

Estimation journalière des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation

Luciano HAUSCHILD (1), Paulo Alberto LOVATTO (1), Jesus POMAR (2), Candido POMAR (3)

(1) Universidade Federal de Santa Maria, Campus Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900, Brésil

(2) Area de Producció Animal - Centre UdL - IRTA, Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Espagne

(3) Agriculture et agroalimentaire Canada, 2000 rue Collège, Sherbrooke, Québec, J1M 1Z3, Canada

candido.pomar@agr.gc.ca

Estimation journalière des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation

L'objectif de cette étude était de développer et d'évaluer un modèle mathématique d'estimation en temps réel des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance. Ce modèle intègre une composante empirique et une composante mécaniste. La composante empirique estime pour chaque porc la consommation journalière d'aliment (CJA) et le poids vif (PV) actuel en fonction des informations collectées en temps réel sur les animaux. La composante mécaniste estime la concentration optimale en acides aminés à fournir aux animaux pour satisfaire leurs besoins. Les résultats de la composante empirique montrent que la trajectoire de la CJA et du PV des individus nourris à volonté peut être estimée 1 jour (CJA) ou 7 jours (PV) à l'avance avec une erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE) de 12 et 2 %, respectivement. La composante mécaniste du modèle estime les besoins en lysine par unité d'énergie nette avec une variation raisonnable entre les animaux (CV moyen = 7 %) et au cours du temps (CV moyen = 14%). Ainsi, les besoins estimés par le modèle sont propres à chaque animal et à chaque jour de sa croissance. Les résultats montrent que lorsque nous alimentons une population de porcs en fonction des besoins d'un individu moyen, une partie de la population ne consomme pas assez de nutriments pour satisfaire ses besoins, alors que la majorité en consomme plus que de nécessaire. Le modèle proposé dans cette étude estime les besoins de chaque individu dans le temps en tenant compte de son parcours de croissance et de consommation.

Estimating the daily individual nutrient requirements of growing-finishing pigs according to their actual growth and feed intake patterns

The objective of this study was to develop and evaluate a mathematic model able to estimate the daily nutrient requirements of individual growing-finishing pigs. The model includes an empirical and mechanistic component. The empirical component estimates the daily feed intake (DFI) and BW based on individual pig information collected in real time. The mechanistic component estimates the optimal concentration of amino acid that must be offered to pigs to meet their requirements. The empirical component results indicate that the DFI and BW trajectories of individual pigs fed ad libitum could be predicted 1 (DFI) or 7 days (BW) ahead with an mean absolute percentage error of 12 and 2 %, respectively. The mechanistic component estimates the optimal lysine to net energy ratio with reasonable between-animal (average CV = 7 %) and over-time variation (average CV = 14 %). Thus, the nutrient requirements estimated by the model are animal and time dependents and they follow in real-time the individual DFI and BW growth patterns. This work is part of the development of precision feeding techniques allowing the right amount of feed with the right composition at the right time to be provided to each pig in the herd.

INTRODUCTION

En conditions commerciales, les besoins nutritionnels peuvent être définis comme étant la quantité de nutriments nécessaires pour optimiser un facteur de production tel que le gain de poids ou le coût d'alimentation. Les méthodes empirique et factorielle sont les méthodes les plus utilisées pour estimer les niveaux optimaux de nutriments des aliments commerciaux. Ces deux méthodes sont cependant déterministes et leurs prédictions invariables dans le temps, puisqu'elles ne tiennent pas compte de la variabilité inter- ou intra-animale (Hauschild et al., 2009), des changements des animaux dans le temps ou de l'environnement dans lequel ils évoluent.

Des modèles mathématiques utilisant la méthode factorielle sont aujourd'hui proposés pour prédire la croissance des animaux ou leurs besoins nutritionnels en raison de la complexité de ces réponses et des nombreux facteurs qui les modulent (Green et Whittemore, 2003; Pomar et al., 2003; van Milgen et al., 2008). En effet, ces modèles factoriels prennent en compte les interactions entre les nutriments, l'animal et son environnement, ce qui contraste avec les valeurs fixes obtenues avec la méthode empirique. Ces modèles se doivent cependant d'être bien calibrés pour assurer une estimation précise des quantités de nutriments aptes à optimiser la réponse des animaux. Ces modèles demeurent toutefois, limités par le fait que,

- La trajectoire de consommation et de croissance de chaque porc peut différer de celle qui a été observée dans la population de référence;
- Les animaux sont élevés en groupes hétérogènes sur le plan de la génétique, du sexe, de la santé et de la conduite de l'élevage;
- Les animaux sont alimentés en phases d'alimentation de durée variable.

