

Estimation du besoin en phosphore digestible apparent du porc charcutier : synthèse d'essais zootechniques effectués au cours des dix dernières années

Julien CASTAING (1), Frédéric PABOEUF (2), Fabien SKIBA (3), Jacques CHAUVEL (4), Jean-Georges CAZAUX (1), Jaap van MILGEN (5), Catherine JONDREVILLE (5)

(1) ADÆSO, 64121 Montardon, (2) Chambres Agriculture de Bretagne, 22195 Plérin,
(3) ARVALIS - Institut du Végétal, 41100 Villerable,
(4) ITP-Pôle Techniques d'Élevage, 35651 Le Rheu, (5) INRA-UMRVP, 35590 Saint-Gilles

Estimation du besoin en phosphore digestible apparent du porc charcutier : synthèse d'essais zootechniques effectués au cours des dix dernières années

Les données issues de 17 essais zootechniques conduits en France au cours des 10 dernières années ont été réunies de façon à prédire les performances de porcs charcutiers en fonction de l'apport en P digestible alimentaire. Pour chacun des aliments, la teneur en P total a été mesurée et la digestibilité fécale apparente a été estimée à partir des données proposées dans la table INRA-AFZ (2002). En période de croissance, comme en période de finition, deux modèles, l'un linéaire avec plateau et l'autre curvilinéaire avec plateau ont été mis en œuvre de façon à prédire la vitesse de croissance (GMQ) et l'indice de consommation (IC) des animaux en fonction de la teneur en P digestible apparent de l'aliment. Le GMQ maximal a été estimé à 700 g/j et 830 g/j respectivement en période de croissance et en période de finition. Pour ces mêmes périodes, l'IC minimal a été estimé respectivement à 2,3 et 3,0. Les deux modèles aboutissent à des résultats cohérents. Selon le modèle linéaire avec plateau, un aliment contenant 2,5 g de P digestible apparent/kg en période de croissance et 2,0 g/kg en période de finition permet d'atteindre ces performances. Le modèle curvilinéaire avec plateau aboutit à une estimation plus élevée des besoins des animaux, mais avec une très faible amélioration des performances pour une augmentation de l'apport, lorsqu'il est proche du besoin. Ces estimations concordent avec les résultats du calcul factoriel du besoin pour des animaux présentant des performances équivalentes.

Estimation of the apparent digestible P requirements in growing-finishing pigs through the analysis of recent growth trials results

Performance data originating from 17 growth trials recently conducted in France were gathered in order to predict the growth performance of fattening pigs according to their dietary P provision. The total P concentration in each experimental diet was measured whereas the apparent P digestibility was estimated according to the INRA-AFZ (2002) tables. In growing period as well as in finishing period, both a linear model with plateau and a curvilinear model with plateau were adjusted in order to predict the average daily gain (ADG) of pigs and their feed conversion ratio (FCR) according to the apparent digestible P concentration in the diets. Estimates of the maximum ADG reached 700 and 830 g/d in growing and finishing periods, respectively. For these periods, the minimum FCR were estimated at 2.3 and 3.0, respectively. The two models provided similar estimates of apparent digestible P requirements. According to the linear model, a dietary supply of 2.5 and 2.0 g/kg covered the requirements of pigs exhibiting such performance in growing and finishing periods, respectively. According to the curvilinear model, the estimated apparent digestible P supply required to reach such performance was higher. However, for a P supply close to the requirements, only a small improvement in performance for a marginal increase in P supply was achieved. These estimates of apparent digestible P requirements were equivalent to those obtained through the factorial approach.

INTRODUCTION

La limitation des rejets polluants issus de l'élevage de porc est une priorité pour la filière. En particulier, la maîtrise des rejets polluants d'azote, de phosphore et de certains oligo-éléments constitue un enjeu majeur pour le maintien de l'élevage de porcs dans certaines régions à forte densité d'élevages. L'ajustement des apports alimentaires aux besoins des animaux est une voie préventive de choix. Elle requiert l'élaboration d'un système cohérent d'évaluation des besoins des animaux, selon leur stade physiologique, et d'estimation de la valeur alimentaire des aliments.

