



HAL
open science

Mogador - Modélisation de l'atelier d'engraissement porcin pour prédire ses résultats économiques et ses impacts environnementaux

A. Aubry, Alice Cadero, Y. Salaün, Jean-Yves Dourmad, F. Brun, Florence Garcia-Launay

► To cite this version:

A. Aubry, Alice Cadero, Y. Salaün, Jean-Yves Dourmad, F. Brun, et al.. Mogador - Modélisation de l'atelier d'engraissement porcin pour prédire ses résultats économiques et ses impacts environnementaux. *Innovations Agronomiques*, 2019, 71, pp.201-2010. 10.15454/hvmg73 . hal-02081879

HAL Id: hal-02081879

<https://hal.science/hal-02081879>

Submitted on 27 Mar 2019

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

MOGADOR - Modélisation de l'atelier d'engraissement porcin pour prédire ses résultats économiques et ses impacts environnementaux

Aubry A.¹, Cadéro A.^{1,2}, Salaün Y.¹, Dourmad J-Y.² Brun F.³, Garcia-Launay F.²

¹ IFIP– Institut du porc, F-35651 Le Rheu

² UMR1348 PEGASE, INRA, Agrocampus Ouest, F-35590 Saint-Gilles

³ ACTA – le réseau des instituts des filières animales et végétales, F-31326, Castanet-Tolosan

Correspondance: alexia.aubry@ifip.asso.fr

Résumé

Pour répondre aux enjeux économiques et environnementaux de la production porcine, les éleveurs ont besoin d'outils pour apprécier l'impact de leur atelier, identifier les pistes d'amélioration et être guidés dans leur pilotage technico-économique. Un modèle de l'atelier d'engraissement a été développé en ce sens dans le cadre du projet MOGADOR. À partir des caractéristiques de la structure de l'atelier et des principales pratiques d'élevage, le modèle produit les résultats techniques et économiques de l'atelier et ses impacts environnementaux par Analyse du Cycle de Vie. L'originalité et la performance du modèle résident dans le fait qu'il prend en compte la variabilité des performances individuelles des porcs, en interaction avec les pratiques de l'élevage (conduite, alimentation) et sa structure (salles d'engraissement). Le modèle a été évalué suivant trois grandes étapes : par expertise, par analyse de sensibilité et par comparaison de résultats prédits à des résultats observés. La qualité de prédiction du modèle et la procédure d'étalonnage établie permettent d'envisager une utilisation du modèle pour la recherche et pour le conseil en élevage. Un premier outil d'aide à la décision est disponible sur Internet pour consulter une bibliothèque de simulations réalisées à l'aide du modèle. Les analyses peuvent ensuite être complétées par l'utilisation du modèle expert.

Mots-clés : porc en croissance, modèle individu-centré, pratiques d'alimentation, outil d'aide à la décision, analyse de cycle de vie

Abstract: Modelling pig fattening unit to predict its economic results and its environmental impacts

To meet economic and environmental challenges of pig production, farmers need tools to assess the impact of their facilities, identify possible improvements and be guided in their technical and economic management. A model of the pig fattening unit has been developed for this purpose as part of the MOGADOR project. Based on the characteristics of the structure and the main farming practices, the model produces the technical and economic results and its environmental impacts by Life Cycle Assessment approach. The originality and the performance of the model reside in the fact that it takes into account the variability of the individual performances of the pigs, in interaction with the practices of the breeding (driving, feeding) and its structure (rooms of fattening). The model was evaluated according to three main stages: expertise, sensitivity analysis and comparison of predicted results to observed results. The predictive quality of the model and the calibration procedure make it possible to consider using the model for research and advisory services. A first decision support tool is available on Internet to consult a library of simulations performed with the model. The analyzes can then be completed by using the expert model.

Keywords: growing pig, individual-based model, feeding practices, decision support tool, Life Cycle Assessment

Introduction

La production porcine est soumise à de nombreux enjeux économiques et environnementaux. Pour être performants, les élevages doivent dans le même temps optimiser leurs résultats économiques et réduire leurs impacts environnementaux. Dans ce contexte, l'atelier d'engraissement est un levier d'action majeur, car il contribue à 70% des excréments de Phosphore et d'Azote de l'élevage, et concentre la majeure partie des charges alimentaires et donc du coût de production. Pour optimiser les performances de leurs animaux en engraissement, les éleveurs doivent mettre en œuvre différentes pratiques visant à améliorer l'efficacité alimentaire des porcs, tout en veillant à maintenir une bonne valorisation des carcasses. L'augmentation des contraintes économiques et environnementales rend la gestion de l'atelier d'engraissement de plus en plus complexe, d'où l'intérêt pour les éleveurs et leur encadrement technique de disposer d'outils d'aide à la décision basés sur des modèles précis prenant en compte toutes les caractéristiques de l'élevage concerné. L'objectif est de disposer d'un simulateur du fonctionnement de l'élevage de porcs qui intègre la complexité de ses composantes, tout en restant un outil d'aide à la décision utilisable en élevage. C'est l'enjeu principal de ce projet, mené en partenariat entre l'IFIP, l'INRA et l'ACTA (RMT Modélisation et Agriculture). Il a bénéficié du développement de synergies entre recherche scientifique et technique favorisées par la proximité des équipes IFIP et INRA regroupées dans l'UMT Ingénierie des systèmes de production porcine. Une thèse CIFRE a été engagée par l'IFIP et l'INRA, avec une doctorante dont le profil axé modélisation et mathématiques était particulièrement adapté pour le travail prévu dans le projet.