La porciculture de précision est un concept agricole qui s'appuie sur la grande variabilité qui existe entre les animaux ou entre les unités de production. Cette variabilité résulte des différences entre les animaux en ce qui concerne la génétique, l'âge ou le poids. Par conséquent, chaque individu a des besoins nutritionnels qui lui sont propres. L'alimentation de précision concerne l'utilisation de techniques d'alimentation permettant de fournir à chaque porc du troupeau un aliment conforme à ses besoins, en quantité adéquate et au moment opportun. L'alimentation de précision est proposée comme une démarche essentielle à l'accroissement de l'efficacité d'utilisation de l'azote, du phosphore et d'autres nutriments, en diminuant les apports de nutriments excédentaires. Une alimentation dite de précision requiert notamment la détermination précise de la valeur nutritive des aliments et des besoins nutritionnels des animaux, la prédiction de la réponse de ces derniers aux apports nutritionnels, la formulation d'aliments minimisant l'excès de nutriments et l'ajustement concomitant des apports aux besoins des animaux. Cet ajustement concomitant des apports de nutriments requiert une détermination continue des besoins nutritionnels de chacun des animaux du troupeau en fonction de leur état et de leur parcours de croissance et de consommation. L'objectif de ce projet était donc de

développer et d'évaluer un modèle mathématique capable de fournir cette information à des systèmes permettant une alimentation de précision.

1. DEVELOPPEMENT DU MODELE

1.1. Description générale

Le modèle mathématique proposé utilise une approche dite « à boîte grise » (grey-box; Roush, 2006a), qui combine un modèle empirique (black-box) et un modèle mécaniste (knowledge-base; Figure 1). Dans le modèle empirique, la consommation journalière d'aliment (CJA) et le gain de poids (GP) du jour courant sont estimés, pour chaque porc, avec des équations empiriques calibrées chaque jour en utilisant la CJA et le PV de chaque individu mesurés les jours précédents. Dans le modèle mécaniste, les forces motrices sont le PV, la CJA et le GP estimés pour le jour courant. Ces variables sont en effet utilisées avec une approche factorielle pour estimer les besoins individuels et la concentration optimale en nutriments des aliments devant être fournis le jour courant à chaque animal. Les variables de taux sont exprimées en base journalière, l'énergie en mégajoules et les masses en kilogrammes lorsqu'elles ne sont pas indiquées explicitement dans le document. L'appétit des animaux étant exprimé sur une base d'énergie nette (EN), les besoins en lysine iléale standardisée et les autres acides aminés sont aussi exprimés sur cette base (ex. Lys:EN). Les besoins d'autres nutriments tels que les minéraux ou les vitamines ne sont pas considérés dans ce modèle.

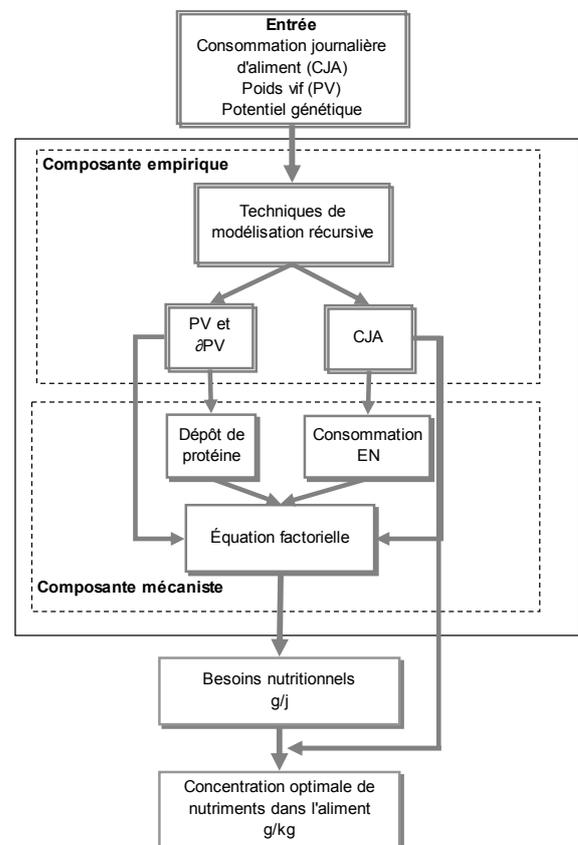


Figure 1 - Schéma général du modèle avec les composantes empirique et mécaniste utilisées pour estimer les besoins nutritionnels journaliers et individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation

