

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 ?

Alice CADERO (1,2), Alexia AUBRY (1), Jean-Yves DOORMAD (2), Yvon SALAÜN (1), Florence GARCIA-LAUNAY (2)

(1) IFIP–Institut du porc, 35651 Le Rheu, France

(2) UMR1348 PEGASE, INRA-Agrocampus Ouest, 35590 Saint-Gilles, France

florence.garcia-launay@inra.fr

Avec la collaboration de Marie LESCOT

Du modèle à l'outil d'aide à la décision : comment paramétrer un modèle de fonctionnement de l'atelier d'engraissement porcin pour une utilisation en élevage ?

Afin de répondre aux enjeux économiques et environnementaux des élevages porcins, des outils d'aide à la décision basés sur des modèles mathématiques ont été proposés. Nous avons développé un modèle dynamique de fonctionnement d'un atelier d'engraissement porcin qui inclue les effets de la variabilité interindividuelle des porcs, de la structure de l'élevage et des pratiques de l'éleveur sur ses résultats technico-économiques et environnementaux. Afin de tester le modèle, nous l'avons appliqué aux données de 21 élevages du Grand Ouest, dont les pratiques et performances techniques avaient été recueillies par enquête. L'objectif était de construire une procédure de calibration en vue d'une future utilisation en élevage, d'utiliser cette procédure pour paramétrer chaque élevage et d'évaluer la capacité de prédiction du modèle. Le paramétrage différencié de chaque élevage a porté, dans une première étape, sur les bâtiments et pratiques d'élevage ; dans une deuxième étape, l'âge et le poids initial moyen des porcs ; enfin, le poids d'abattage, le dépôt protéique moyen et la quantité d'aliment ingérée sont successivement paramétrés. Cette dernière étape a été itérée trois fois. Entre la première et la dernière étape, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) sur l'indice de consommation passe de 0,22 à 0,03 kg d'aliment/kg gain (de 7,8 à 1,1 %), et celle sur le gain moyen quotidien de 59 à 14 g (de 7,3 à 1,9 %). Le pourcentage de porcs dans la gamme de paiement sans pénalité est néanmoins globalement surestimé par le modèle. Ces résultats montrent qu'après paramétrage, le modèle prédit les performances des élevages avec une erreur faible. Cette méthode de calibration du modèle sera incluse à l'outil d'aide à la décision et mise en œuvre sur des élevages existants.

From the model to the tool: how to parameterize a pig fattening unit model for on-farm use?

To address economic and environmental challenges of pig production systems, decision support tools based on mathematical models have been developed. We developed a dynamic model of a pig fattening unit that represents effects of inter-individual variability of pigs, farm buildings and farmer practices on technical, economic and environmental results of the unit. To test the model, it was applied to 21 pig farms in western France of which practices and technical performances had been previously surveyed. Another objective was to develop a process for parameterization for future on-farm use, and then to use this process to parameterize the model for each farm to evaluate the model's predictive ability. In the first step, each farm's buildings and farmer practices were described. In the second step, average initial age and live weight of pigs were specified. In the third step, slaughter weight, mean protein deposition and a feed intake correction factor were successively parameterized. This step was iterated three times to remove effects of parameterization order. From the first to last step of the process, the root mean square error of prediction of the feed conversion ratio decreased from 0.22 to 0.03 kg of feed/kg gain (from 7.8% to 1.1%), and that of the average daily weight gain decreased from 59 to 14 g (from 7.3% to 1.9%). The model overestimated, however, the percentage of pigs that lay within the range without penalties of the payment grid at slaughter. These results show that after parameterization, the model predicts the performance of the pig fattening unit with an acceptable error. The parameterization process will be included in the decision support system and applied to existing farms.

INTRODUCTION

Afin de répondre aux enjeux économiques et environnementaux de la filière porcine, les éleveurs ont besoin d'outils pour évaluer la durabilité de leur élevage et identifier les pistes d'amélioration. Les outils d'aide à la décision développés à partir de modèles peuvent permettre aux utilisateurs de simuler différentes conduites d'élevage, et ainsi de comprendre leur impact sur la performance économique et environnementale du système (Gouttenoire *et al.*, 2011; Prost *et al.*, 2012). Mais la plupart des modèles de fonctionnement de l'atelier d'engraissement ne produisent pas simultanément les résultats techniques, économiques et environnementaux (Chardon *et al.*, 2012; Ferguson, 2015; Niemi *et al.*, 2010; Pomar *et al.*, 2003) et ont été utilisés dans un but de recherche plutôt que pour une application comme outil d'aide à la décision à la ferme.

