

L'alimentation de précision chez le porc charcutier : estimation des niveaux dynamiques de lysine digestible nécessaires à la maximisation du gain de poids

Guo Hua ZHANG (1,2), Candido POMAR (2), Jesus POMAR (3), Jérôme R.E. DEL CASTILLO (4)

(1) Northwest University for Nationalities, Lanzhou, Gansu Province 730030, Chine

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

(3) Département d'ingénierie agricole, Universitat de Lleida, Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Espagne

(4) Département de sciences cliniques, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Montréal, Saint-Hyacinthe, Québec, Canada J2S 7C6

Candido.Pomar@AGR.GC.CA

Cette étude a été réalisée au Centre de recherche d'Agriculture et agroalimentaire Canada à Sherbrooke, Québec, avec la participation économique d'Aliments Breton, Inc., St-Bernard, Québec, et la collaboration technique de N. Ouellet et le personnel du Centre porcin. Les nourrisseurs automatiques ont été développés grâce à la collaboration de E. Arbiol et V. Lopez (Universitat de Lleida).

L'alimentation de précision chez le porc charcutier : Estimation des niveaux dynamiques de lysine digestible nécessaires à la maximisation du gain de poids

L'objectif du présent travail était de calibrer un modèle mathématique permettant d'estimer en temps réel les besoins individuels en lysine des porcs en croissance dans les intervalles de 25 à 55 kg et de 70 à 100 kg de poids vif (PV). Quatre aliments expérimentaux ont été mélangés pour fabriquer six régimes alimentaires contenant 60, 70, 80, 90, 100 ou 110% des besoins de lysine estimés chaque jour pour chaque porc, tout en maintenant un niveau adéquat des autres nutriments. Soixante porcs ont été assignés aux traitements à 25 kg de PV et 60 autres à 70 kg et nourris avec le programme alimentaire correspondant. Les porcs ont été logés en groupes de 60 animaux, mais nourris individuellement. Chez les jeunes animaux, le niveau de lysine n'a pas modifié la consommation d'aliment alors qu'elle était 5% supérieure chez les animaux plus âgés nourris à 90% du besoin. Le gain de poids (GMQ) et dépôt de protéine (DP) ont augmenté linéairement ($P < 0,001$) avec le niveau de lysine des aliments. Dans le premier groupe cependant, les GMQ (1,00 kg/j) et DP (174 g/j) maximaux ont été observés chez les animaux nourris selon ses besoins (100%). Pour le second groupe, les GMQ (1,19 kg/j) et DP (185 g/j) maximaux ne semblent pas avoir été atteints avec les aliments fournissant 110% du besoin estimé en lysine. La méthode factorielle utilisée dans cette étude pour estimer les besoins dynamiques individuels en lysine semble appropriée pour les porcs nourris entre 25 à 55 kg de PV alors qu'elle semble sous-estimer les besoins des porcs plus lourds.

Precision feeding in growing-finishing pigs: Estimating the dynamic requirements of lysine supporting maximal daily gain

The objective of this study was to calibrate the mechanistic component of a mathematical model estimating in real-time the individual lysine requirements of growing (from 25 to 55 kg body weight, BW) and finishing (from 70 to 100 kg BW) pigs. Four experimental diets were mixed daily at different proportions to provide each pig with a diet containing 60, 70, 80, 90, 100 or 110% of the estimated lysine requirements while maintaining adequate levels of all other nutrients. Sixty pigs were assigned to treatments at 25 kg BW (group 25-55) and 60 others at 70 kg BW (group 70-100). Pigs were housed in groups of 60, but fed individually. In the 25-55 pig-group, the level of lysine did not affect feed intake, but in the 70-100 group it was 5% higher in pigs fed 10% below the requirements. Average daily gain (ADG) and protein deposition (PD) increased linearly ($P < 0.001$) with the level of dietary lysine. In the first group, however, maximal ADG (1.00 kg/d) and PD (174 g/d) were observed in animals fed according to their requirements (100%). For the second group, maximal ADG (1.19 kg/d) and PD (185 g/d) did not appear to have been reached with diets providing 110% of estimated lysine requirements. The factorial method used in this study to estimate the dynamic lysine requirements of individual pigs seems appropriate for pigs fed between 25 to 55 kg BW, but it appears to underestimate the requirements of heavier pigs.

INTRODUCTION

Le coût élevé des matières premières, l'utilisation de ressources non renouvelables et la charge environnementale résultant de l'épandage du lisier sont des défis majeurs que doivent relever les producteurs de porcs.