En France, comme aux Pays-Bas, les recommandations d'apport de P alimentaire reposent sur le calcul factoriel des besoins des animaux. Selon le système français, les besoins étaient jusqu'à présent estimés sur la base de la digestibilité réelle du P et exprimés en termes de P total, en estimant que 50% du P présent dans les aliments du porc sont réellement digestibles (GUEGUEN et PEREZ, 1981 ; INRA, 1989). Selon ce modèle, la variabilité de la digestibilité du P entre matières premières ne peut être prise en compte lors de la formulation des aliments. Aux Pays-Bas, un système d'estimation des besoins des animaux et de la valeur alimentaire des matières premières fondé sur la digestibilité fécale apparente du P a été élaboré (JONGBLOED et al., 1999 ; CVB, 2000). Ce travail, accompagné d'un système légal de restriction des quantités de P épandues, a permis une réduction des rejets de P : en France 1,3 kg de P est rejeté par porc produit contre 1,0 kg aux Pays-Bas (POULSEN et al., 1999).

Au cours des dernières années, des études ont été conduites en France pour améliorer notre connaissance de la digestibilité fécale apparente du P contenu dans les matières premières (e.g. BARRIER-GUILLOT et al., 1996 ; SKIBA et al., 2000). Ces travaux, accompagnés d'une veille bibliographique, ont permis d'attribuer une valeur de digestibilité fécale apparente du P à la plupart des matières premières entrant dans l'alimentation du porc (INRA-AFZ, 2002). En parallèle, des travaux portant sur la rétention de P chez le porc en engraissement ont été menés (DOURMAD et al., 2002) et le calcul factoriel des besoins a pu être actualisé. Enfin, de nombreux essais zootechniques destinés à évaluer l'impact de la diminution de l'apport alimentaire de P sur les performances de porcs charcutiers et les rejets de P ont été conduits (e.g. LATIMIER et al., 1994 ; CASTAING et al., 1997 ; CHAUVÉL et al., 1997 ; PABOEUF et al., 1999 ; PABOEUF et al., 2002).

Le but de cet article est d'évaluer un système de formulation des aliments pour porcs charcutiers, fondé sur le P digestible apparent, s'appuyant sur les valeurs de digestibilité fécale apparente fournies par la table INRA-AFZ (2002) et sur l'estimation factorielle des besoins. Pour ce faire, à partir des résultats d'essais zootechniques conduits en France au cours des dix dernières années, nous avons élaboré un modèle de prédiction des performances de croissance des animaux en fonction de la concentration en P digestible apparent de leur aliment. L'évaluation des besoins ainsi obtenue a été confrontée aux résultats du calcul factoriel.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Analyse des résultats des essais zootechniques

1.1.1. Données expérimentales

Les données issues de dix-sept essais zootechniques conduits entre 1992 et 2001 par l'ADÆSO (9 essais), les Chambres d'Agriculture de Bretagne (6 essais) ou l'ITP (2 essais) ont été collectées. Ces essais portaient sur l'effet de la réduction de l'apport alimentaire de P sur les performances de croissance de porcs en engraissement (25 à 110 kg). La diminution de l'apport de P était obtenue soit par la diminution de la supplémentation minérale, soit par l'usage de phytase végétale et/ou microbienne. Lors de chacun de ces essais, la consommation d'aliment et le poids des animaux ont été mesurés au moins tous les 14 jours. Les indicateurs de performances retenus dans la présente étude sont la vitesse de croissance (GMQ) et l'indice de consommation (IC) pour chacune des périodes de croissance (25 à 60 kg) et de finition (60-110 kg).

1.1.2. Mesure de la teneur en P et estimation de la teneur en P digestible apparent des aliments

Lors de la réalisation de chacun des essais, la teneur en P de chacun des aliments a été mesurée par colorimétrie selon la norme ISO 6491 (1998). La digestibilité fécale apparente a été estimée en deux étapes successives, selon la méthode préconisée dans les tables INRA-AFZ (2002), en estimant que l'apport de 500 U de phytase microbienne (3-phytase) et végétale correspondent respectivement à 0,8 et 0,4 g de P digestible apparent. Nous avons considéré que le blé, l'orge, le son et le remoulage de blé présentaient respectivement une activité phytasique de 800, 600, 4000 et 4000 U/kg. Faute d'informations suffisantes concernant les traitements thermiques subis par les aliments, l'action de la phytase végétale sur la digestibilité du P a toujours été prise en considération.