Un modèle dynamique de l'atelier d'engraissement a été précédemment développé (Cadéro *et al.*, 2017a) et prend en compte les effets de la variabilité des performances des porcs, et des pratiques de conduite et d'alimentation. Il estime les résultats environnementaux de l'atelier par Analyse du Cycle de Vie (ACV) et produit les résultats économiques de l'atelier. Ce modèle a été développé en vue de deux utilisations, l'une en recherche pour quantifier l'influence des interactions entre potentiels individuels des porcs, conduite et structure de l'élevage sur les résultats technico-économiques et environnementaux, l'autre en conseil en élevage pour apprécier l'impact de l'élevage porcin et guider l'éleveur dans le pilotage de son atelier.

Avant d'utiliser le modèle en recherche ou en conseil, il est nécessaire d'évaluer sa capacité de prédiction. Lors du développement du modèle, les résultats simulés ont été évalués par expertise et comparés aux références de la GTE (Cadéro *et al.*, 2017a). Une analyse de sensibilité du modèle a été également réalisée pour mieux connaître les paramètres-clés du modèle (Cadéro *et al.*, 2017b). Après ces premières étapes de validation interne, il est nécessaire de produire une comparaison formelle des valeurs prédites et observées avec des données indépendantes pour évaluer le modèle (Bellocchi *et al.*, 2010; Hauschild *et al.*, 2012). Les objectifs de cette étude sont donc i) de développer une méthode pour paramétrer et utiliser le modèle comme un outil d'aide à la décision en élevage, et ii) de comparer les prédictions des indicateurs techniques fournis par le modèle aux données observées.

Tableau 1 – Comparaison des performances techniques des 21 fermes retenues et des références GTE (IFIP, 2015)

	Fermes enquêtées (n=21)				GTE 2015 (n=1579)
	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	
Poids vif début (kg)	34	5,8	25	50	31,8 ± 5,5
Poids vif abattage (kg)	117	4,0	112	122	119,6 ± 2,9
Indice de consommation (kg aliment/kg gain)	2,81	0,17	2,57	3,35	2,74 ± 0,17
Gain Moyen Quotidien (g/j)	803	41	732	897	817 ± 55
Aliment Consommé (kg/porc)	234	14,4	194	256	-
Taux de Muscles des Pièces (%)	60,3	0,86	57,3	61,5	61,0 ± 0,8
Porcs dans la gamme de paiement (%)	84,9	4,2	73,1	92,4	85,1 ± 6,1
Nombre de départs par bande	4,4	1,58	2,8	8,2	-

Les indicateurs techniques et économiques des 21 élevages retenus proviennent de leurs résultats de gestion technico-économique (GTE) pour l'année 2014 et le nombre de départs par bande a été calculé à partir de données d'abattage

MATERIEL ET METHODES

1.1. Description du modèle de l'atelier d'engraissement

Le modèle de l'atelier d'engraissement est un modèle mécaniste à événements discrets qui intègre des paramètres stochastiques (potentiel d'ingestion et de croissance et risque de mortalité) et fonctionne avec un pas de temps journalier (Cadéro *et al.*, 2017a). Le système comprend le troupeau de porcs, la gestion de l'élevage et la structure des salles. Le troupeau est divisé en bandes successives de porcs de même âge élevés dans la même salle du début de l'engraissement au départ à l'abattoir. Chaque porc est représenté avec un modèle adapté d'InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008). Le modèle simule donc l'ingestion, les dépôts protéique et lipidique, et la croissance et l'excrétion résultantes pour chaque porc. Un profil est attribué à chaque porc selon la procédure de Vautier *et al.* (2013) pour générer une structure de population adéquate. Chaque profil inclut un poids initial (BW_{70}), le dépôt protéique moyen (PDm), un paramètre de précocité ($BGompertz$) et deux paramètres a et b décrivant sa courbe d'ingestion.

Le modèle fournit les résultats techniques, économiques et environnementaux pour chaque porc et globalement pour l'atelier. Les impacts environnementaux de chaque porc abattu sont estimés par ACV, en prenant en compte les impacts depuis l'extraction des matières premières jusqu'en sortie de ferme. Une description plus détaillée du modèle et des indicateurs retenus sont disponibles dans Cadéro *et al.* (2017c).