1.2. Composante empirique

La composante empirique du modèle permet d'estimer la CJA et le GP du jour courant à partir des mesures antérieures de CJA et de PV de chaque porc. Pour ce faire, les méthodes de prédiction utilisant des techniques de lissage exponentiel, qui attribuent une importance différente aux observations sont souhaitables, car elles réduisent les fluctuations fréquemment observées avec les séries chronologiques de données. Étant donné que la consommation et le poids des porcs montrent des tendances à long terme, la méthode de prédiction de séries chronologiques de données à double lissage exponentiel a été choisie. L'équation qui permet de prédire les valeurs de CJA et PV m jours à l'avance du jour actuel t peut être écrite comme suit,

$$CJA_{t+m}(\text{kg}) = a_t + b_t m$$

$$PV_{t+m}(\text{kg}) = a_t + b_t m$$

où CJA_{t+m} est la consommation journalière, PV_{t+m} est le poids estimé pour le jour $t+m$, a_t et b_t sont respectivement les ordonnées à l'origine et les pentes des équations de prédiction. Le modèle considère que la CJA est mesurée tous les jours, alors que le poids des porcs peut être mesuré à des intervalles variables. L'ordonnée à l'origine a_t et la pente b_t sont estimés comme suit,

$$a_t = 2S'_t - S_t,$$

$$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S'_t - S_t),$$

$$0 \leq \alpha < 1,$$

où α est la constante de lissage utilisée pour attribuer un poids relatif aux observations, S'_t et S_t sont respectivement les exposants de lissage exponentiel simple et double au temps t . Les valeurs S'_t et S_t sont calculées comme suit,

$$S'_t = \alpha X_t + (1-\alpha)S'_{t-1},$$

$$S_t = \alpha S'_t + (1-\alpha)S_{t-1},$$

où X_t est la mesure de la CJA ou du PV au temps t . Les valeurs de α qui décrivaient le mieux les trajectoires moyennes des différents porcs de la population étaient de 0,05 pour CJA et 0,10 pour PV. Le gain de poids (GP_t) pour chaque intervalle a été estimé comme suit,

$$GP_t(\text{kg}) = \frac{PV_{t+m} - PV_t}{m},$$

1.3. Composante mécaniste

1.3.1. Caractérisation de chaque porc

Consommation volontaire d'énergie nette: L'approche adoptée pour estimer la consommation d'EN est basée sur le principe que l'animal régule sa consommation d'aliment en fonction de la densité énergétique de l'aliment (EN_{aliment}) de façon à satisfaire ses besoins en EN. Ainsi, la consommation estimée d'EN à un temps t (CEN_t) est obtenue comme suit,

$$CEN_t(\text{MJ}) = CJA_t \times EN_{\text{aliment}}$$

Dépôt de protéines: La composition du gain de poids n'est pas connue et par conséquent, le dépôt de protéines (DP_t) est estimé en assumant que la proportion de protéines dans le gain (DP/GP) est constante, c'est-à-dire,

$$DP_t(\text{g}) = GP_t \times GP/DP$$

La valeur de GP/DP peut être ajustée en fonction du sexe, du génotype, etc.

1.4. Estimation des besoins en lysine et autres acides aminés

Les besoins quotidiens de protéines et d'acides aminés sont calculés en additionnant les besoins d'entretien (BE_{AA}) et de croissance, tel que proposée par van Milgen et al. (2008). Les besoins d'entretien pour chaque acide aminé incluent les pertes endogènes basales (EB_{AA}) ainsi que les pertes dues à la desquamation du tube digestif (DTD_{AA}) et les pertes liées au turn-over basal des protéines corporelles (TPC_{AA}). Pour estimer les pertes EB_{AA} , un paramètre spécifique pour chaque AA est multiplié par le $PV^{0,75}$ (Noblet et al., 2002). La même procédure est adoptée pour estimer les pertes de DTD_{AA} en utilisant les paramètres proposés par Moughan (1999). Les pertes liées au TPC_{AA} sont caractérisées par un paramètre spécifique et proportionnel à la consommation de matière sèche (CMS) proposées par Moughan (1999). Ainsi, BE_{AA} est estimé comme suit,

$$BE_{AA}(\text{g}) = (EB_{AA} \times PV^{0,75}) + (DPD_{AA} \times PV^{0,75}) + (TPC_{AA} \times CMS)$$

Les besoins en lysine pour la croissance ($LysC$) sont quant à eux estimés comme suit,

$$LysC_t(\text{g}) = (DP_t \times Lys_{\text{Conc}}) / Ef_{Lys}$$

où Lys_{Conc} est la proportion de lysine dans DP et Ef_{Lys} est le rendement d'utilisation de la lysine iléale standardisée pour la rétention protéique. La valeur de ces paramètres est considérée constante pour l'ensemble de la croissance et pour tous les animaux avec des valeurs de 0,069 (Mahan et Shields, 1998) et 0,750 (Mohn et al., 2000), respectivement. Les besoins des autres acides aminés ainsi que ceux de protéines sont estimés par rapport à la lysine selon un profil idéal en acides aminés (NRC, 1998). Finalement, les concentrations optimales de ces nutriments dans les aliments sont calculées en divisant le besoin journalier total par la consommation attendue d'EN.