Dans ce contexte, l'alimentation de précision est proposée comme une démarche permettant d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote (N), du phosphore (P) et d'autres nutriments. Les premières estimations concernant l'utilisation de cette démarche nutritionnelle montrent une réduction de plus de 5% des coûts alimentaires accompagnée de réductions de l'ordre de 38% de l'excrétion d'azote et de phosphore (Pomar *et al.*, 2010).

L'élevage de précision est un concept agricole qui s'appuie sur la grande variabilité qui existe entre les animaux ou entre les unités de production (Pomar *et al.*, 2009).

Cette variabilité résulte des différences entre les animaux en ce qui concerne la génétique, l'âge, le poids, etc. (Brossard *et al.*, 2009 ; Wellock *et al.*, 2003) et qui fait que chaque individu a des besoins nutritionnels qui lui sont propres (Hauschild *et al.*, 2010a). 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. 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 (Pomar *et al.*, 2009).

Cet ajustement concomitant des apports de nutriments requiert une détermination continue des besoins nutritionnels de chacun des animaux du troupeau en fonction de leur poids et de leur parcours de croissance et de consommation.

L'objectif du présent travail est de calibrer la partie mécaniste du modèle mathématique d'estimation en temps réel des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance récemment proposé (Hauschild *et al.*, 2010b) dans les intervalles de 25 à 50 kg et de 70 à 100 kg de poids vif (PV) de façon à maximiser les performances de l'ensemble de la population.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Régimes expérimentaux

Quatre aliments expérimentaux (A1, A2, B1 et B2) ont été utilisés dans cette expérimentation (Tableau 1). L'aliment A1 a été formulé pour satisfaire les besoins nutritionnels d'animaux très performants au début de la croissance tandis que B1 a été formulé pour satisfaire ceux d'animaux peu performants à la fin de la croissance (NRC, 1998). Les besoins en P et calcium (Ca) ont été estimés selon Jondreville et Dourmad (2005). De la phytase microbienne (500 FTU/kg ; *Aspergillus Niger*, Natuphos®) a été incorporée aux aliments expérimentaux. Les aliments expérimentaux A2 et B2 contenaient respectivement 60% de la lysine (Lys) digestible iléale apparente (LysDIA) des aliments expérimentaux A1 et B1, tout en gardant les mêmes niveaux pour les autres nutriments. Le maïs, le tourteau de soja (48%) et le blé étaient les principaux ingrédients.

Tableau 1 - Ingrédients et caractéristiques nutritionnelles des aliments expérimentaux

	Aliments expérimentaux			
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
Ingrédients, g/kg				
Blé	182.0	181.18	509.87	509.87
Maïs	391.80	398.35	271.45	273.80
Orge	100.00	100.00	150.00	150.00
Son de blé	100.00	100.00	45.00	44.73
Tourteau de soja (48%)	182.12	182.12	-	-
Prémélange minéral et vitaminique ¹	5.00	5.00	5.00	5.00
DL-Méthionine	1.61	1.60	-	-
L-Lysine HCl (98%)	5.68	-	2.27	0.20
L-Thréonine	1.93	1.92	-	-
L-Tryptophane	0.37	0.36	-	-
Pierre à chaux	5.00	5.00	-	-
Phosphate bicalcique	7.55	7.54	2.03	2.02
Carbonate de calcium	12.51	12.52	10.34	10.35
Sel	5.98	5.98	5.73	5.72
Phytase (Natuphos 5000PH)	0.10	0.10	0.10	0.10
Nutriments majeurs², %				
Matière sèche	89.41	88.95	89.42	89.16
Énergie Nette (MJ/kg)	10.05	10.05	10.05	10.05
Protéine brute	16.99	16.50	9.78	9.60
Calcium	0.73	0.73	0.50	0.50
Phosphore total	0.56	0.56	0.36	0.36
Phosphore digestible	0.28	0.28	0.13	0.13
Lysine DIA	1.22	0.69	0.43	0.25
Méthionine DIA	0.38	0.39	0.15	0.17
Tryptophane DIA	0.20	0.20	0.10	0.10
Thréonine DIA	0.69	0.62	0.23	0.23
Histidine DIA	0.40	0.35	0.18	0.20
Isoleucine DIA	0.71	0.52	0.25	0.34
Leucine DIA	0.30	0.16	0.66	0.69
Cystine DIA	0.26	0.29	0.24	0.14
Phénylalanine DIA	0.77	0.67	0.38	0.40
Tyrosine DIA	0.57	0.50	0.27	0.28
Valine DIA	0.79	0.59	0.35	0.44