La population de porcs utilisée en entrée du modèle dans cette étude correspond à une population (Large White X Landrace) X (Large White X Pietrain), générée à partir de deux profils moyens (un profil mâle castré et un profil femelle) par Brossard *et al.* (2014) selon la procédure développée par Vautier *et al.* (2013). Cette population contient 1 000 profils de mâles castrés et 1 000 profils de femelles dans lesquels sont tirés au hasard les profils des porcs pour chaque bande.

1.2. Base de données d'enquêtes en élevage

Les données proviennent d'enquêtes réalisées en 2015 auprès d'élevages du Grand Ouest, visant à analyser les pratiques d'élevage en lien avec la conduite en bandes et la gestion des départs à l'abattoir (Aubry *et al.*, 2016). Un élevage produisant des porcs lourds n'a pas été retenu en raison de ses caractéristiques trop spécifiques.

transmises. Environ la moitié des élevages était pourvue d'une salle tampon (10 vs. 11 sans salle tampon) pour prolonger l'engraissement des porcs les plus légers. Deux élevages appliquaient une séquence alimentaire à aliment unique

quand les 19 autres utilisaient une séquence biphasé. Quatre élevages alimentaient les porcs *ad libitum* et les autres ateliers appliquaient une restriction à 2,6 kg / porc / jour. Neuf élevages appliquaient ces pratiques à l'échelle de la salle d'engraissement, et les 12 autres à l'échelle de la case.

Le tableau 1 présente les performances techniques moyennes des 21 élevages enquêtés et les références correspondantes dans la GTE. En moyenne les indicateurs des élevages sélectionnés sont dans la gamme des valeurs moyennes des élevages français (IFIP, 2015).

1.3. Procédure de paramétrage du modèle en élevage

La procédure de paramétrage développée pour un élevage donné comprend cinq étapes successives.

A l'étape 1, le paramétrage de la structure et de la conduite de l'atelier est réalisé à partir des données d'enquêtes. Pour la structure, il comprend le nombre de salles, le nombre de cases par salle, le nombre de places par case, la surface par place, et la taille de salle tampon ; pour la conduite, sont concernés le rythme d'arrivée des porcs, le nombre de porcs par bande, la durée du vide sanitaire (VS) et le temps maximal passé en salle tampon. A cette étape, le taux de pertes a été adapté à chaque élevage, ainsi que les pratiques de départ à l'abattoir : nombre de jours entre le comptage des porcs et le départ à l'abattoir, et entre la constitution des lots d'abattage et le départ.

A l'étape 2, les poids et âge moyens initiaux des porcs ont été adaptés pour chaque élevage en fonction des performances de GTE. Le plan de rationnement est également adapté en utilisant le nouveau poids moyen initial pour calculer le niveau initial d'aliment distribué (4,5 % du poids vif initial moyen / porc / jour). En effet le poids vif initial a été précédemment identifié comme un paramètre majeur dans l'analyse de sensibilité du modèle (Cadéro *et al.*, 2017b).

A l'étape 3, le poids vif objectif d'abattage est paramétré spécifiquement pour chaque élevage. Le poids cible initial correspond au milieu de la gamme de paiement UNIPORC, à savoir 114,5 kg de poids vif. Il est modifié à cette étape en ajoutant la différence entre les poids moyens d'abattage prédits et observés.

A l'étape 4, le potentiel de croissance des porcs est adapté pour chaque élevage, par l'intermédiaire du dépôt protéique moyen (PDM) de chaque porc, lequel est multiplié par le ratio correspondant au gain moyen quotidien (GMQ) observé sur le GMQ prédit à l'étape précédente.

A l'étape 5, la quantité d'aliment ingérée par jour est modulée pour chaque porc par le ratio de la quantité moyenne cumulée d'aliment observée en engraissement sur la quantité moyenne prédite à l'étape précédente.

Comme le poids d'abattage, le potentiel de croissance et le niveau d'ingestion des animaux sont interdépendants, les étapes 3, 4 et 5 sont itérées trois fois pour estomper l'effet de l'ordre du paramétrage de ces critères.