1.1.3. Prédiction des performances en fonction de l'apport de P alimentaire

Deux modèles, l'un linéaire-plateau, l'autre curvilinéaire-plateau, ont été mis en œuvre au moyen de la procédure NLIN du logiciel SAS (1990). Pour chacun de ces modèles, la valeur seuil de la teneur en P total (g/kg d'aliment) ou en P digestible (g/kg d'aliment), à partir de laquelle la vitesse de croissance (GMQ) est maximisée ou l'indice de consommation (IC) est minimisé a été estimée par itérations successives. En dessous de cette valeur seuil, les paramètres de la relation qui lie le critère de performance au critère d'estimation de l'apport alimentaire en P ont été estimés. Chacun des modèles est composé d'un paramètre qui décrit l'effet entre études (ai) et une fonction qui décrit l'effet intra-étude en fonction de l'apport alimentaire en P ou en P digestible apparent. Cette dernière fonction est décrite soit comme une fonction linéaire-plateau, soit comme une fonction curvilinéaire-plateau. Toutes deux sont paramétrées pour que le plateau corresponde à 1 (100 %). Elles décrivent donc l'effet d'un changement d'apport alimentaire de P ou de P diges-

tible apparent relativement aux réponses maximale (GMQ) ou minimale (IC) au sein de chaque étude. Pour plus de clarté, les résultats sont exprimés pour le GMQ maximum (GMQmax) et l'IC minimum (ICmin) moyens.

1.2. Calcul factoriel des besoins en P digestible apparent

Selon l'approche factorielle, les besoins de l'animal en P digestible apparent correspondent à la somme de ses besoins pour l'entretien d'une part et pour la croissance d'autre part. Lorsque les besoins sont exprimés sur la base du P digestible apparent, les pertes endogènes fécales sont prises en compte lors de l'estimation de la valeur alimentaire de l'aliment. Par conséquent, les besoins quotidiens d'entretien correspondent aux seules pertes endogènes urinaires de P, estimées à 10 et 7 mg/kg PV selon respectivement GUEGUEN et PEREZ (1981) et JONGBLOED et al. (1999). Les besoins quotidiens pour la croissance sont calculés à partir de la teneur en P du gain de poids, elle-même estimée à partir de la teneur corporelle en P selon le poids vif de l'animal (JONGBLOED et al., 1999 ; DOORMAD et al., non publié). La teneur en P digestible apparent de l'aliment qui permet de couvrir les besoins, est calculée comme étant le rapport entre les besoins quotidiens et la consommation quotidienne d'aliment.

2. RÉSULTATS

2.1. Essais zootechniques

Les caractéristiques des aliments utilisés lors de chacun des essais sont présentées au tableau 1. Leur teneur en P variait

entre 3,4 et 6,6 g/kg en période de croissance et entre 3,4 et 6,2 g/kg en période de finition. Les teneurs en P digestible apparent ont été estimées comme étant comprises entre 1,3 et 3,6 g/kg d'aliment et entre 1,2 et 3,4 g/kg d'aliment, respectivement en périodes de croissance et de finition.

Pour aucun des essais, l'apport de P alimentaire n'a eu d'effet sur la consommation d'aliment. En période de croissance, comme en période de finition, les tentatives d'ajuster les modèles, linéaire-plateau et curvilinéaire-plateau sur la base de l'apport en P total (g/kg d'aliment) ont échoué. L'estimation, selon les deux modèles, des valeurs maximales de GMQ variaient entre 680 et 852 g/j en période de croissance et entre 755 et 889 g/j en période de finition (tableau 2). Pour les mêmes périodes, l'estimation des valeurs minimales de l'IC étaient comprises respectivement entre 2,07 et 2,48 et entre 2,76 et 3,25. La prédiction, selon chacun des deux modèles, des performances de croissance des animaux en fonction de la teneur de l'aliment en P digestible apparent sont présentés au tableau 3 et aux figures 1 et 2.

2.1.1. Période de croissance

Selon le modèle linéaire-plateau, le GMQmax moyen est de 770 g/j et l'ICmin moyen de 2,30. On estime que $2,46 \pm 0,10$ g de P digestible apparent/kg d'aliment permettent de maximiser le GMQ et que $2,49 \pm 0,11$ g P digestible/kg d'aliment permettent de minimiser l'IC. La pente indique qu'en dessous de cette valeur seuil, l'augmentation de la teneur en P digestible apparent de 1 g/kg d'aliment permet d'améliorer le GMQ de 48 g/j et l'IC de 0,15 point.