Le projet s'est articulé en trois volets dont les objectifs étaient les suivants :

- Développer un modèle représentant le fonctionnement de l'atelier d'engraissement porcin, prenant en compte les interactions entre ses caractéristiques (structure, modalités de gestion) et les processus zootechniques (biologie, performances) ;
- Évaluer le modèle par une analyse de sensibilité et une comparaison entre données prédites et observées ;
- Construire un outil d'aide à la décision basé sur ce modèle, utilisable pour la recherche et pour le conseil en élevage, permettant de tester les effets des pratiques, des structures d'élevage, et des niveaux de potentiel des porcs sur les performances technico-économiques et environnementales de l'atelier.

1. Construction du modèle de l'atelier d'engraissement

1.1 Description du modèle

Le modèle de l'atelier d'engraissement porcin MOGADOR est un modèle mécaniste, à événements discrets, stochastique, et avec un pas de temps de simulation journalier (Cadéro *et al.*, 2017a). Il repose sur une programmation orientée-objet. Dans ce modèle sont représentés le troupeau d'engraissement porcin, la structure de l'élevage, ainsi que les pratiques de gestion par l'éleveur. Le troupeau d'engraissement porcin est organisé en plusieurs bandes, qui comprennent les porcs de leur entrée en engraissement jusqu'à leur départ à l'abattoir. La structure de l'atelier est représentée via les salles d'engraissement et leurs cases associées. La gestion par l'éleveur est représentée au travers de pratiques et d'un échancier contenant les tâches à effectuer. L'éleveur reçoit chaque jour des informations provenant du troupeau d'engraissement porcin et de l'échancier des événements. Selon ces informations et ses pratiques, l'éleveur peut modifier l'échancier en ajoutant des tâches. À chaque pas de temps, l'éleveur prend connaissance des tâches à effectuer et les applique.

La Figure 1 décrit le modèle. Les principales entrées correspondent aux caractéristiques des bâtiments d'élevage et aux pratiques mises en place par l'éleveur. Ces pratiques concernent la conduite en bandes, la mise en lots à l'entrée en engraissement, l'alimentation, la gestion des fins de bandes et des

départs à l'abattoir en accord avec la grille de paiement. Les pratiques liées à la gestion des fins de bande en engraissement sont représentées sur la base d'une typologie établie au préalable (Aubry *et al.*, 2016). À partir de ces entrées, la simulation est initialisée par la construction des bâtiments d'élevage, des salles et des cases et le choix d'un ensemble de pratiques décrivant la gestion de l'élevage par l'éleveur. À cette initialisation sont ajoutées deux autres entrées décrivant la composition des aliments et les profils des animaux. L'ensemble de ces informations est envoyé au sous-modèle de simulation de la dynamique du troupeau d'engraissement, qui calcule les performances journalières des porcs. Ces performances, ainsi que la grille de paiement et le prix des aliments, sont ensuite utilisés par le module économique et environnemental qui calcule alors l'ensemble des indicateurs économiques et environnementaux de l'élevage.

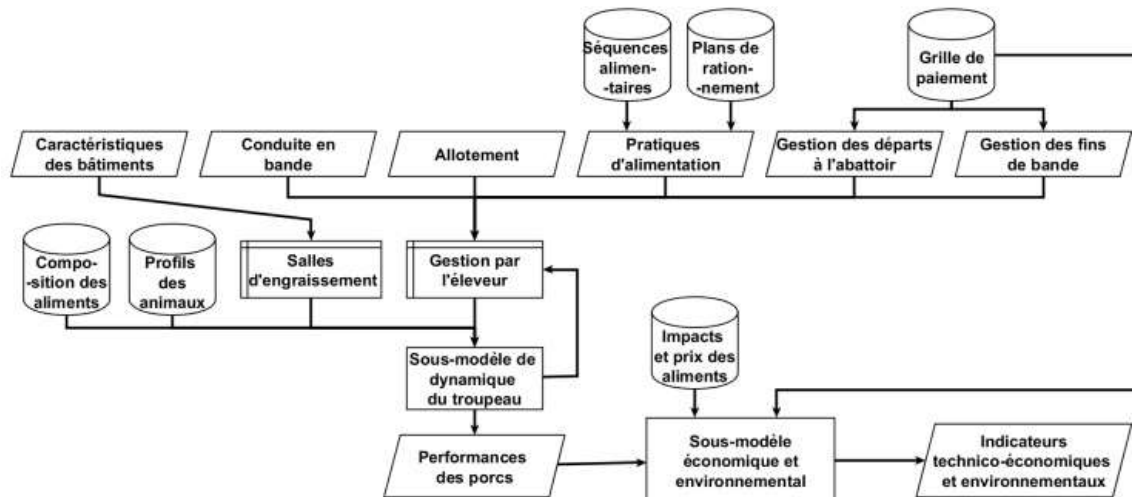


Figure 1 : Description générale du modèle de l'atelier d'engraissement porcin (Cadéro *et al.*, 2017b).