¹ 1kg de aliments expérimentaux A¹ et A² devrait fournir les nutriments suivants : vitamine A, 9900 UI ; vitamine D, 990 UI ; vitamine E, 30 UI ; vitamine K (ménadiolone), 0.78 mg ; vitamine B₁₂, 0.02 mg ; niacine, 14 mg ; acide pantothénique, 11.57 mg ; pyridoxine, 0.83 mg ; riboflavine, 3.17 mg ; thiamine, 1.26 mg ; choline, 480 mg ; cuivre, 121 mg ; iode, 0.29 mg ; fer, 361 mg ; manganèse, 85 mg ; sélénium, 0.3 mg ; zinc, 164 mg ; 1 kg de aliments expérimentaux B₁ et B₂ devrait fournir les nutriments suivants : vitamine A, 7500 UI ; vitamine D, 750 UI ; vitamine E, 22 UI ; vitamine K (ménadiolone), 0.68 mg ; vitamine B₁₂, 0.02 mg ; niacine, 11 mg ; acide pantothénique, 10.5 mg ; pyridoxine, 0.4 mg ; riboflavine, 2.68 mg ; thiamine, 0.99 mg ; choline, 400 mg ; cuivre, 107 mg ; iode, 0.24 mg ; fer, 247 mg ; manganèse, 65.5 mg ; sélénium, 0.3 mg ; zinc, 133 mg.

² EN et P digestible estimées à partir des tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004). Les digestibilités iléales apparentes des acides aminés autres que le tryptophane ont été obtenues dans l'essai de digestibilité. La digestibilité iléale apparente du tryptophane a été obtenue à partir des tables INRA-AFZ corrigée par la MAT des aliments expérimentaux.

1.2. Estimation du besoin en lysine et autres nutriments

La consommation journalière spontanée d'aliment (CMJ) a été mesurée tous les jours et le PV à chaque semaine. Au début de chaque journée, la CMJ et le PV les plus probables pour cette journée étaient estimés par régression avec un modèle polynomial quadratique avec les données historiques disponibles de chaque animal à l'aide de la procédure REG de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Le gain de poids (GMQ) était estimé d'après la première dérivée du PV. Les besoins quotidiens en LysDIA (g/j) ont été calculés pour chaque porc en supposant que les besoins d'entretien étaient de 0,036xPV^{0.75} g/j (Fuller *et al.*, 1989), que 16% du GMQ étaient des protéines (de Lange *et al.*, 2003), que 7% de ces protéines était de la Lys (Mahan, Shields, 1998) et que l'efficacité de rétention de LysDIA était de 72% (Mohn *et al.*, 2000).

Finalement, les concentrations optimales de LysDIA (g/kg) étaient calculées pour chaque porc en divisant le besoin journalier en LysDIA (g/j) par la CMJ (kg/j).

1.3. Animaux et traitements

Cent-vingt mâles castrés (Fertilis 25 x Piétrain, Génétiporc Inc, Québec, Canada) ont été répartis en deux groupes égaux de 60 porcs et, au sein de chaque groupe, ils ont été assignés aléatoirement à 6 régimes alimentaires à raison de 10 porcs par traitement. Les porcs ont été nourris individuellement et à volonté avec les régimes alimentaires assignés pendant 28 jours consécutifs, le premier groupe débutant à $28,3 \pm 2,1$ kg PV (1^{er} essai) et le second à $68,1 \pm 6,0$ kg PV (2^e essai).

Six niveaux alimentaires de LysDIA (T60, T70, T80, T90, T100 et T110) ont été obtenus en mélangeant les quatre aliments expérimentaux pour fournir respectivement 60, 70, 80, 90, 100 et 110% du besoin journalier estimé en LysDIA.

Les animaux assignés au traitement T110 ont reçu un mélange de A1 et B1 uniquement. Les aliments expérimentaux A1 et B1 ont été partiellement remplacés par des aliments expérimentaux A2 et B2 dans tous les autres traitements en vue de fournir de la LysDIA au niveau assigné tout en gardant les autres nutriments à un niveau de 110%. La LysDIA était toujours le premier acide aminé (AA) limitant.