1.5. Fonctionnement du modèle

Le modèle a besoin d'au moins 7 mesures consécutives de consommation et d'au moins deux mesures de poids pour fonctionner. Avec ces informations, le modèle empirique estime tout d'abord CJA_{t+1} , PV_{t+1} et GP_{t+1} . L'information recueillie les jours suivants est incorporée dans la base de données et permet ainsi l'estimation des besoins en lysine et ceux des autres acides aminés ainsi que la concentration optimale de ces nutriments dans les aliments pour le jour $t+1$ par le modèle mécaniste.

2. EVALUATION DU MODELE

Les données provenant d'une population de porcs charcutiers femelles décrites par Pomar et al. (2007) ont été utilisées pour l'évaluation du modèle. Les porcs avaient été nourris à volonté pendant 96 jours, soit entre approximativement 25 et 105 kg de PV. La CJA, le PV hebdomadaire des porcs et la composition en protéines des animaux vivants au début et à la fin de l'expérience ont été mesurées dans cette étude. Seules les données de 40 porcs ayant une consommation d'aliment et une croissance corporelle régulière ont été utilisées.

Les valeurs de la CJA et de PV mesurées par Pomar et al. (2007) et celles prédites par le modèle empirique ont été comparées. La

cohérence des valeurs prédites par le modèle mécaniste a été aussi évaluée. Enfin, le modèle proposé a été évalué en comparant ses estimations avec celles du module de croissance du logiciel InraPorc®. Ce modèle nécessite de caractériser un animal représentatif de la population, normalement l'animal moyen issu des données collectées précédemment. Ce logiciel permet de simuler la consommation et la croissance (CJA et PV) du représentant de la population et de calculer les besoins en nutriments (ex. Lys) de façon journalière. Le représentant de la population a été caractérisé avec les mêmes données mesurées par Pomar et al. (2007).

La précision des modèles proposés et d'InraPorc pour estimer la CJA et le PV a été évaluée avec l'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE), tel que proposé par Roush et al. (2006b) et calculée comme suit,

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n} \times 100, (y_t \neq 0)$$

où y_t est la valeur observée au temps t , \hat{y}_t est la valeur prédite par le modèle et n est le nombre d'observations. Compte tenu que le logiciel InraPorc estime la CJA et le PV pour un individu moyen seulement, les valeurs prédites par ce modèle ont été comparées avec les données observées de chaque porc séparément. Les valeurs de MAPE obtenues avec les deux modèles ont été comparées à l'aide de la procédure GLM de SAS (SAS Institute Inc., NC, USA).

3. RESULTATS

3.1. Composante empirique

La trajectoire individuelle de la CJA et du PV des porcs nourris à volonté peut être estimée 1 ou 7 jours à l'avance avec une

MAPE moyenne de 12,5 et 1,8 %, respectivement (Tableau 1). La MAPE moyenne obtenue avec le modèle InraPorc pour le porc moyen de la population était quant à elle de 14,7 % pour la CJA et de 5,4 % pour le PV. Il est à noter que les trajectoires de consommation et gain de poids utilisées dans InraPorc ont été déterminées a priori.

La CJA et le PV observés et estimés par le modèle proposé et par InraPorc en fonction du temps sont présentés dans la Figure 2. Les écarts entre les trajectoires de CJA et de PV observés ou prédits avec le présent modèle ou avec celui d'InraPorc sont faibles (Figure 2a et 2d).

Cependant, la comparaison des erreurs (MAPE) montre que le modèle proposé est plus précis que celui d'InraPorc pour estimer CJA ($P < 0,002$; 2,41 vs 2,76 %) et PV ($P < 0,001$; 0,95 vs 1,44 %). Afin de mieux illustrer et évaluer le comportement des différents modèles, il est intéressant de les étudier sur des individus particuliers. Pour ce faire, nous avons identifié comme typiques les individus ayant une trajectoire d'ingestion et croissance sans oscillations majeures au cours de la croissance, les autres étant classés comme atypiques. Le modèle proposé s'ajuste raisonnablement aux valeurs observées, l'objectif étant de suivre la trajectoire moyenne de la CJA et de PV pour chaque porc (Figures 2b et 2e).