Les indicateurs environnementaux choisis sont les impacts de la production porcine sur le changement climatique, l'eutrophisation, l'acidification, la consommation d'énergie et l'occupation des terres, calculés par Analyse de Cycle de Vie (ACV). Ces impacts sont estimés pour chaque porc abattu, en utilisant les émissions et l'utilisation de ressources de chaque animal ainsi que les impacts moyens des ateliers naissance et post-sevrage établis à partir des performances moyennes de la gestion technico-économique (GTE) pour l'année 2014 (IFIP, 2015). Les impacts environnementaux des aliments sont calculés à l'aide du jeu de données ECOALIM (Wilfart *et al.*, 2015), et des hypothèses de distances de transport des aliments en Bretagne établis par Garcia-Launay *et al.* (2016). Les indicateurs économiques retenus sont basés sur ceux de la GTE (produit, coût alimentaire et marge sur coût alimentaire et achat porcelet), et établis pour chaque porc abattu. La plus-value par kg de carcasse est calculée en accord avec la grille de paiement Uniporc en vigueur, associant à chaque porc une valeur liée aux caractéristiques de sa carcasse (poids chaud et taux de muscle des pièces-TMP).

La description des pratiques d'alimentation est adaptée du modèle InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008). Elles associent un plan de rationnement, une séquence alimentaire et un niveau auquel ils sont appliqués (à l'individu, à la case, à la salle). Chaque séquence alimentaire définit les aliments distribués aux animaux, la proportion associée, et les règles de passage d'une phase d'alimentation à une autre (un poids ciblé, une durée d'engraissement, une quantité d'aliment distribué). Chaque plan de rationnement définit la quantité d'aliment ou d'énergie distribuée aux animaux (pourcentage de l'ingéré *ad libitum* ou une quantité constante) pour chaque période du plan. Les règles de passage d'une période du plan à une autre sont la durée d'engraissement, l'âge, le poids vif, ou la quantité d'aliment consommé ou distribué. Les porcs sont représentés à l'aide d'un modèle individu-centré, adapté du modèle InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008), lequel calcule la quantité d'aliment ingéré, les dépôts

protéique et lipidique, et la croissance et l'excrétion qui en résultent pour chaque individu. Chaque porc se voit attribué aléatoirement en début de simulation un profil dont les caractéristiques définissent son potentiel d'ingestion et de croissance.

1.2 Illustration du fonctionnement du modèle

Quatre simulations ont été réalisées en faisant varier le plan de rationnement (*ad libitum* vs restriction à 2,5 kg/j) et la séquence alimentaire (biphase ou multiphase). La Figure 2 représente les courbes de croissance des porcs d'une même bande selon ces quatre scénarios (Cadéro *et al.*, 2017b). Les réductions brutales du poids moyen observées à partir de 155 jours d'âge sont dues aux départs successifs à l'abattoir des porcs les plus lourds de la bande. Le nombre moyen de départs à l'abattoir par bande est différent selon les simulations, avec environ 1,5 départ en plus dans les scénarios en *ad libitum* par rapport à ceux en restriction.