Tableau 1 - Caractéristiques des aliments expérimentaux utilisés dans chacun des essais

Essai	Aliment de base ¹	n ²	P total (g/kg aliment)				P digestible apparent (g/kg aliment)			
			Croissance		Finition		Croissance		Finition	
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	a	4	4,8	5,0	4,1	5,0	2,0	2,2	1,5	2,2
2	a	4	4,4	4,9	4,1	4,3	1,3	2,5	1,2	2,2
3	a	2	4,4	4,9	4,1	4,3	1,3	2,5	1,2	2,2
4	a	4	5,2	6,6	4,6	5,5	2,5	3,6	2,1	2,9
5	a	5	5,0	5,9	4,6	5,3	2,1	2,6	1,9	2,4
6	a	4	4,8	5,0	4,6	5,0	2,0	2,1	1,8	2,1
7	a	2	3,5	5,3	3,6	5,3	2,2	2,7	2,2	2,7
8	b	6	3,8	5,3	3,8	4,6	1,7	2,8	1,7	2,6
9	b	4	4,8	5,5	3,9	6,2	2,3	2,9	1,7	3,2
10	c	4	3,4	5,4	3,4	4,4	1,4	2,6	1,3	2,1
11	c	4	4,2	5,0	4,3	4,6	1,9	2,4	1,8	2,2
12	d	4	4,0	5,1	3,8	5,4	1,5	3,1	1,4	3,0
13	e	3	4,6	5,5	4,1	5,3	2,4	3,2	2,0	3,4
14	e	3	5,3	5,9	4,9	5,1	2,4	2,7	2,1	2,3
15	d	4	4,6	5,3	4,2	5,2	2,4	2,7	2,4	2,5
16	f	3	4,3	5,5	3,8	4,9	2,1	2,8	1,6	2,4
17	g	3	4,3	5,5	3,8	4,9	2,1	2,8	1,6	2,4

¹ a : Maïs/Tourteau de soja - b : Maïs/Blé/Tourteau de soja - c : Maïs/Blé/Co-produits meunerie/Tourteau de soja - d : Blé/Pois/Tourteau de soja - e : Maïs/Blé/Pois/Tourteau de soja - f : Blé/Co-produits meunerie/Pois/Tourteau de soja/Tourteau de colza - g : Blé/Orge/Co-produits meunerie/Pois/Tourteau de soja

² nombre de traitements expérimentaux

Tableau 2 - Estimation, pour chacun des essais zootechniques, des valeurs maximale de GMQ et minimale d'IC, selon chacun des modèles

Modèle	Linéaire-plateau				Curvilinéaire-plateau			
	Croissance		Finition		Croissance		Finition	
Essai	GMQmax	ICmin	GMQmax	ICmin	GMQmax	ICmin	GMQmax	ICmin
1	825	2,26	760	3,24	822	2,24	764	3,23
2	791	2,48	795	3,02	793	2,47	795	3,02
3	809	2,30	848	2,84	805	2,29	854	2,83
4	784	2,38	781	3,15	785	2,37	781	3,15
5	787	2,35	755	3,25	787	2,33	757	3,24
6	851	2,08	849	2,92	852	2,07	850	2,91
7	824	2,15	857	2,85	825	2,13	857	2,85
8	844	2,09	806	3,06	844	2,07	809	3,05
9	847	2,13	843	2,95	847	2,12	844	2,94
10	714	2,47	812	2,98	716	2,45	814	2,97
11	719	2,30	832	2,92	720	2,27	835	2,90
12	743	2,35	869	2,98	743	2,33	872	2,98
13	690	2,41	889	2,77	691	2,40	889	2,76
14	741	2,32	843	3,02	741	2,30	843	3,02
15	752	2,14	888	2,89	752	2,13	889	2,88
16	687	2,36	852	3,00	687	2,34	856	2,99
17	682	2,48	836	2,95	680	2,46	841	2,94

Selon le modèle curvilinéaire-plateau, un apport de $2,85 \pm 0,28$ et de $3,27 \pm 0,47$ g de P digestible apparent /kg d'aliment permettent respectivement de maximiser le GMQ à 770 g/j et de minimiser l'IC à 2,28. Les deux modèles présentent des écart-types résiduels comparables : respectivement pour les modèles linéaire-plateau et curvilinéaire-plateau, 12 et 13 g/j pour le GMQ, et 0,04 et 0,04 kg d'aliment/kg gain de poids pour l'IC.