Les animaux ont été élevés en groupe et nourris individuellement avec un nourrisseur automatique de précision (IPF) développé spécialement pour ce projet (Pomar *et al.*, 2011). L'IPF identifie chaque porc qui se présente à la mangeoire et à sa demande par pression sur un piston, il mélange de petites quantités d'aliments en accord avec la concentration de LysDIA et des autres nutriments requis pour cet animal. Un service est constitué de la quantité d'aliment servie à chaque demande alors qu'un repas est constitué par la quantité d'aliment servie lors d'une visite à la mangeoire. Le nombre de services par visite ainsi que le nombre de repas par jour ne faisait l'objet d'aucune limitation. La taille des services a été augmentée progressivement de 15 à 25 g au cours de l'expérimentation. Un délai minimal entre les services a été imposé pour s'assurer que les animaux consommaient les aliments servis et qu'ils laissaient la mangeoire avec peu ou pas d'aliment à la fin de chaque visite.

1.4. Mesures

En plus de la CMJ et du PV hebdomadaire, l'épaisseur du gras et du muscle dorsal ont été mesurés avec un instrument à ultrasons (Ultrascan 50, Alliance Médicale inc., Canada; 120 mm, 3,5 MHz) au site canadien de classification des carcasses tandis que les masses de gras, de muscle et d'os de l'animal vivant ont été estimées au début et à la fin de chaque période de 28 jours par absorptiométrie aux rayons X (DXA) à l'aide de l'appareil Lunar (DPX-L, Lunar corp., Madison, WI) dont les données ont été analysées en mode adulte par le logiciel fourni par le fabricant (version 4,7e de DPX-L, Lunar corp., Madison, WI).

Des échantillons représentatifs des aliments expérimentaux ont été prélevés lors de la réception et périodiquement pendant toute l'expérimentation. La matière sèche et l'N total ont été utilisés pour vérifier la précision de l'IPF. Les échantillons composites des aliments expérimentaux ont été analysés afin de déterminer leur contenu en eau, lipides, protéines, cendres, calcium et phosphore. La digestibilité iléale apparente des AA des quatre aliments expérimentaux a été

obtenue au cours d'un essai de digestibilité (données non présentées).

1.5. Analyses statistiques

La consommation journalière d'aliment a été obtenue en additionnant l'aliment servi dans une journée à chaque porc. Le GMQ a été obtenu par différence entre les PV mesurés au début et à la fin de chaque période.

Les quantités de protéines et de lipides corporels au début et à la fin de la période expérimentale ont été obtenues en transformant les valeurs de muscle et gras obtenus avec le DXA en leurs équivalents chimiques (Pomar, Rivest, 1996). Toutes ces données ont été analysées selon un dispositif complètement aléatoire avec la procédure GLM de SAS, le porc étant l'unité expérimentale. Des contrastes orthogonaux ont servi à déterminer l'effet linéaire, quadratique et restant du niveau de Lys des régimes expérimentaux.

2. RESULTATS ET DISCUSION

Les niveaux de Lys des aliments expérimentaux mesurés étaient entre 3 et 9% supérieurs aux valeurs calculées d'après les tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004).

Les coefficients de digestibilité iléale apparente des AA obtenue dans cette étude étaient proches aux valeurs de table avec l'exception de la thréonine dont sa digestibilité iléale apparente était entre 7 et 18% inférieure à ces valeurs. Les ratios thréonine/Lys total étaient entre 0,60 et 0,68 pour les différents aliments expérimentaux ce qui est proche des valeurs recommandées (0,64 : NRC, 1998 ; 0,65, Whittemore *et al.*, 2003) pendant que ces mêmes ratios sur une base digestible iléale apparente semblaient déficitaires (0,57, 0,53, 0,51 et 0,54 pour les aliments expérimentaux A1, A2, B1 et B2, respectivement). Quoique nous n'ayons pas identifié les raisons pour lesquelles les digestibilités de la thréonine soient inférieures aux valeurs attendues, il est peu probable que les réponses à la Lys observées dans cette étude puissent avoir été influencées par une carence partielle en thréonine.

2.1. Consommations

La concentration moyenne de LysDIA des aliments servis pendant les 28 jours d'expérimentation a augmenté linéairement ($P < 0,001$) chez les jeunes porcs (Tableau 2 ; min : 5,8 ; max : 8,7%) ainsi que chez les plus âgés (Tableau 3 ; min : 4,1 ; max : 7,1%). Les IPF ont donc bien fourni les aliments à des concentrations variables de LysDIA en suivant le parcours du besoin estimé de chaque animal.

La CMJ n'a pas été affectée par les traitements chez les jeunes porcs (moyenne globale : 2,01 kg/j), mais dans le groupe de 70-100 kg de PV cependant, la CMJ maximale a été observée chez les porcs nourris à 90% du besoin de Lys (effet linéaire, $P = 0,040$; quadratique, $P = 0,035$) avec des valeurs 5% supérieures à la moyenne globale (moyg) de 2,65 kg/j.