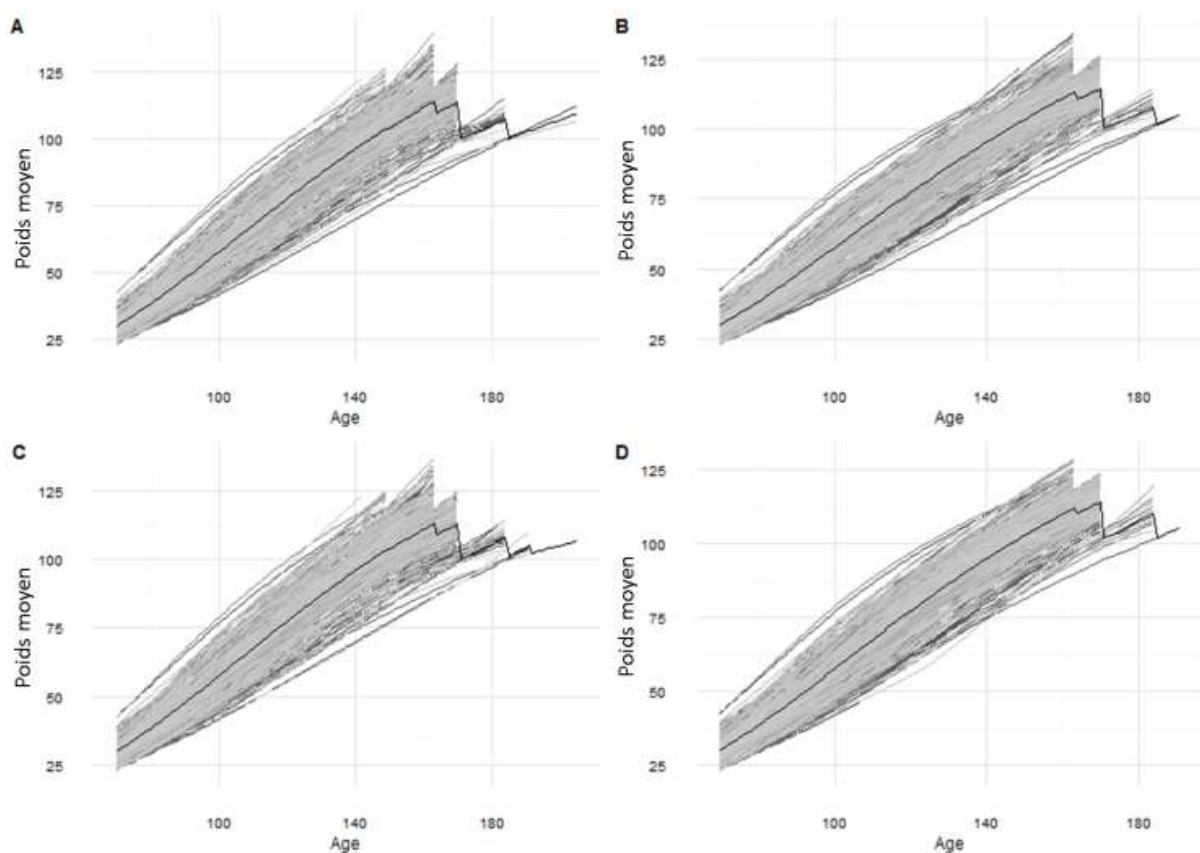


Figure 2 : Courbes de croissance des porcs d'une même bande en fonction de la simulation (poids en kg et âge en jours). Les courbes en noir représentent le poids moyen des porcs de la bande associée. (Simulation A : biphase + *ad libitum*; simulation B : biphase + restriction; simulation C : multiphase + *ad libitum*; simulation D : multiphase + restriction) (Cadéro *et al.*, 2017b)

Par ailleurs, une analyse de variance a été effectuée sur les indicateurs technico-économiques et environnementaux calculés par le modèle. Les effets du plan de rationnement et de la séquence alimentaire sur ces deux familles d'indicateurs sont significatifs ($p\text{-value} < 0,001$). Le scénario combinant restriction et multiphase apporte la meilleure marge par porc engraisé (16,9 €/porc) et les plus faibles impacts environnementaux par kilo de porc produit. À l'inverse, le scénario combinant *ad libitum* et biphase induit la plus faible marge (11,3 €/porc) et les impacts environnementaux les plus importants.

2. Évaluation du modèle de l'atelier d'engraissement

Le modèle MOGADOR a été soumis à une triple évaluation. Il a d'abord fait l'objet d'une procédure de vérification continue par expertise à chaque étape de son développement pour s'assurer de la validité de ses résultats. Cette évaluation par expertise a été facilitée par la tenue des réunions de suivi du projet selon la méthode agile. Cette méthode, appliquée à nos travaux, a permis à la doctorante de présenter dès la deuxième réunion un modèle fonctionnel, certes très simple mais fonctionnel. À chaque réunion de nouvelles étapes étaient définies et leur implémentation dans le modèle présenté à la réunion suivante, et validées par le groupe d'experts. Les résultats technico-économiques des premières simulations réalisées ont été comparés avec ceux de la référence de GTE pour vérifier la validité du modèle. Ainsi l'indice de consommation, le taux de muscle des pièces (TMP) et le poids moyen d'abattage simulés sont comparables à la moyenne de la GTE (IFIP, 2015). Les impacts environnementaux sont également en accord avec les résultats déjà publiés. Cette première validation a ensuite été confortée par une analyse de sensibilité suivie d'une comparaison entre valeurs prédites et observées.

2.1 Analyse de sensibilité du modèle

L'objectif principal de cette évaluation était de réaliser une analyse de sensibilité globale du modèle, adaptée à ses spécificités (stochastique, évènement-discret, individu-centré), et d'utiliser ces résultats pour renforcer la compréhension de son fonctionnement. L'analyse de sensibilité est une méthode couramment utilisée sur des modèles représentant des systèmes complexes afin d'identifier les paramètres influençant le plus chaque sortie. Cependant, réaliser une analyse de sensibilité sur les modèles à sorties multicritères, comme MOGADOR qui fournit de nombreux indicateurs (techniques, économiques et environnementaux), représente un enjeu de par l'évaluation de l'influence globale des paramètres sur l'ensemble des sorties du modèle. Aussi, pour réaliser cette analyse de sensibilité, différentes méthodes mathématiques ont été testées, et une procédure spécifique, adaptée aux caractéristiques du modèle développé, a dû être définie, testée et appliquée (Cadéro *et al.*, 2018a).

En raison du temps de simulation du modèle relativement élevé, de l'ordre de quelques minutes, la méthode de Morris¹ a d'abord été mise en œuvre pour réaliser un premier criblage, afin d'identifier et d'exclure de l'analyse les paramètres très peu ou pas influents sur les sorties. Ensuite, une analyse de sensibilité basée sur la variance pour les paramètres influents a été réalisée en utilisant la méthode de Sobol², appliquée à des méta-modèles³. Les indices agrégés de Sobol permettent d'analyser l'incidence d'un paramètre d'entrée du modèle sur l'ensemble des variables de sortie, en prenant en compte (ordre total) ou pas (1^{er} ordre) l'effet des interactions avec les autres paramètres. La Figure 3 présente les indices obtenus pour tous les paramètres testés. Les cinq paramètres ayant la plus grande influence sur l'ensemble des sorties du modèle sont le poids initial, l'azote ingéré, la consommation d'aliment, le taux de mortalité, et la durée de vide sanitaire entre les bandes.