Cependant, la qualité de l'ajustement est moindre pour les individus atypiques (Figures 2c et 2f). Compte tenu que le modèle InraPorc a été calibré a priori pour représenter le comportement moyen de la population, celui-ci tend à s'écarter davantage des valeurs observées, et ce, plus particulièrement pour les porcs atypiques (Figures 2c et 2f).

En général, les valeurs de MAPE estimées pour les prédictions d'InraPorc sont plus élevées que celles obtenues avec le modèle proposé, et ce, indépendamment que l'individu soit typique ou atypique.

Tableau 1 – Consommation d'aliment (CJA) et poids vif (PV) observé et estimé pour le modèle proposés et InraPorc et l'erreur absolue moyenne (MAPE, %) observé lors de la prédiction des ces deux variables (CJA et PV) avec les modèles

	Moyenne	Écart-type	Maximum	Minimum
Consommation d'aliment (CJA), kg/j				
Valeurs observées	2,53	0,21	2,97	2,04
Modèle proposé	2,53	0,21	2,97	2,03
Modèle InraPorc	2,50	-	-	-
Poids vif (PV) final, kg				
Valeurs observées	104,5	5,3	112,0	91,0
Modèle proposé	105,8	5,5	116,8	92,9
Modèle InraPorc	106,7	-	-	-
MAPE CJA, %				
Modèle proposé	12,45	8,78	19,89	2,71
Modèle InraPorc	14,72	10,04	24,60	3,51
MAPE PV, %				
Modèle proposé	1,85	0,65	4,00	0,85
Modèle InraPorc	5,38	2,93	13,58	2,93

