortical axis and breeding for robustness. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 43(2), 116-31.
- Mudd A.T., Berding K., Wang M., Donovan S.M., Dilger R.N., 2017. Serum cortisol mediates the relationship between fecal Ruminococcus and brain N-acetylaspartate in the young pig. *Gut Microbes*, 8(6), 589-600.
- Munsterhjelm C., Nordgreen J., Aae F., Heinonen M., Olstad K., Aasmundstad T., Janczak A.M., Valros A., 2017. To be blamed or pitied? The effect of illness on social behavior, cytokine levels and feed intake in undocked boars. *Physiol. Behav.*, 179, 298–307.
- Niemi J.K., Edwards S.A., Papanastasiou D.K., Piette D., Stygar A.H., Wallenbeck A., Valros A., 2021. Cost-Effectiveness Analysis of Seven Measures to Reduce Tail Biting Lesions in Fattening Pigs. *Front. Vet. Sci.*, 8, 682330.
- Prunier A., Averos X., Dimitrov I., Edwards S., Hillmann E., Holinger M., Ilieski V., Leming R., Tallet C., Turner S., Zupan M., Camerlink I., 2019. Early life predisposing factors for biting in pigs. *Animal*, 14(3), 570-587.
- Rabhi N., Thibodeau A., Côté J.C., Devillers N., Laplante B., Fravalo P., Larivière-Gauthier G., Thériault W.P., Faucitano L., Beauchamp G., Quessy, S., 2020. Association Between Tail-Biting and Intestinal Microbiota Composition in Pigs. *Front. Vet. Sci.*, 7.
- Rydhmer L., Canario L., 2022. Behavioral Genetics in Pigs and Relations to Welfare. I In: *Genetics and the Behavior of Domestic Animals*, Third Edition, eds. T. Grandin & M.J. Deesing, San Diego: Academic Press, 397-434.
- Sambras H.H., 1985. Mouth-based anomalous syndromes. In *World animal science, A5, ethology of farm animals. A comprehensive study of the behavioural features of common farm animals*, eds. AF Fraser, pp. 391–422. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Schrøder-Petersen D.L., Simonsen H.B., Lawson L.G., 2003. Tail-in-mouth behaviour among weaner pigs in relation to age, gender and group composition regarding gender. *Acta Agric. Scand.*, 53, 29–34.
- Sinisalo A., Niemi J.K., Heinonen M., Valros A., 2012. Tail biting and production performance in fattening pigs. *Livest. Sci.* 143, 220-225.
- Taylor N.R., Main D.C.J., Mendl M., Edwards S.A., 2010. Tail-biting: A new perspective. *Vet. Journal*, 186(2), 137-147.
- Ursinus W.W., van Reenen C.G., Kemp B. Bolhuis J.E., 2014a. Tail biting behaviour and tail damage in pigs and the relationship with general behaviour: predicting the inevitable? *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 156, 22– 36.
- Ursinus W.W., van Reenen C.G., Reimert I. Bolhuis J.E., 2014c. Tail biting in pigs: blood serotonin and fearfulness as pieces of the puzzle? *PLoS ONE*, 9, e107040.

- Ursinus W.W., Wijnen H.J., Bartels A.C., Dijkstra N., van Reenen C.G., Bolhuis J.E., 2014b. Damaging biting behaviors in intensively kept rearing gilts: the effect of jute sacks and relations with production characteristics. *J. Anim. Sci.*, 92, 5193–5202.
- Valros A., Munsterhjelm C., Puolanne E., Ruusunen M., Heinonen M., Peltoniemi O.A.T., Reeta Pösö A., 2013. Physiological indicators of stress and meat and carcass characteristics in tail bitten slaughter pigs. *Acta Vet. Scand.*, 55, 75.
- Valros A., Heinonen M., 2015. Save the pig tail. *Porc. Health Manag.* 1, 2.
- Valros A., Salib V., Hällib O., Saarib S., Heinonen M., 2021. Does weight matter? Exploring links between birth weight, growth and pig-directed manipulative behaviour in growing-finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 245, 105506
- van de Weerd H., Docking C., Day J., Edwards S., 2005. The development of harmful social behaviour in pigs with intact tails and different enrichment backgrounds in two housing systems. *Anim. Sci.*, 80, 289298.
- van Staaveren N., Teixeira D.L., Hanlon A., Boyle L.A., 2017. Pig carcass tail lesions: the influence of record keeping through an advisory service and the relationship with farm performance parameters. *Animal*, 11, 140–146.
- Verbeek E., Keeling L., Lanberg L., Lindberg J.E., Dicksved J., 2021. The gut microbiota and microbial metabolites are associated with tail biting in pigs. *Scientific reports* 11, 20547.
- Wallenbeck A., Keeling L.J., 2013. Using data from electronic feeders on visit frequency and feed consumption to indicate tail biting outbreaks in commercial pig production. *J. Anim. Sci.*, 91, 2879-84.
- Wallenbeck A., Larsen A., Holmgren N., Keeling L.J., 2010. Predicting tail biting outbreaks among growing-finishing pigs under commercial conditions. The 44th Congress of the International Society for Applied Ethology (ISAE), Uppsala, Sweden. p. 76.
- Westin R., 2000. Svansbitning hos gris relaterat till individuell tillväxt och ras. Examensarbete 2000:46. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Wilson K., Zanella R., Ventura C., Johansen H.L., Framstad T., Janczak A., Zanella A.J., Neibergs H.L., 2012. Identification of chromosomal locations associated with tail biting and being a victim of tail-biting behaviour in the domestic pig (*Sus scrofa domestica*). *J. Appl. Gen.*, 53, 449–56.
- Zonderland J.J., Kemp B., Bracke M.B.M., den Hartog L.A., Spoolder H.A.M., 2011a. Individual piglets' contribution to the development of tail biting. *Animal*, 5, 601–607.
- Zonderland J.J., Schepers F., Bracke M., Den Hartog, L., Kemp B., Spoolder H., 2011b. Characteristics of biter and victim piglets apparent before a tail-biting outbreak. *Animal*, 5, 767–75.
- Zupan M., Janczak A.M., Framstad T. and Zanella A.J., 2012. The effect of biting tails and having tails bitten in pigs. *Physiol. Behav.*, 106, 638– 44.