1.4. Séquences alimentaires et plans de rationnement

Comme les compositions des aliments n'ont pas pu être récoltées lors des enquêtes, l'ingestion et les besoins en nutriments du profil moyen des femelles ont été utilisés comme référence pour la formulation des aliments. Deux aliments, A et B, ont été formulés à moindre coût pour contenir 9,75 et 9,82 MJ EN / kg respectivement et pour couvrir 100 % des besoins en acides aminés digestibles du

profil moyen des femelles à 30 kg de poids vif (début engraissement) et à 120 kg de poids vif (poids d'abattage objectif), i.e. 0,98 et 0,47 g de lysine digestible /MJ NE, respectivement. Avec ces aliments, deux séquences alimentaires (aliment unique et biphasé) et deux plans de rationnement (*ad libitum*, et restriction à 2,6 kg/j) ont été construits en accord avec les pratiques d'alimentation des fermes enquêtées. Les aliments A et B ont été mélangés dans des proportions adéquates pour atteindre les besoins en acides aminés au début de chaque phase dans la séquence biphasé. Cette séquence a été construite pour apporter 0,98 g de lysine digestible / MJ d'EN de 70 jours d'âge à 65 kg de poids vif (Aliment A) et 0,75 g de lysine digestible / MJ d'EN de 65kg de poids vif à l'abattage (mélange des aliments A et B). La séquence aliment unique consistait en la distribution de l'aliment A seul tout au long de l'engraissement. Pour prendre en compte l'alimentation en soupe utilisée par la plupart des élevages, le plan de rationnement simule une distribution initiale à un niveau de 4,5% du poids vif moyen initial en début d'engraissement, avec une augmentation hebdomadaire de 0,2 kg d'aliment / jour / porc jusqu'à atteindre le plafond de 2,6 kg/jour/porc (Quiniou *et al.*, 2013).

1.5. Evaluation du modèle

Les sorties sans association directe avec les entrées ayant fait l'objet d'un paramétrage spécifique (IC, TMP, pourcentage de porcs dans la gamme de poids à l'abattage, nombre de départs par bande) ont été utilisées pour évaluer la qualité de prédiction du modèle. Pour comparer les valeurs prédites et observées, le carré moyen de l'erreur de prédiction (RMSE) a été calculé :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Avec y_i la valeur observée, \hat{y}_i la valeur prédite et n le nombre de valeurs observées (Piñeiro *et al.*, 2008; Wallach *et al.*, 2014).

Le carré moyen de l'erreur a été décomposé entre le biais systématique, le biais de rotation et la dispersion (Piñeiro *et al.*, 2008; Wallach *et al.*, 2014). Le biais systématique mesure la différence moyenne entre les données prédites et observées et montre la tendance du modèle à sur- ou sous-estimer les observations. Le biais de rotation dépend de l'écart entre la pente de la régression des valeurs observées sur les valeurs prédites et la pente de la première bissectrice, c'est-à-dire 1. La dispersion dépend du degré de corrélation entre les valeurs observées et les valeurs prédites et montre la dispersion du nuage de points. Pour ces calculs, la fonction goodness.of.fit du paquet ZeBook (R Development Core Team, 2016; Wallach *et al.*, 2014) a été utilisée. Les résultats observés ont été régressés sur les résultats prédits pour tester les hypothèses pente=1 et ordonnée à l'origine =0 (Piñeiro *et al.*, 2008).

2. RESULTATS

Le Tableau 2 synthétise les indicateurs d'évaluation du modèle, calculés aux étapes 1 et 2 de la procédure et en fin de paramétrage. Le RMSE pour le poids vif initial diminue à l'étape 2, puis reste stable jusqu'en fin de procédure à environ 0,1 kg de poids vif et est en majorité lié à la dispersion du nuage de points. Le RMSE pour le poids d'abattage est réduit de 3,25 à 0,83 kg de poids vif au cours de la procédure, ce qui correspond à seulement 0,72% du poids d'abattage, avec là aussi une contribution prépondérante de la dispersion.