¹ La méthode de Morris (1991) est une méthode d'analyse statistique adaptée aux modèles dont les entrées et les sorties sont quantitatives. Elle fait partie des méthodes OAT (One At a Time), signifiant un processus d'exploration du domaine de définition faisant varier les facteurs un seul à la fois. Dans le cas d'un modèle coûteux en temps d'exécution, ou bien d'un modèle avec un grand nombre de facteurs la méthode est un moyen simple de faire un premier tri parmi les facteurs selon leur influence.

² La méthode d'analyse de sensibilité de Sobol est une méthode basée sur l'analyse de variance. Elle permet de déterminer la contribution de la variance des paramètres à la variance totale des sorties du modèle.

³ Un méta-modèle est construit à partir d'une fonction mathématique simple, pour simuler le comportement du modèle original sous des conditions spécifiques. Nous avons construit un méta-modèle par sortie et par scénario.

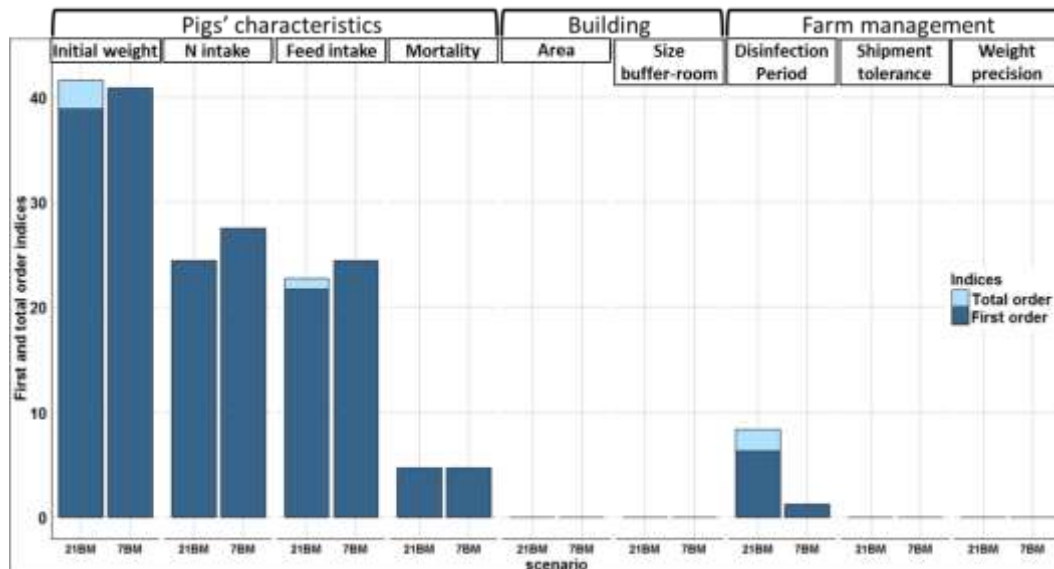


Figure 3 : Indices agrégés de Sobol (1^{er} ordre et ordre total) pour les paramètres retenus. Les deux scénarios diffèrent par le rythme d'arrivée des porcs en engraissement : tous les 7 jours (7BM) ou tous les 21 jours (21BM). (Cadéro *et al.*, 2018a).

Les résultats obtenus pour l'analyse de sensibilité sont de deux ordres. Ils permettent d'abord de disposer d'une meilleure connaissance du comportement du modèle. Cette analyse montre effectivement que les paramètres les plus influents relèvent des caractéristiques des porcs (poids initial, consommation, ...) et de la durée du vide sanitaire. Ces paramètres devront donc être renseignés le plus finement possible en entrée du modèle. Par ailleurs, cette analyse a permis d'établir une séquence d'analyse de sensibilité générique, et adaptée à des modèles dotés d'un temps de simulation long et disposant de sorties multicritères, tel le modèle MOGADOR. Enfin, outre les résultats propres à l'analyse de sensibilité, cette analyse a également permis de détecter les dernières erreurs informatiques du code du modèle, et de les résoudre.

2.2 Qualité de prédiction du modèle

Avant d'utiliser le modèle pour la recherche ou pour le conseil en élevage, il est nécessaire d'évaluer sa capacité de prédiction. Aussi, après ces premières étapes de validation interne, une comparaison formelle a été réalisée entre les indicateurs techniques fournis par le modèle (valeurs prédites) et les valeurs observées. Le modèle a été appliqué aux données de 21 élevages dont les pratiques et performances techniques avaient été recueillies par enquête (Aubry *et al.*, 2016). Le paramétrage différencié de chacun des élevages simulés a porté, dans une première étape, sur les bâtiments et pratiques d'élevage, puis sur l'âge et le poids initial moyens des porcs, et enfin sur le poids d'abattage, le dépôt protéique moyen et la quantité d'aliment ingéré (Cadéro *et al.*, 2018b).