2.1.2. Période de finition

Selon le modèle linéaire-plateau, le GMQmax moyen est estimé à 830 g/j et l'ICmin moyen de 2,99. Ces plateaux sont atteints pour des teneurs en P digestible apparent de l'aliment atteignant respectivement $1,84 \pm 0,06$ et $1,96 \pm 0,09$ g/kg. Pour des apports inférieurs, l'augmentation de la teneur en P digestible apparent de 1 g/kg d'aliment permet d'améliorer le GMQ de 98 g/j et l'IC de 0,30 point. Selon le modèle curvilinéaire-plateau, un apport de $2,26 \pm 0,15$ et de $2,37 \pm 0,19$ g de P digestible apparent/kg d'aliment permettent respectivement de maximiser le GMQ à 832 g/j et de minimiser l'IC à 2,98. Les écart-types atteignent, respectivement pour les modèles linéaire-plateau et curvilinéaire-plateau, 12 et 12 g/j pour le GMQ, et 0,06 et 0,05 kg d'aliment/kg de gain de poids pour l'IC.

2.2. Calcul factoriel des besoins en P digestible apparent

L'estimation factorielle des besoins en P digestible apparent d'animaux présentant des performances de croissance équivalentes aux GMQmax et ICmin estimés précédemment est présentée au tableau 4. Pour un animal pesant 45 kg et présentant une vitesse de croissance de 770 g/j pour un IC de 2,3, la prise en compte de l'estimation des pertes endogènes urinaires et de la rétention corporelle de P proposées respectivement par GUEGUEN et PEREZ (1981) et DOURMAD et al. (non publié), conduit à une estimation des besoins en

Tableau 3 - Prédiction des performances de croissance du porc en fonction de la teneur de l'aliment en P digestible apparent, selon les modèles linéaire-plateau et curvilinéaire-plateau

Modèle linéaire-plateau ¹				
	GMQ max	b	Opt ³	ETR ⁴
Croissance	770	0,0627	2,46±0,10	12
Finition	830	0,118	1,84±0,06	12
	IC min	b	Opt	ETR
Croissance	2,30	-0,0656	2,49±0,11	0,04
Finition	2,99	-0,101	1,96±0,09	0,06
Modèle curvilinéaire-plateau ²				
	GMQ max	b	Opt	ETR
Croissance	770	0,187	2,85±0,28	13
Finition	832	0,316	2,26±0,15	12
	IC min	b	Opt	ETR
Croissance	2,28	-0,155	3,27±0,47	0,04
Finition	2,98	-0,297	2,37±0,19	0,05

¹ si $Pd \leq Opt$, $GMQ = GMQmax * (1 + b * (Pd - Opt))$; si $Pd > Opt$, $GMQ = GMQmax - si Pd \leq Opt$, $IC = ICmin * (1 + b * (Pd - Opt))$; si $Pd > Opt$, $IC = ICmin$

² si $Pd \leq Opt$, $GMQ = GMQmax * (a + b * Pd + c * Pd^2)$; si $Pd > Opt$, $GMQ = GMQmax - si Pd \leq Opt$, $ICmin * (a + b * Pd + c * Pd^2)$; si $Pd > Opt$, $IC = ICmin$, avec $c = -b / (2 * Opt)$ et $a = 1 + b^2 * (4 * c)$ avec GMQ (g/j) : vitesse de croissance ; IC (kg aliment/kg gain de poids) : indice de consommation ; Pd (g/kg aliment) : teneur en P digestible apparent de l'aliment ; Opt (g/kg aliment) : valeur seuil de teneur en P digestible apparent à partir de laquelle le GMQ est maximisé ou l'IC est minimisé

³ moyenne \pm erreur asymptotique

⁴ écart type résiduel

P digestible apparent de 2,50 g/kg d'aliment. Selon les paramètres de calcul proposés par JONGBLOED et al. (1999), ces besoins atteignent 2,45 g/kg d'aliment.