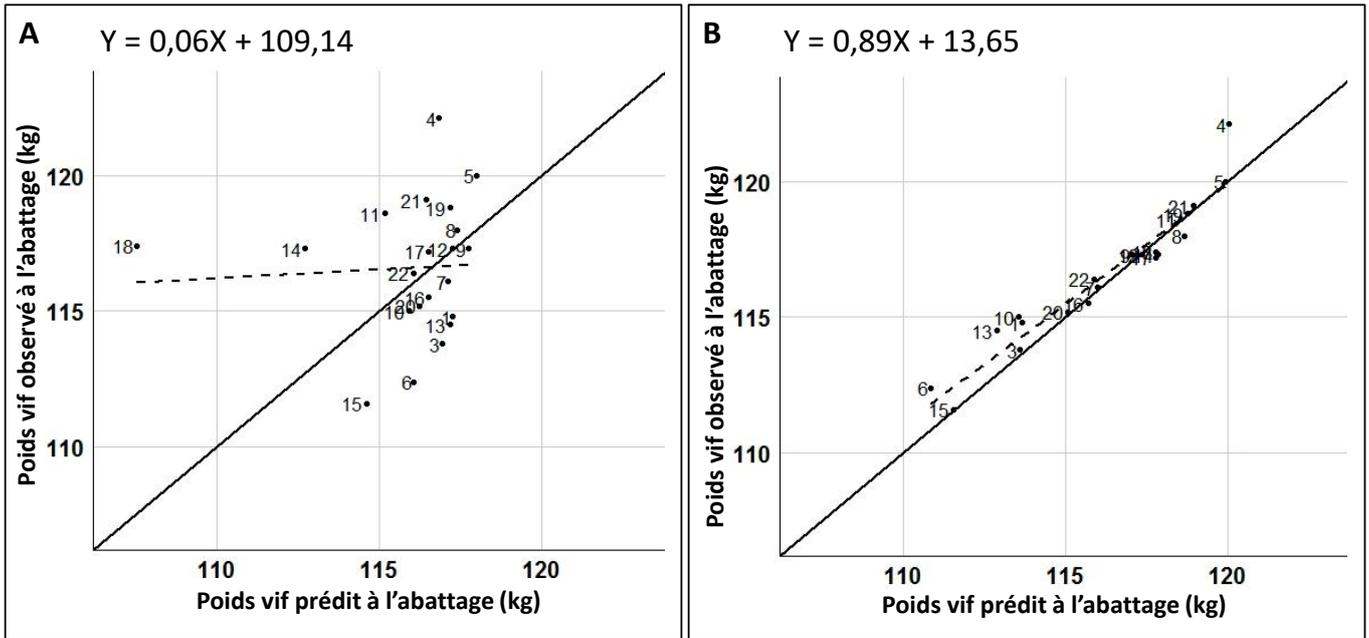


Figure 1 – Comparaison entre les valeurs prédites et les valeurs observées pour le poids d’abattage à l’étape 1 (A) du processus de paramétrage et à la fin (B) du processus de paramétrage. La droite en trait pointillé est la droite de régression et la droite en trait plein est la première bissectrice. Chaque point est associé au numéro de ferme enquêtée correspondant.