Il est généralement accepté que dans des conditions normales de production, les porcs consomment des aliments en quantité suffisante pour satisfaire leurs besoins énergétiques (Black *et al.*, 1986 ; Emmans, 1981). Le principe selon lequel les porcs peuvent aussi ajuster leur prise alimentaire pour satisfaire la carence en d'autres nutriments, tel que proposé par Kyriazakis et Emmans (1992) et Wellock *et al.* (2003), ne fait pas l'unanimité. Les résultats de cette étude semblent indiquer que les porcs ne mangent pas pour satisfaire leurs besoins en Lys ce qui est en accord avec les résultats de Henry (1995) et

Tableau 2 - Composition corporelle initiale et finale et performances zootechniques pendant l'intervalle de 25 à 55 kg de poids vif										
	Taux de lysine fournie par rapport aux besoins, %						SEM	Valeurs de P		
	60	70	80	90	100	110		Linéaire	Quad.	Restant
Nombre d'observations	10	9	10	9	10	9				
Conditions initiales										
Poids vif, kg	28.1	27.9	28.3	28.3	28.9	28.6	2.3	0.400	0.944	0.933
Épaisseur du gras dorsal, mm	4.8	5.3	5.1	4.8	5.1	5.1	0.9	0.796	0.770	0.567
Épaisseur du muscle dorsal, mm	32.5	29.3	30.0	31.1	32.5	31.9	2.4	0.247	0.030	0.050
Protéines corporelles, kg	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.4	0.5	0.484	0.961	0.927
Lipides corporels, kg	4.0	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2	0.2	0.042	0.809	0.936
Phosphore corporel, g	120	122	119	123	121	122	14	0.793	0.950	0.920
Conditions finales										
Poids vif, kg	50.9	51.0	53.7	54.9	57.0	55.7	4.5	0.001	0.491	0.664
Épaisseur du gras dorsal, mm	8.1	8.6	8.6	7.6	8.3	8.5	1.3	0.890	0.777	0.263
Épaisseur du muscle dorsal, mm	40.6	41.0	41.7	45.9	45.6	46.1	3.9	<0.001	0.793	0.387
Protéines corporelles, kg	8.1	8.1	8.6	8.9	9.3	9.1	0.8	<0.001	0.520	0.506
Lipides corporels, kg	8.7	8.8	9.3	8.9	9.1	9.0	1.5	0.585	0.649	0.909
Phosphore corporel, g	286	294	280	295	296	284	25	0.839	0.631	0.394
Performances globales										
Consommation, kg/j	1.90	1.95	2.13	2.05	2.05	2.00	0.20	0.195	0.052	0.529
Gain moyen quotidien	810	830	910	950	1000	970	114	<0.001	0.304	0.614
Efficacité alimentaire	0.43	0.43	0.43	0.46	0.49	0.49	0.04	<0.001	0.452	0.244
Protéine ingérée, kg	7.3	7.2	7.7	7.6	7.6	7.7	0.9	0.270	0.646	0.852
Dépôt protéique, g/d	135	137	151	164	174	167	19	<0.001	0.320	0.387
Dépôt lipidique, g/d	166	171	187	171	176	175	51	0.765	0.611	0.896
Azote excrété, g	566	544	556	484	444	475	103	0.005	0.857	0.460
Efficacité protéique	0.52	0.53	0.55	0.60	0.64	0.62	0.05	<0.001	0.505	0.202
Protéine dans le gain, %	16.7	16.5	16.7	17.2	17.3	17.2	0.9	0.025	0.942	0.734
Lysine DIA aliments, %	5.8	6.0	6.4	7.2	7.9	8.7	0.9	<0.001	0.086	0.941
Lysine DIA ingérée, g/d	10.6	11.2	13.1	14.3	15.6	17.1	2.3	<0.001	0.747	0.923
Efficacité de la lysine disponible	0.95	0.90	0.85	0.84	0.83	0.72	0.96	<0.001	0.641	0.418

de La Llata *et al.*, (2007), mais en désaccord avec d'autres résultats de la littérature (Ferguson *et al.*, 2000).

Lors du 1^{er} et 2^e essai, les animaux nourris à 60% du besoin ont consommé respectivement, 38 et 47% moins de LysDIA que ceux nourris à 110%. Ces apports différentiels de LysDIA ont été faits sans changement dans la consommation de protéines brutes pendant le 1^{er} essai ou avec une augmentation linéaire pendant le 2^e ($P < 0,004$).