En période de finition, selon les approches proposées respectivement par les équipes française et néerlandaise, des

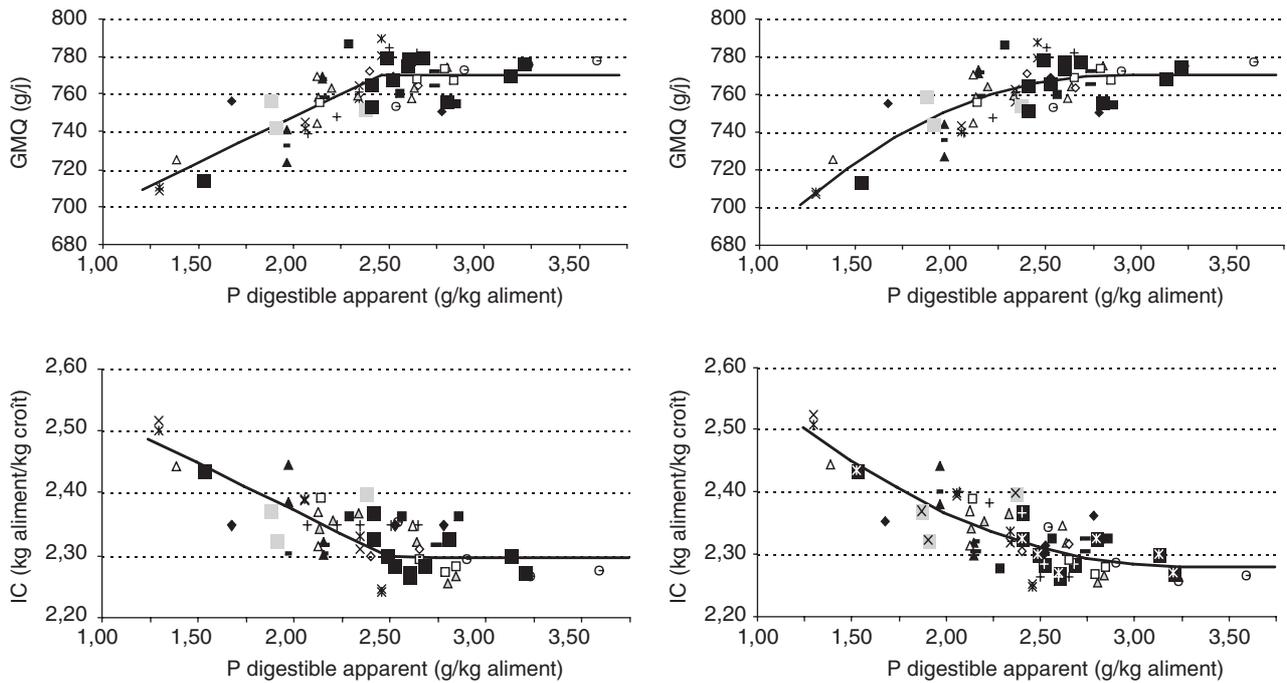


Figure 1 - Prédiction des performances des animaux en période de croissance (25-60 kg) en fonction de la teneur de l'aliment en P digestible apparent, selon les modèles linéaire-plateau¹ et curvilinéaire-plateau¹
 (¹ voir tableau 2 - Chacun des symboles correspond à une étude particulière)