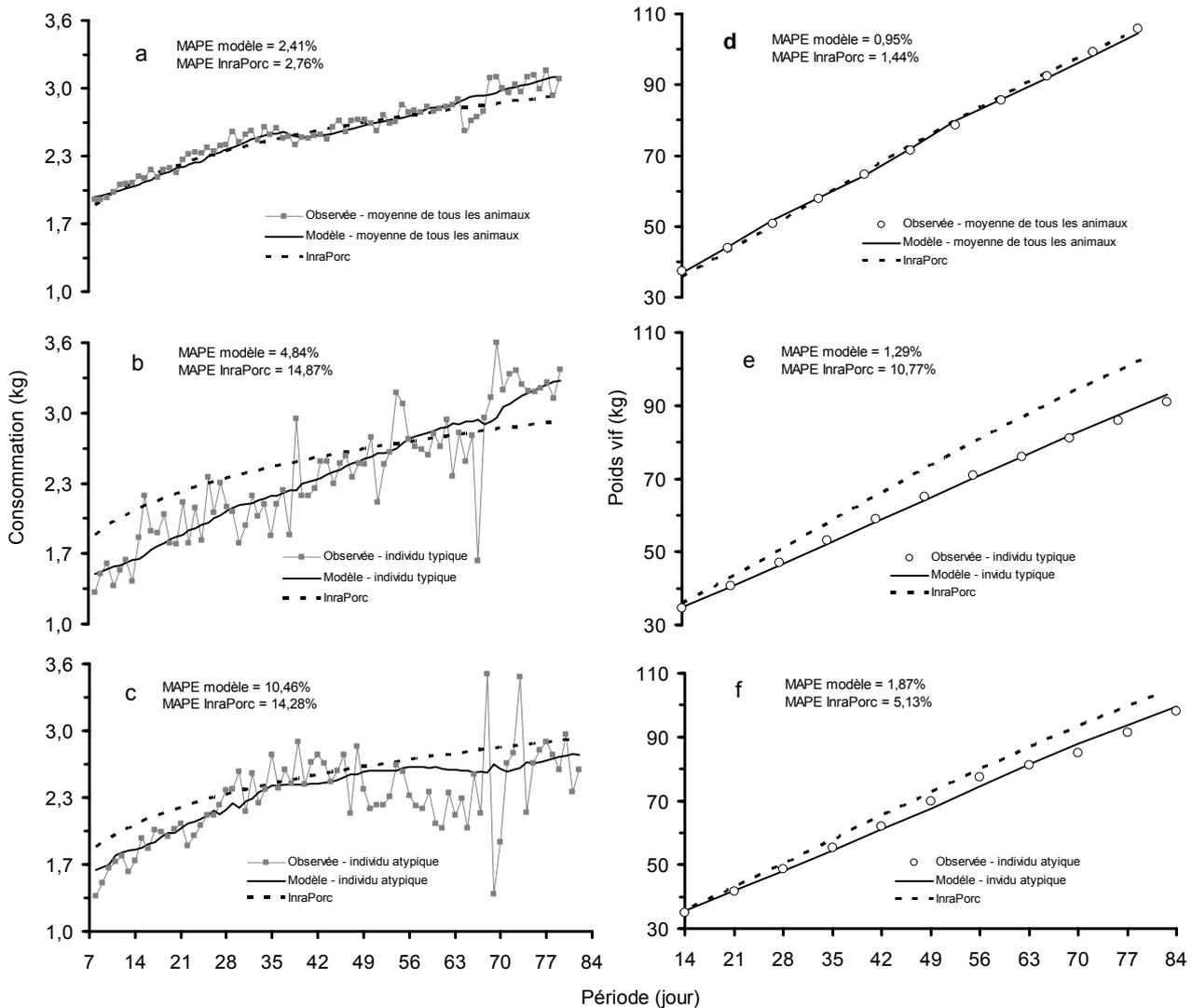


Figure 2 - Consommation journalière [moyenne de la population (a) et d'un individu typique (b) et atypique (c)] et du poids vif hebdomadaire [moyenne de la population (d) et d'un individu typique (e) et atypique (f)] observés et prédits par le modèle proposé et par celui d'InraPorc en fonction du temps

3.2. Composante mécaniste

La valeur des paramètres et la structure du modèle ont permis des estimations cohérentes de l'ingestion d'EN et des besoins de lysine (Lys:EN; Figure 3), alors que celle pour GP l'est moins. On peut observer une augmentation de la variance associée à l'ingestion d'EN entre les animaux avec le temps (Figure 3a), alors qu'elle est presque constante pour le GP (CV moyen = 7%; Figure 3b). Les changements abrupts de GP en fonction du temps résultent du fait que le PV a été mesuré à 7 jours d'intervalle, ce qui semble trop long pour certains individus. Des mesures de poids plus fréquentes permettraient la détermination de trajectoires de GP plus souples. Les ratios Lys:EN estimés pour la population de porcs étudiée en fonction du temps ont montré une variation raisonnable entre animaux (CV moyen = 7 %) et dans le temps (CV moyen = 14 %; Figure 2c). Ces valeurs ont varié de 0,80 à 1,03 g / MJ (moyenne de 0,89) au premier jour.

En somme, les données simulées par le présent modèle montre une augmentation exponentielle de l'ingestion d'EN,

une évolution quasi constante du GP et une diminution exponentielle du ratio Lys:EN au cours du temps.

Ces trajectoires diffèrent de celles simulées avec InraPorc (Figure 3) pour GP et Lys:EN avec une augmentation marginale jusqu'à une asymptote suivie d'une diminution. Les résultats montrent clairement que lorsque nous alimentons une population de porcs en fonction des besoins d'un individu moyen, une partie de la population ne consommera pas assez de nutriments pour satisfaire ses besoins pendant que la majeure partie consommera plus de nutriment que nécessaire.

4. DISCUSSION

4.1. Composante empirique

Lorsque l'objectif est de suivre le poids d'une population, le modèle empirique utilisé dans cette étude offre une bonne précision (MAPE = 1,85 %). Il est cependant moins précis pour la CJA (MAPE = 12,45 %), et ce, en raison du fait que le modèle a été calibré pour estimer la consommation moyenne sans tenir compte des variations entre les jours. Un grand nombre d'animaux présentent cependant des changements

temporaires dans leur trajectoire de consommation et poids, probablement liés à des troubles sanitaires. La capacité du modèle empirique utilisé à suivre ces trajectoires peut être ajustée à l'aide du paramètre α . Les valeurs de α utilisées dans cette étude permettent de suivre la trajectoire moyenne de chaque individu en ignorant les changements journaliers, mais en prenant toutefois en compte les changements à plus long terme (Figure 2c).