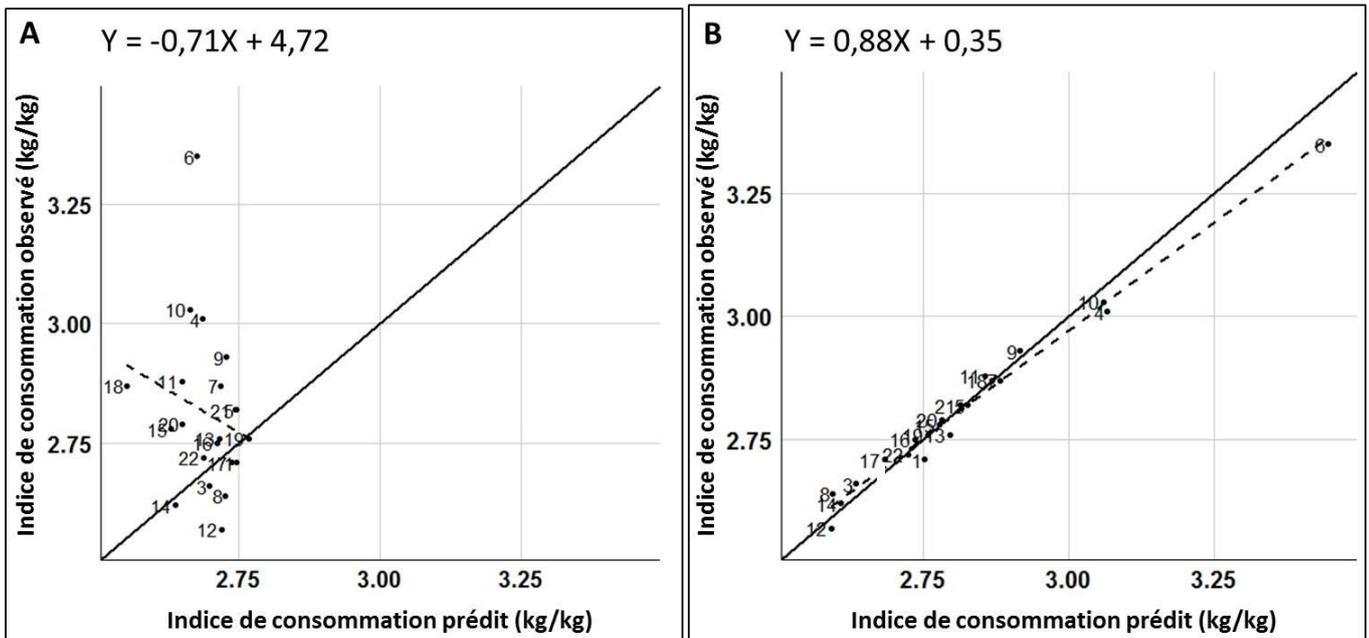


Figure 2 – Comparaison entre les valeurs prédites et les valeurs observées pour l’indice de consommation à l’étape 1 (A) du processus de paramétrage et à la fin (B) du processus de paramétrage. La droite en trait pointillé est la droite de régression et la droite en trait plein est la première bissectrice. Chaque point est associé au numéro de ferme enquêtée correspondant.

La régression pour le poids d’abattage des valeurs observées sur les valeurs prédites en étape 1 (Figure 1A) et en fin de procédure (Figure 1B) montre une nette amélioration de la qualité de prédiction du modèle. La pente de la droite de régression passe ainsi de 0,06 à 0,89 et la dispersion du nuage de points diminue fortement. En fin de procédure, la pente et l’ordonnée à l’origine ne sont pas significativement différentes de 1 et 0 ($p=0,07$), respectivement.

Le RMSE du GMQ atteint 14,3 g/jour (1,77% de la valeur moyenne de GMQ) en fin de procédure. Le RMSE pour la quantité totale d’aliment consommée / porc est réduit et atteint 1,53 kg d’aliment en fin de procédure soit seulement

0,65% de la valeur moyenne. Le RMSE sur l’IC a été également atténué tout au long du processus avec une erreur finale de 0,03 kg d’aliment / kg de gain de poids (i.e. 1,07% de l’indice moyen). En effet, la régression des valeurs d’indice observées sur les valeurs prédites en étape 1 (Figure 2A) et en fin de procédure (Figure 2B) montre que la pente passe de -0,71 en étape 1 à 0,88 en fin de processus et que la dispersion a été réduite drastiquement. Néanmoins, les RMSE du TMP, du pourcentage de porcs dans la gamme de paiement et du nombre de départs par bande ne sont pas améliorés par le processus, et atteignent une erreur finale de 1,23%, 12,9% et 1,71, respectivement.

Tableau 2 – Evaluation de la capacité de prédiction du modèle à la première et à la deuxième étape du processus de paramétrage, ainsi qu'à la fin du paramétrage par examen du carré moyen de l'erreur de prédiction (RMSE), des valeurs moyennes prédites et du pourcentage de variation résiduelle (% res = RMSE/moyenne observés) pour les 21 fermes enquêtées.

	Etape 1			Etape 2			Fin paramétrage		
	RMSE	Prédit	% res.	RMSE	Prédit	% res.	RMSE	Prédit	% res.
PV initial (kg)	7,12	30,0	21%	0,09	34,0	0%	0,13	34,0	0%
PV abattage (kg)	3,25	116,0	3%	2,44	117,0	2%	0,83	116,3	1%
Indice consom. (kg/kg)	0,22	2,69	8%	0,15	2,76	5%	0,03	2,82	1%
GMQ (g/j)	58,9	854	7%	61,9	855	8%	14,3	792	2%
Aliment (kg/porc)	7,93	235,2	3%	9,94	231,5	4%	1,53	234,5	1%
TMP (%)	1,01	60,1	2%	1,02	59,8	2%	1,23	60,1	2%
Porcs dans la gamme (%)	13,9	97,2	16%	14,9	99,0	18%	12,9	96,2	15%
Nombre de départs	1,72	4,3	39%	1,85	5,2	42%	1,71	3,8	39%

3. DISCUSSION

Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer la capacité de prédiction du modèle et de développer une procédure de paramétrage appropriée pour une utilisation en élevage. Les indicateurs calculés pour les élevages enquêtés nous permettent de statuer ci-après sur la qualité de prédiction du modèle et sur la pertinence de la procédure de paramétrage.