La régression des valeurs observées sur les valeurs prédites en étape 1 (Figure 4A) et en fin de procédure (Figure 4B) montre une nette amélioration de la qualité de prédiction du modèle.

Entre la première et la dernière étape de paramétrage du modèle, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) sur l'Indice de Consommation (IC) passe de 0,22 à 0,03 kg d'aliment /kg poids vif et celle sur le Gain Moyen Quotidien de 59,0 à 14,0 grammes de gain de poids vif par jour. Le modèle prédit de façon satisfaisante la plupart des sorties techniques pour les élevages enquêtés. En effet, le RMSE est inférieur à 2% du poids vif initial, du poids d'abattage, de l'IC, et de la quantité d'aliment moyens, et atteint 2,04% du TMP moyen. Ces résultats montrent qu'après paramétrage, le modèle prédit les performances des élevages avec une erreur faible.

La procédure de paramétrage proposée permet d'envisager une utilisation du modèle dans un outil d'aide à la décision pour du suivi et du conseil en élevage. Le modèle peut en effet tester l'effet de différentes combinaisons de pratiques, de structures d'élevage et de niveaux de potentiel des animaux sur les performances technico-économiques et environnementales de l'atelier.

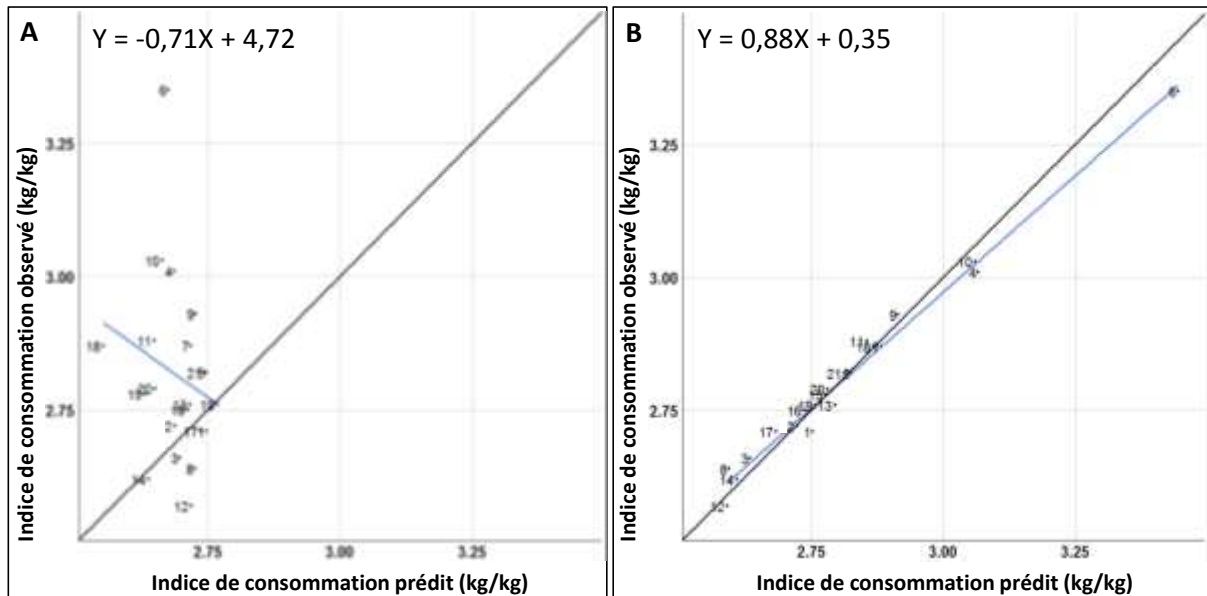


Figure 4 : Comparaison entre valeurs prédites et observées pour l'indice de consommation à l'étape 1 (A) du processus de paramétrage et à la fin (B) du processus. La droite bleue est la droite de régression, la noire est la première bissectrice. Chaque point est associé au numéro de l'élevage correspondant (Cadéro *et al.*, 2018c).

3. Développement de l'outil d'aide à la décision

Pour répondre aux enjeux économiques et environnementaux de la production porcine, les éleveurs ont besoin d'outils pour être guidés dans le pilotage technico-économique et environnemental de leur atelier. Le modèle de l'atelier d'engraissement développé dans le cadre de ce projet, dont les caractéristiques et l'évaluation ont été présentées dans les paragraphes précédents, permet de répondre à ces enjeux. Afin de concilier la facilité d'usage et la précision de l'analyse, deux niveaux de valorisation du modèle sont proposés : une version de consultation et une version en mode expert (Aubry *et al.*, 2018).

3.1 Consultation d'une bibliothèque de simulations

3.1.1 Principes de fonctionnement

L'outil informatique développé est un outil simple, constitué d'une interface des entrées permettant de sélectionner une situation particulière au sein d'une bibliothèque de simulations préétablies et de préciser les éléments de prix nécessaires au calcul économique. L'outil permet de sélectionner une simulation, de réaliser les calculs économiques complémentaires, puis d'accéder à l'ensemble des indicateurs de résultats économiques et environnementaux déterminés par ces éléments.