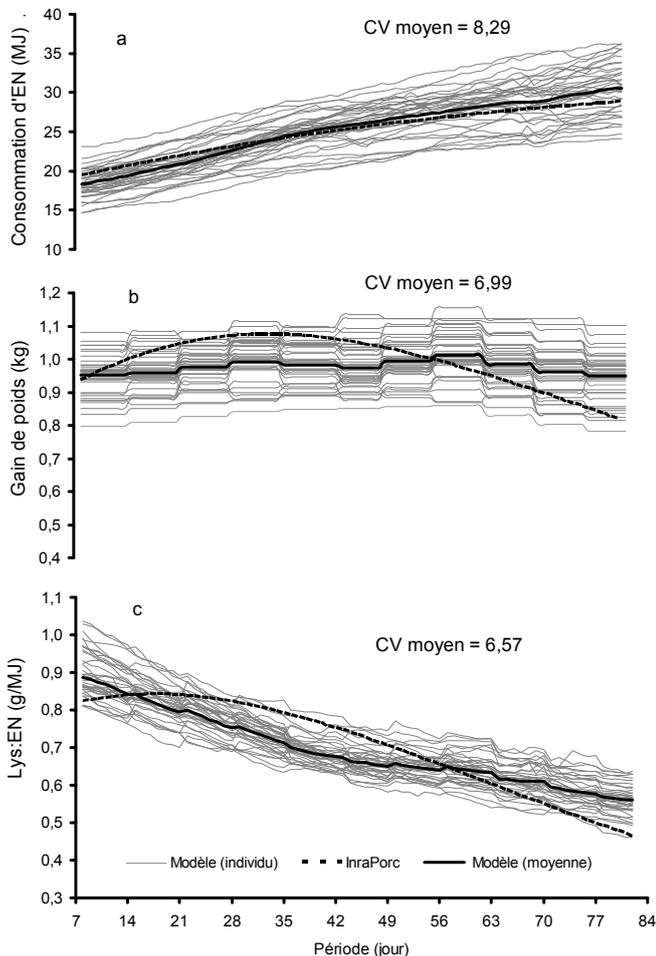


Figure 3 – Consommation d'énergie nette (a), gain de poids (b) et concentration optimale de lysine (Lys :EN) (c) estimé pour le modèle proposé pour chaque individu et pour la moyenne de la population à l'aide d'InraPorc pour l'ensemble de la population

Les valeurs moyennes et l'écart type de MAPE étaient plus élevés pour les valeurs prédites par InraPorc que par le modèle proposé. En fait, les trajectoires de consommation et PV ont été calibrées a priori pour l'ensemble des observations avec une fonction qui s'avère peu flexible pour représenter les variations de tendance à moyen terme. Notons de plus que l'erreur de prédiction des modèles déterministes actuels, tels qu'InraPorc, devraient augmenter avec l'hétérogénéité des populations.

Le GP calculé d'après les observations et estimé par le modèle proposé n'a pas suivi une courbe de croissance typique, telle que fréquemment représentée par la fonction de Gompertz. Il est possible que certains facteurs environnementaux puissent limiter la croissance et conduisent à des trajectoires de

croissance non sigmoïdales (Schinckel et *al.*, 2002). Cela est particulièrement vrai pour des animaux avec des GP élevés comme ceux observés dans cette étude (moyenne des 967 g/j), où les trajectoires de croissance ne sont parfois pas sigmoïdales (Moughan et *al.*, 2006). Le fait de fixer a priori le type de trajectoire peut ainsi s'avérer inefficace dans certaines circonstances, comme cela semble avoir été le cas ici. Le modèle proposé permet de prendre en compte non seulement les changements de tendance de l'ensemble de la population, mais aussi les changements au cours de la croissance des animaux individuellement.

4.2. Composante mécaniste

La démarche factorielle utilisée dans le présent modèle permet l'estimation des besoins nutritionnels journaliers de chaque animal dans son environnement actuel en fonction de son parcours personnel de consommation et de croissance. Cette estimation individuelle et continue des besoins nutritionnels diffère significativement des méthodes d'estimation des besoins représentées dans les modèles de simulations actuelles, tel InraPorc. En effet, ces derniers estiment les besoins nutritionnels de l'ensemble de la population en assumant que les porcs actuels ont un potentiel génétique similaire à celui de la population de référence, et que les conditions d'élevage ainsi que les trajectoires de consommation et de croissance resteront inchangées. De nombreux facteurs tels que la santé, la température ambiante, etc. modifient la réponse des animaux et il est difficile d'en tenir compte dans ces modèles. Notons de plus que les besoins nutritionnels diffèrent grandement en forme et en magnitude entre les individus d'une population (Hauschild et *al.*, 2009). Ainsi, plusieurs études ont démontré qu'utiliser l'animal moyen pour estimer les besoins d'une population implique que les besoins d'un certain nombre d'animaux ne seront pas couverts et que par conséquent ils ne maximiseront pas leurs performances (Pomar et *al.*, 2003; Brossard et *al.*, 2009; Hauschild et *al.*, 2009) où au contraire, que certains reçoivent un excès de nutriments pratique à laquelle est associée un risque environnemental. De nouvelles approches caractérisant les porcs individuellement au sein d'une population en prenant en compte les relations entre les paramètres du modèle sont aujourd'hui proposées (van Milgen et *al.*, 2008; Brossard et *al.*, 2009).