3.1. Capacité de prédiction du modèle

Le modèle prédit de façon satisfaisante la plupart des indicateurs 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. Hauschild *et al.* (2012) ont développé un modèle qui prédit l'ingestion et la croissance des porcs et qui estime les besoins individuels quotidiens en acides aminés. Ils ont comparé les données observées d'ingestion et de GMQ de Pomar *et al.* (2007) avec les prédictions de leur modèle incluant l'effet de la variabilité entre les porcs, et avec les prédictions faites par InraPorc® avec un modèle de l'animal moyen. Pour leur évaluation ils ont utilisé la valeur absolue de l'erreur moyenne relative de prédiction (RMSAE' défini dans Wallach *et al.* (2014)). Pour le poids d'abattage, leur modèle aboutit à 1,85% de RMSAE' et InraPorc® aboutit à 5,38%. Dans l'évaluation de notre modèle nous avons obtenu un RMSAE' de 0,49%. Ces résultats suggèrent que l'incorporation de l'effet de la variabilité du potentiel entre porcs dans notre modèle a permis d'aboutir à une erreur de prédiction faible et satisfaisante.

L'erreur obtenue par le modèle pour estimer le TMP devrait pouvoir être réduite en utilisant une information plus précise de la composition des aliments distribués, non collectée dans les enquêtes. En effet, la composition des aliments est un facteur majeur influençant le TMP puisqu'elle détermine les apports de lysine et de protéines (Le Bellego *et al.*, 2002), et que la teneur en énergie nette des aliments influence l'ingestion volontaire d'aliments par les porcs (Nyachoti *et al.*, 2004).

Le modèle ne prédit pas très précisément le pourcentage de porcs dans la gamme de paiement, ni le nombre de départs par bande. Ces difficultés de prédiction peuvent avoir plusieurs origines. Dans le modèle, l'éleveur a une connaissance exacte du poids de chaque porc, alors qu'en élevage les estimations sont ponctuelles et plus ou moins précises (pesée, ficelle, œil...). Il serait donc intéressant à l'avenir d'étudier la précision d'estimation du poids des porcs par les éleveurs, puisque l'analyse de sensibilité du modèle a précédemment montré

que ce critère avait un effet sur le pourcentage estimé de porcs dans la gamme de paiement (Cadéro *et al.*, 2017b). L'origine de l'erreur faite sur le nombre de départs à l'abattoir réside peut-être dans la structure du modèle qui ne représente pas toutes les pratiques de gestion des départs existantes, mais seulement les plus courantes. Par exemple, un des éleveurs enquêtés envoie tous les porcs d'une même case à l'abattoir en même temps en considérant comme critère de choix le poids moyen de la case. Mais, par ailleurs, le nombre de départs observé par bande est difficile à appréhender en élevage ; l'analyse à l'aide des données Uniporc s'est parfois avérée délicate.

Le modèle dispose d'une capacité de prédiction satisfaisante pour la plupart des indicateurs de sortie étudiés. Il peut être utilisé de manière fiable, tout en prenant des précautions sur l'analyse du pourcentage dans la gamme, moins bien prédit, et son incidence sur le prix de vente et donc la marge dégagée par l'atelier.

3.2. Plus-value du processus de paramétrage

Le modèle peut être utilisé pour la recherche pour étudier les performances attendues en lien avec des évolutions de pratiques ou de structure, pour une ferme « moyenne » donnée. Pour une utilisation au sein d'un outil d'aide à la décision par les techniciens en charge du suivi des élevages, il devra être au préalable paramétré afin d'obtenir les performances les plus proches de la réalité de l'élevage étudié. Il sera donc nécessaire d'intégrer cette procédure dans l'outil d'aide à la décision. Cette procédure devra spécifier en entrée i) la structure de l'atelier d'engraissement et dans la mesure du possible le programme d'alimentation, ii) les paramètres les plus sensibles du modèle tels que le poids vif d'entrée en engraissement moyen, puis iii) dans un processus itératif les trois autres paramètres identifiés à savoir le poids d'abattage objectif, le GMQ et la quantité moyenne d'aliment consommée en engraissement.

La qualité de prédiction du modèle et la procédure de calibrage établie permettent donc d'envisager une utilisation du modèle pour le conseil en élevage. Il apparaît néanmoins évident que cette utilisation nécessite une connaissance fine de l'atelier d'engraissement étudié et des éventuelles pratiques particulières mises en place par l'éleveur et non représentées (demi-salles, détassage à 90 kg de poids vif, etc.). Moyennant ces précautions, des différences importantes entre les données prédites et les données observées sur l'élevage après paramétrage selon la procédure décrite ici peuvent renseigner le technicien en charge du suivi sur l'occurrence de problèmes sanitaires, de problèmes d'alimentation ou de structure de l'atelier.