Les porcs nourris à 90% du besoin Lys pendant le 2^e essai ont consommé 13% plus de protéine que ceux nourris à 60%, ceci reflétant les changements de CMJ.

2.2. Gain de poids et composition corporelle

Dans les deux essais, le GMQ et le PV final ont augmenté linéairement ($P < 0,001$) avec le niveau de Lys des aliments. Dans le 1^{er} essai, le GMQ (1,00 kg/j) et le PV final (57,0 kg) maximaux ont été observés lorsque la Lys était servie à 100% du besoin, tandis que dans le 2^e essai les valeurs maximales ont été observées pour le groupe nourri à 110% du besoin (GMQ : 1,19 kg/j; PV final : 102,3 kg). De plus, dans les deux essais, le dépôt moyen de protéine et la masse protéique

finale des porcs ont augmenté linéairement ($P < 0,001$) avec l'augmentation de l'apport de Lys. Dans le 1^{er} essai, un dépôt de protéine maximal de 174 g/j a été observé chez les porcs nourris à 100% du besoin, ceci représentant une rétention moyenne supérieure de 29% par rapport à celle de 135 g/j observée chez les porcs nourris à 60% du besoin. Le dépôt de lipides n'a pas été affecté pendant ce 1^{er} essai de croissance (moyg : 174 g/j), alors qu'il évoluait de façon quadratique pendant le 2^e essai (max : 383 g/j ; $P = 0,0354$).

Comme observé pour la CMJ, le dépôt maximal de lipides a été observé chez les porcs nourris à 90% du besoin.

L'augmentation du GMQ et du DP observée avec des apports croissants de Lys est conforme aux résultats de la littérature (Dourmad, Etienne, 2002).

La possible nature curvilinéaire de cette réponse (Balogun, Fetuga, 1982 ; De La Llata *et al.*, 2007 ; Pomar *et al.*, 2003) n'a pas été mis en évidence dans cette étude.

Cependant, le GMQ et le DP maximal ont été observés chez les porcs nourris à 100% du besoin pendant le 1^{er} essai alors que la réponse maximale ne semble pas avoir été atteinte avec les animaux du 2^e essai.

Tableau 3 - Composition corporelle initiale et finale et performances zootechniques pendant l'intervalle de 70 à 100 kg de poids vif

	Taux de lysine fournie par rapport aux besoins, %						SEM	Valeurs de P		
	60	70	80	90	100	110		Linéaire	Quad.	Restant
Nombre d'observations	10	10	9	10	10	10				
Conditions initiales										
Poids vif, kg	66.3	66.2	68.6	69.2	69.2	69.0	6.1	0.156	0.554	0.945
Épaisseur du gras dorsal, mm	8.9	8.1	9.6	9.1	9.4	8.5	1.3	0.689	0.125	0.082
Épaisseur du muscle dorsal, mm	49.6	59.9	52.5	51.3	51.0	50.3	3.4	0.524	0.092	0.662
Protéines corporelles, kg	10.9	10.9	11.0	11.2	11.2	11.3	1.0	0.234	0.881	0.995
Lipides corporels, kg	11.0	11.1	12.9	12.9	12.5	11.7	1.9	0.117	0.022	0.558
Phosphore corporel, g	347	337	356	345	337	360	31	0.510	0.550	0.310
Conditions finales										
Poids vif, kg	92.2	94.7	98.9	100.9	102.1	102.3	8.2	0.001	0.332	0.981
Épaisseur du gras dorsal, mm	13.7	14.6	16.0	14.7	16.0	14.6	2.3	0.224	0.078	0.389
Épaisseur du muscle dorsal, mm	53.2	53.5	58.8	58.1	58.4	59.8	4.2	<0.001	0.261	0.294
Protéines corporelles, kg	14.4	15.0	15.3	15.6	15.9	16.5	1.4	<0.001	0.981	0.986
Lipides corporels, kg	20.3	20.2	23.0	23.6	23.1	20.7	3.0	0.173	0.008	0.329
Phosphore corporel, g	455	453	460	451	440	474	34	0.618	0.285	0.314
Performances globales										
Consommation, kg/j	2.44	2.61	2.66	2.79	2.74	2.64	0.27	0.040	0.035	0.905
Gain moyen quotidien	930	1020	1080	1130	1170	1190	106	<0.001	0.147	0.999
Efficacité alimentaire	0.43	0.48	0.48	0.48	0.51	0.57	0.03	<0.001	0.301	0.796
Protéine ingérée, kg	8.2	8.6	8.9	9.3	9.2	9.1	0.8	0.004	0.105	0.947
Dépôt protéique, g/d	125	146	153	159	169	185	20	<0.001	0.827	0.580
Dépôt lipidique, g/d	335	326	362	383	381	320	64	0.525	0.035	0.279
Azote excrété, g	753	720	737	771	718	625	117	0.053	0.099	0.455
Efficacité protéique	0.43	0.48	0.48	0.48	0.51	0.57	0.06	<0.001	0.383	0.216
Protéine dans le gain, %	13.4	14.5	14.2	14.1	14.3	15.5	1.2	0.002	0.389	0.130
Lysine DIA aliments, %	4.1	4.4	5.1	5.6	6.3	7.1	0.4	<0.001	0.092	0.826
Lysine DIA ingérée, g/d	9.9	11.5	13.6	15.6	17.21	18.6	1.4	<0.001	0.537	0.916
Efficacité de la lysine disponible	0.98	0.98	0.85	0.76	0.74	0.74	0.11	<0.001	0.206	0.178