L'estimation en continu des besoins individuels des animaux est essentielle au développement d'une alimentation de précision utilisant des techniques d'alimentation capables de fournir à chaque porc du troupeau un aliment conforme à ses besoins, en quantité adéquate et au moment opportun. Le modèle proposé fait donc partie intégrante de cette démarche qui vise à la pérennisation de la production porcine en considérant les impacts tant environnementaux qu'économiques. Quoique l'approche empirique utilisée pour estimer les consommations et gain de poids ne fournisse pas d'indications sur les mécanismes biologiques impliqués dans l'évolution de ces variables, elle permet d'estimer avec précision l'état actuel et le parcours de croissance et de consommation de chacun des animaux du troupeau (Roush, 2006a). Les paramètres utilisés dans les composantes mécanistes du présent modèle (ex. entretien) ont cependant été tirées des modèles de populations actuels et leur validité pour évaluer les besoins individuels nécessite d'être démontrée.

CONCLUSION

Le modèle proposé est capable de suivre la trajectoire moyenne de consommation d'aliment ainsi que le poids vif de chaque individu en temps réel avec une bonne précision.

Fondé sur ces trajectoires et utilisant des équations factorielles classiques, le modèle permet d'estimer les besoins de chaque individu de façon dynamique en considérant son parcours de

croissance et de consommation, et ce, sans avoir besoin de représenter tous les mécanismes impliqués.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier le Ministère d'Éducation du Brésil (CAPES) et Agriculture et Agroalimentaire du Canada pour le soutien financier à ce projet et M.-P. Létourneau-Montminy pour son aide à la préparation de ce manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brossard L., Dourmad J.-Y., Rivest J., van Milgem, J., 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal*, 1-10.
- Green D. M., Whittemore C. T., 2003. Architecture of a harmonized model of the growing pig for the determination of dietary net energy and protein requirements and of excretions into the environment (IMS pig). *Anim. Sci.*, 77, 113-130.
- Hauschild L., Lovatto P. A., Pomar C., 2009. Comparaison des méthodes empirique et factorielle d'estimation des besoins nutritionnels appliquées au porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 41, 147-148.
- Mahan D. C., Shields R. G., 1998. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *J. Anim. Sci.*, 76, 513-521.
- Mohn S., Gillis A. M., Moughan P. J., de Lange C. F., 2000. Influence of dietary lysine and energy intakes on body protein deposition and lysine utilization in the growing pig. *J. Anim. Sci.*, 78, 1510-1519.
- Moughan P. J., 1999. Protein metabolism in the growing pig. In: Kyriazakis I. (ed.). *A quantitative biology of the pig*, p 299-332, CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Moughan P. J., Jacobson, L. H., Morel, P. C. H., 2006. A genetic upper limit to whole-body protein deposition in a strain of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 84, 3301-3309.
- Noblet J., Sève B., Jondreville C., 2002. Valeurs nutritives pour les porcs. In: Sauvant D., Perez J.-M., Tran G. (Eds.), *Tables de composition et de valeur nutritive des Matières premières destinées aux Animaux D'Élevage*. INRA Editions, Paris, p 25-35.
- NRC, 1998. *Nutrient requirements of swine*. 10th revised ed. National Academy of Science, Washington, DC.
- Pomar C., Kyriazakis I., Emmans G. C., Knap P. W., 2003. Modeling stochasticity: dealing with populations rather than individual pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, E178-186.
- 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.
- Roush W. B., 2006a. Advancements in empirical models for predictions and prescription. In: Fisher C., Gous R., Morris T. (eds.), *Mechanistic modelling in pig and poultry production*, p 97-116, CABI, Wallingford.
- SAS, 2003. *Institute, Inc. SAS/STAT user's guide: Statistics (version 6, 4th ed.) Vol. 2*. SAS Institute, Inc. Cary, NC.
- Roush W. B., Dozier W. A., Branton S. L., 2006b. Comparison of gompertz and neural network models of broiler growth. *Poult. Sci.*, 85, 794-797.
- Schinckel A. P., Smith J. W., Tokach M. D., Drits S. S., Einstein M., Nelssen J. L., Goodband R. D., 2002. Two on-farm data collection methods to determine dynamics of swine compositional growth and estimates of dietary lysine requirements. *J. Anim. Sci.*, 80, 1419-1432.
- 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.