3.1.2 Nature des simulations disponibles

La base de données de l'outil de consultation MOGADOR est constituée de simulations correspondant aux scénarios parmi les plus « classiques » en termes de structure, conduite et mode d'alimentation des porcs. Ces simulations concernent des conduites se distinguant par le rythme d'arrivée des porcs

en engraissement (7, 21 ou 35 jours) et/ou par leur poids moyen à l'entrée (26, 32 ou 38 kg). Pour chacune des neuf combinaisons ainsi obtenues, le nombre de salles d'engraissement est établi à partir des recommandations techniques, selon le rythme d'arrivée des lots et les durées d'engraissement liées au poids d'entrée des porcs, en considérant un étalement des sorties et une durée de vide sanitaire moyens (respectivement 10 et 3 jours). Selon le nombre de salles calculé, on retient une ou deux possibilités, pour disposer au final de 12 combinaisons (Tableau 1). Ces scénarios sont ensuite doublés, selon que l'on utilise ou non une salle tampon pour accueillir les porcs trop légers au moment du vidage des salles. Pour chaque scénario sont ensuite simulés deux plans d'alimentation (*ad libitum* vs restriction) avec pour chacun, cinq séquences alimentaires différant par le nombre de phases et/ou la teneur en lysine. En considérant encore deux tailles de lots et trois poids d'abattage, la bibliothèque initiale est au final riche de 1 440 simulations. Elle pourra être enrichie par de nouvelles simulations réalisées au moyen de l'outil expert.

Tableau 1 : Caractéristiques des simulations disponibles dans la base de données initiale.

Variable	Valeurs possibles	Nombre de combinaisons
Rythme d'arrivée	7 j / 21 j / 35 j	12 ¹
Poids vif à l'entrée	26 kg / 32 kg / 38 kg	
Nombre de salles	1 à 2 possibilités	
Salle tampon	Oui/non	2
Séquence alimentaire ²	Unique 100%lys Biphase 90%lys Biphase 100%lys Biphase 110%lys Multiphase 110%lys	5
Plan d'alimentation	<i>Ad libitum</i> / restriction	2
Taille du lot	240 / 480	2
Poids vif objectif à l'abattage	114,4 kg/116,4 kg/118,4 kg	3
Total combinaisons		1 440

¹Combinaisons retenues pour (rythme d'arrivée, poids vif entrée, nb salles) : (7, 26, 19) ; (7, 32, 17) ; (7, 32, 18) ; (7, 38, 16) ; (21, 26, 6) ; (21, 32, 6) ; (21, 38, 5) ; (21, 38, 6) ; (35, 26, 4) ; (35, 32, 3) ; (35, 32, 4) ; (35, 38, 3) ;

²Séquences alimentaires différant par le nombre de phases (Unique = 1 ; Biphase = 2 ; Multiphase = 10) et la teneur en lysine de l'aliment par rapport aux besoins des porcs (90, 100 ou 110%)

3.1.3 Consultation des résultats des simulations

L'utilisateur sélectionne une combinaison parmi celles proposées, et précise les éléments de prix (prix de base du porc charcutier, d'achat du porcelet en fin de post-sevrage, et de l'aliment engraissement). Le modèle produit les indicateurs de résultats techniques (poids d'abattage, IC, ...), économiques (plus-value, coûts, marge) et environnementaux (émissions gazeuses, rejets, impacts calculés par ACV) correspondants, mis en forme sur un écran spécifique de l'outil. Pour faciliter l'analyse, ces indicateurs sont comparés aux références de gestion technico-économique (IFIP, 2017), ou à différentes sources environnementales centralisées dans l'outil de Gestion Environnementale des Elevages Porcins GEEP (Espagnol, 2012).

Le fait de disposer facilement d'un jeu de simulations permet dans un premier temps, sans la contrainte d'un paramétrage complet et d'une simulation de quelques minutes, de fournir des résultats à l'éleveur en choisissant un scénario proche de sa situation. Cet outil web de consultation des simulations est accessible librement sur le site dédié de l'outil MOGADOR <http://mogador.ifip.asso.fr>. L'analyse pourra ensuite être affinée par un conseiller en utilisant l'outil en mode expert.

3.2 Utilisation du modèle en mode expert

3.2.1 Principe de fonctionnement

L'objectif est de pouvoir actionner le modèle lui-même en temps réel. Avec des interfaces assez semblables dans leur forme à celles du premier outil, l'ensemble des paramètres d'entrée nécessaires au modèle est alors requis. La consultation des indicateurs obtenus est complétée par des représentations et des extractions plus détaillées, concernant notamment les performances individuelles des porcs, sous forme de tableaux de données. Actuellement, le modèle peut être utilisé ainsi en direct par des utilisateurs avertis. Les interfaces permettant une utilisation facilitée pour d'autres utilisateurs ne sont pas encore finalisées.

3.2.2 Utilisation pour la recherche

L'outil peut être utilisé pour la recherche, afin d'évaluer les conséquences, pour une ferme « moyenne », d'évolutions de pratiques ou de la structure de l'élevage sur l'ensemble des résultats technico-économiques et environnementaux. Son application à différents cas-types d'élevages permettra aussi un élargissement macro-économique et une appréciation de la durabilité de la production porcine à plus grande échelle.