La proportion de protéines dans le gain a légèrement augmenté avec les apports de Lys chez les jeunes porcs (moy : 16,9% ; max : 17,5% ; $P = 0,025$) alors que l'augmentation était plus prononcée chez les animaux plus lourds (moy : 14,3% ; max : 15,5% ; $P = 0,002$).

Les résultats de cette étude mettent en évidence que la teneur en protéines du gain varie avec l'âge et le niveau de Lys de l'aliment ce qui est en relation avec des rétentions différentielles en lipides et eau (de Lange *et al.*, 2003).

2.3. Efficacités nutritionnelles

L'efficacité alimentaire estimée par le rapport entre le GMQ et la CMJ a augmenté linéairement ($P < 0,001$) avec l'augmentation des apports de Lys chez les jeunes animaux (moy : 0,45; max : 0,49) ainsi que chez les plus âgés (moy : 0,49; max : 0,57).

Les animaux les plus efficaces du 1^{er} essai consommaient des aliments fournissant 100 ou 110% de leur besoin en Lys tandis qu'au cours du 2^e essai l'efficacité maximale a été observée chez ceux nourris à 110% du besoin.

L'efficacité de la protéine alimentaire estimée par le rapport entre la protéine retenue et ingérée a augmenté linéairement ($P < 0,001$) avec l'augmentation de la Lys des aliments passant de 0,52 (T60) à 0,64 (T100) pendant le 1^e essai et de 0,43 (T60) à 0,57 (T110) pendant le 2^e essai.

Il est aussi possible d'estimer l'efficacité d'utilisation de la Lys pour le dépôt si nous acceptons le principe que la teneur en Lys de la protéine corporelle est constante (7%) et que le poids médian de l'intervalle de croissance peut être utilisé pour estimer les besoins de Lys pour l'entretien.

Cette efficacité ainsi calculée diminue avec le niveau de Lys des aliments passant de 0,94 (60%) à 0,71 (110%) dans le 1^{er} essai et de 0,98 (60%) à 0,74 (110%) dans le 2^e essai. Il est possible que ces différences d'efficacité résultent d'une adaptation métabolique destinée à améliorer l'utilisation de ce nutriment déficitaire comme nous avons observé pour d'autres nutriments (Letourneau-Montminy *et al.*, 2011). La composition en AA de la protéine corporelle est souvent considérée comme constante, bien que certains résultats semblent indiquer que ce ne soit pas toujours le cas (Conde-Aguilera *et al.*, 2010).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le système IPF d'alimentation de précision utilisé dans cette étude a été en mesure de distribuer individuellement des aliments personnalisés fournissant le niveau optimal de nutriments à des porcs logés en groupe.

Le modèle factoriel utilisé pour estimer les besoins nutritionnels dynamiques des porcs semble adéquat pour des animaux dans l'intervalle de 25 à 55 kg de PV, mais il sous-estime les besoins des animaux plus lourds (70-100 kg PV).