CONCLUSION

Le modèle a maintenant passé avec succès trois étapes d'évaluation : par expertise, par analyse de sensibilité, et par comparaison des résultats prédits et observés sur un jeu de données. Il est donc aujourd'hui possible de l'utiliser pour la recherche et pour l'aide à la décision.

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

L'échantillon d'évaluation utilisé ici reste cependant faible et certains des résultats obtenus ont été fortement influencés par deux à trois élevages qui présentaient des particularités dans leur conduite d'élevage. Il serait donc souhaitable à l'avenir de vérifier régulièrement le comportement adéquat du modèle et, dans cet objectif, que l'outil diffusé permette de collecter de nouvelles données utilisables dans une procédure d'évaluation continue.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE avec un co-financement de l'appel à projets « Recherche finalisée et innovation » du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.
- Bellocchi G., Rivington M., Donatelli M., Matthews K., 2010. Validation of biophysical models: issues and methodologies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 109-130.
- Brossard L., Vautier B., van Milgen J., Salaün Y., Quiniou N., 2014. Comparison of in vivo and in silico growth performance and variability in pigs when applying a feeding strategy designed by simulation to control the variability of slaughter weight. *Animal Production Science*, 54, 1939-1945.
- 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. doi:10.1017/S1751731117002920.
- Cadéro A., Aubry A., Brun F., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2017b. Global sensitivity analysis of a pig fattening unit model simulating technico-economic performance and environmental impacts. *Agricultural Systems*, soumis.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., 2017c. 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.
- Chardon X., Rigolot C., Baratte C., Espagnol S., Raison C., Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., Le Gall A., Dourmad J.Y., Piquemal B., Leterme P., Paillat J.M., Delaby L., Garcia F., Peyraud J.L., Poupau J.C., Morvan T., Faverdin P., 2012. MELODIE: a whole-farm model to study the dynamics of nutrients in dairy and pig farms with crops. *Animal*, 6, 1711-1721.
- Ferguson N., 2015. Commercial application of integrated models to improve performance and profitability in finishing pigs. In: N. Sakomura, R. Gous, I. Kyriazakis & L. Hauschild (Eds), *Nutritional modelling for pigs and poultry*, 141-156.
- Gouttenoire L., Cournot S., Ingrand S., 2011. Modelling as a tool to redesign livestock farming systems: a literature review. *Animal*, 5, 1957-1971.
- Hauschild L., Lovatto P.A., Pomar J., Pomar C., 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 90, 2255-2263.
- IFIP-GTE, 2015. *Porcs Performances 2014 – Résultats de gestion des élevages de porcs – Références GTTT-GTE*. Edition IFIP, 32 p.
- Le Bellego L., van Milgen J., Noblet J., 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 80, 691-701.
- Niemi J.K., Sevon-Aimonen M.L., Pietola K., Stalder K.J., 2010. The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *Livest. Sci.*, 129, 13-23.
- Nyachoti C.M., Zijlstra R.T., Lange C.F.M.d., Patience J.F., 2004. Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions. *Can. J. Anim. Sci.*, 84, 549-566.
- Piñeiro G., Perelman S., Guerschman J.P., Paruelo J.M., 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? *Ecological Modelling*, 216, 316-322.
- Pomar C., Kyriazakis I., Emmans G.C., Knap P.W., 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, E178-E186.
- Pomar C., Pomar J., Babot D., Dubeau F., 2007. Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier. Journées Rech. Porcine, 39, 23-30.
- Prost L., Cerf M., Jeuffroy M.-H., 2012. Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 581-594.
- Quiniou N., Mener T., Montagnon F., 2013. Effet de l'incorporation de l'aliment sous forme de farine ou de miette dans la soupe sur les performances du porc en croissance et ses caractéristiques de carcasse. Journées Rech. Porcine, 45, 205-206.
- R Development Core Team 2016. R: A language and environment for statistical computing. In R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 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. Tech.*, 143, 387-405.
- Vautier B., Quiniou N., van Milgen J., Brossard L., 2013. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. *Animal*, 7, 1265-1273.
- Wallach D., Makowski D., Jones J.W., Brun F., 2014. Working with dynamic crop models: methods, tools and examples for Agriculture and Environment (Second Edition). Eds, Academic Press, Waltham, MA, 504 p.