Une expérimentation virtuelle a été réalisée sur 96 scénarios, croisant les niveaux de six entrées du modèle (conduite en bandes, utilisation ou non d'une salle tampon, séquence alimentaire, plan de rationnement, échelle d'application des pratiques d'alimentation, et statut sanitaire du troupeau) (Cadéro, 2017c). La population à haut niveau sanitaire est marquée par une marge supérieure (11,2 vs 1,5 €/porc) et des impacts environnementaux inférieurs à la population à niveau sanitaire dégradé. La restriction alimentaire, la séquence multiphase journalière, et l'alimentation individuelle améliorent toujours les performances économiques et environnementales de l'atelier. S'approcher au plus près des besoins nutritionnels individuels des porcs semble être une solution appropriée pour améliorer le revenu de l'élevage et réduire ses impacts quel que soit son statut sanitaire.

3.2.3 Utilisation pour l'aide à la décision

Pour une utilisation au sein d'un outil d'aide à la décision par les techniciens en charge du suivi des élevages, l'outil doit au préalable être paramétré pour que la simulation reflète le mieux possible la situation de l'élevage étudié. La procédure de calibration intégrée dans l'outil (Cadéro *et al.*, 2018c) nécessite de spécifier le plus précisément possible la structure de l'atelier, le programme d'alimentation des porcs et le poids moyen à l'entrée en engraissement. Des données complémentaires, non exigées dans l'outil de consultation, sont aussi à renseigner, comme le gain moyen quotidien et la quantité moyenne d'aliment consommée en engraissement, qui permettent d'adapter le potentiel de croissance et d'ingestion des animaux du modèle aux performances de l'élevage.

Conclusion

Le modèle MOGADOR représente le fonctionnement d'un atelier d'engraissement porcin en prenant en compte les interactions entre variabilité individuelle, pratiques d'élevage, et structure de l'atelier. Cette représentation de la variabilité individuelle permet de simuler de façon adéquate l'effet des pratiques et de la structure de l'élevage sur le fonctionnement de l'atelier. C'est à notre connaissance le premier modèle individu-centré qui simule les performances techniques et qui produit également des résultats économiques et d'impacts environnementaux par ACV. Ce type de modèle permettra de tester les effets des pratiques d'élevage et des caractéristiques de l'élevage sur les performances technico-économiques et environnementales de l'élevage, et donc d'évaluer les possibilités d'amélioration des performances de l'atelier d'engraissement porcin. Ce modèle est intégré à un outil d'aide à la décision accessible sur le web, qui permet de consulter les simulations réalisées à l'aide du modèle.

Références bibliographiques

- Aubry A., Cadéro A., Salaün Y., Dourmad J.-Y., Garcia-Launay F., 2018. MOGADOR : un outil d'aide à la décision à deux niveaux pour l'atelier d'engraissement porcin. *Journées Rech. Porcine*, 50, 331-332.
- Aubry A., Lescot M., Cadéro A., Garcia-Launay F., Corrége I., Quiniou N., 2016. La gestion des fins de bande en élevage porcin : analyse des stratégies décisionnelles des éleveurs et des enjeux économiques associés. *Journées Rech. Porcine*, 48, 225-230.
- Cadéro A., Aubry A., Brun F., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2018a. Global sensitivity analysis of a pig fattening unit model simulating technico economic performance and environmental impacts. *Agricultural Systems* 165 (2018) 221–229.
- Cadéro A., Aubry A., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2018b. Towards a decision support tool with an individual-based model of a pig fattening unit. *Computers and Electronics in Agriculture* 147 (2018) 44–50.
- Cadéro A., Aubry A., Dourmad J.-Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2018c. Du modèle à l'outil d'aide à la décision : comment paramétrer un modèle individu-centré du fonctionnement de l'atelier d'engraissement porcin pour une utilisation en élevage ? *Journées Rech. Porcine*, 50, 311-316.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2017a. Modelling interactions between farmer practices and fattening pig performances with an individual-based model. *Animal*, 1-10.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.-Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2017b. Modélisation des performances technico-économiques et environnementales de l'atelier d'engraissement porcin à l'aide d'un modèle dynamique, mécaniste et stochastique. *Journées Rech. Porcine*, 49, 151-156.
- Cadéro A., 2017c. Modélisation de l'atelier d'engraissement porcin pour prédire ses résultats économiques et ses impacts environnementaux. Thèse Agrocampus Ouest, soutenue le 24 novembre 2017, 188 pages.
- Espagnol S., 2012. Mise en place d'un réseau environnemental d'élevages porcins. *Tech PORC*, 3, 20-23.
- Garcia-Launay F., Wilfart A., Dusart L., Nzally C., Gaudré D., Espagnol S., 2016. Multi-objective formulation is an efficient methodology to reduce environmental impacts of pig feeds. In: Proc. of the 10th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food sector; 19-21 October 2016; Dublin, Ireland.
- IFIP, 2015. Porcs performances 2014. Editions IFIP, Paris, 32 pages.
- IFIP, 2017. Porc par les Chiffres. Editions IFIP, 43 pages.
- Morris M-D., 1991. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments. *Technometrics* 33, 161-174.
- 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., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia F., Gac A., Espagnol S., 2015. ECOALIM : une base de données des impacts environnementaux des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale. *Rencontres Autour Rech. Rumin.*, 22, 74.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)