Ce modèle peut être amélioré en ajustant la composition du gain et l'efficacité des nutriments en fonction de facteurs de variation tels que le poids et le taux de croissance. D'autres facteurs non étudiés dans cette expérimentation sont aussi à considérer, tels que le potentiel de croissance, la génétique, le sexe, l'état de santé et autres. Le modèle validé dans cette expérimentation fait partie du développement des connaissances nutritionnelles nécessaires à l'implantation d'une alimentation de précision en milieu commercial dans le but de réduire les coûts alimentaires et les rejets d'azote, de phosphore et d'autres nutriments.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Balogun O.O., Fetuga B.L., 1982. Lysine requirements of imported European pigs in the humid lowland tropics from 23 to 62 kg liveweight. *Animal Feed Science and Technology*, 7, 233-246.
- Black J.L., Campbell R.G., Williams I.H., James K.J., Davies G.T., 1986. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. *Research and Development in Agriculture*, 3, 121-145.
- Brossard L., Dourmad J.-Y., Rivest J., van Milgen J., 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *animal*, 3, 1114-1123.
- Conde-Aguilera J.A., Barea R., Le Floch N., Lefaucheur L., van Milgen J., 2010. A sulfur amino acid deficiency changes the amino acid composition of body protein in piglets. *animal*, 4, 1349-1358.
- de La Lata M., Dritz S.S., Tokach M.D., Goodband R.D., Nelssen J.L., 2007. Effects of Increasing Lysine to Calorie Ratio and Added Dietary Fat for Growing-Finishing Pigs Reared in a Commercial Environment: II. Modeling Lysine to Calorie Ratio Requirements Using Protein and Lipid Accretion Curves. *The Professional Animal Scientist*, 23, 429-437.
- de Lange C.F.M., Morel P.C.H., Birkett S.H., 2003. Modeling chemical and physical body composition of the growing pig. *Journal of Animal Science*, 81, E159-165.
- Dourmad J.-Y., Etienne M., 2002. Dietary lysine and threonine requirements of the pregnant sow estimated by nitrogen balance. *Journal of Animal Science*, 80, 2144-2150.
- Emmans G.C., 1981. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. In: G.M. Hillyer, C.T. Whittemore & R.G. Gunn (Eds), *Computers in Animal Production*. The British Society of Animal Production-Occasional publication No 5, 103-110. Thames Ditton, Surrey, England.
- Ferguson N.S., Arnold G.A., Lavers G., Gous R.M., 2000. The response of growing pigs to amino acids as influenced by environmental temperature. 2. Lysine. *Animal Science*, 70, 299-306.
- Fuller M.F., McWilliam R., Wang T.C., Giles L.R., 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. *British Journal of Nutrition*, 62, 255-267.
- Hauschild L., Pomar C., Lovatto P.A., 2010a. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *animal*, 4, 714-723.
- Hauschild L., Lovatto P.A., Pomar J., Pomar C., 2010b. Estimation journalière des besoins nutritionnels individuels des porcs en croissance en fonction de leur parcours de croissance et de consommation. *Journées Rech. Porcine*, 42, 99-106.
- Henry Y 1995. Effects of reduced dietary lysine level on voluntary feed intake and growth performance in finishing pigs. *Annales de Zootechnie* 44, 201-215.
- Kyriazakis I., Emmans G.C., 1992. The effects of varying protein and energy intakes on the growth and body composition of pigs. 2. The effects of varying both energy and protein intake. *The British Journal of Nutrition*, 68, 615-625.
- Letourneau-Montminy M.P., Lovatto P.A., Pomar C., 2011. Effets d'un protocole de déplétion-réplétion en phosphore et calcium sur l'utilisation digestive et métabolique de phosphore et de calcium chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 43, 87-94.
- 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. *Journal of Animal Science*, 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. *Journal of Animal Science*, 78, 1510-1519.
- Pomar C., Rivest J., 1996. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy x-ray absorptiometry (DEXA). *Proceedings of the 46th Annual conference of the Canadian Society of Animal Science (Abstr.)*. pp. 26.
- Pomar C., Kyriazakis I., Emmans G.C., Knap P.W., 2003. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. *Journal of Animal Science*, 81 (E. Suppl. 2), E178-E186.
- Pomar C., Hauschild L., Zhang G.H., Pomar J., Lovatto P.A., 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38 226-237 (Supl. special).
- Pomar C., Hauschild L., Zhang G.H., Pomar J., Lovatto P.A., 2010. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: D. Sauvant, J. van Milgen, P. Faverdin & N. Friggens (Eds), *Modelling Nutrition Digestion and Utilization in Farm Animals*, 327-334. Wageningen Academic Publishers,
- Sauvant D., Perez J.-M., Tran G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. Editions INRA, Paris, France.
- Wellock I.J., Emmans G.C., Kyriazakis I., 2003. Modelling the effects of the thermal environment and dietary composition on pig performance: model logic and concepts. *Animal Science*, 77, 255-266.