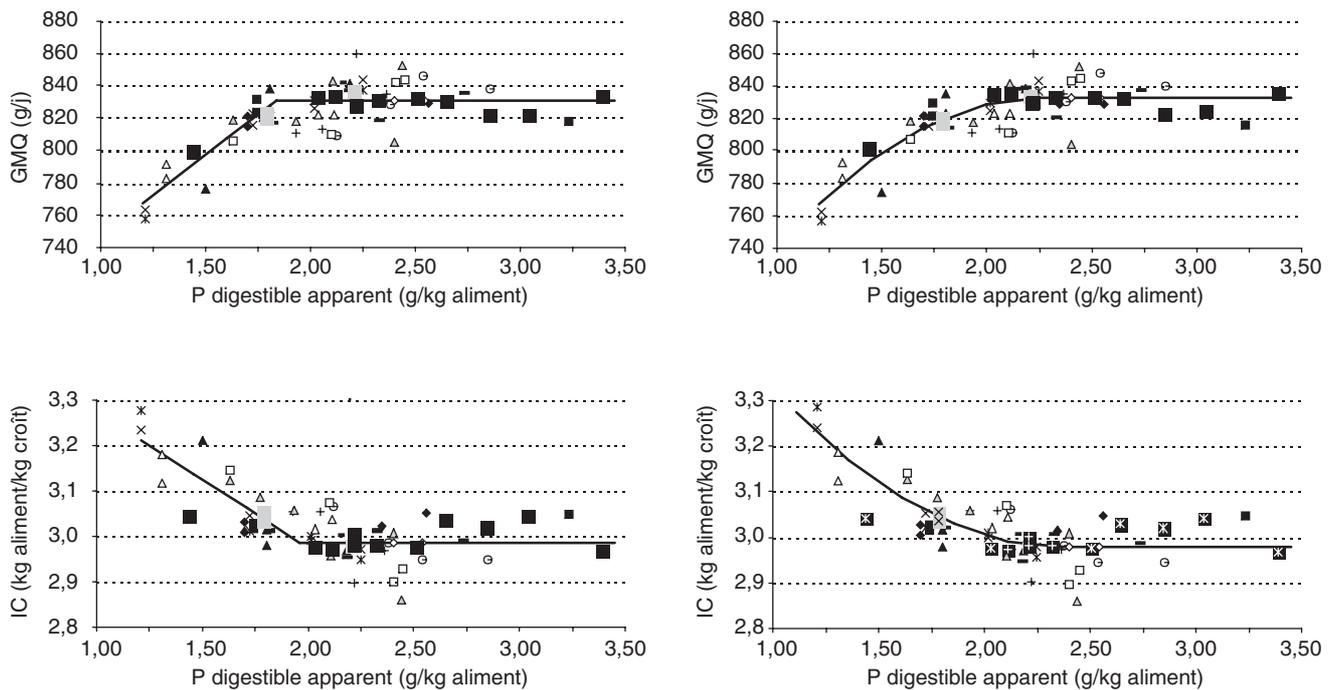


Figure 2 - Prédiction des performances des animaux en période de finition (60-110 kg) en fonction de la teneur de l'aliment en P digestible apparent, selon les modèles linéaire-plateau¹ et curvilinéaire-plateau¹
 (¹ voir tableau 2 - Chacun des symboles correspond à une étude particulière)

apports de 1,99 et 1,90 g P digestible apparent/kg d'aliment permettent de couvrir les besoins d'un animal pesant 85 kg et présentant un GMQ de 830 g/j et un IC de 3,0.

3. DISCUSSION

Les deux modèles utilisés dans cette analyse sont fondamentalement différents. Selon le modèle linéaire-plateau, on sup-

pose que le rendement marginal du P digestible apparent, qui correspond à la variation du GMQ ou de l'IC pour un changement d'apport en P digestible apparent, est constant. Au contraire, selon le modèle curvilinéaire-plateau, ce rendement marginal diminue avec l'apport. En d'autres termes, plus l'apport est faible, plus l'animal est efficace. Ainsi, toute baisse de l'apport en P digestible apparent par rapport à l'optimum calculé selon le modèle linéaire-plateau entraîne

Tableau 4 - Calcul factoriel des besoins en P digestible apparent des porcs en croissance et en finition

PV (kg)	45	85
Vitesse de croissance (g/j)	770	830
Consommation d'aliment (kg/j)	1,77	2,49
Indice de consommation	2,3	3,0
Besoins pour l'entretien (g/j)		
1	0,45	0,85
2	0,32	0,60
Besoins pour la croissance (g/j)		
1	3,98	4,10
2	4,03	4,13
Besoins totaux (g/j)		
1	4,43	4,95
2	4,34	4,73
Besoins totaux (g/kg aliment)		
1	2,50	1,99
2	2,45	1,90

1 Pertes endogènes urinaires quotidiennes de P (mg/kg PV) = 10 (GUEGUEN et PEREZ, 1981) ; P corporel (g) = $-0.002857 \cdot PV^2 + 5,42 \cdot PV$ (DOURMAD et al., résultats non publiés), avec PV = poids vif de l'animal en kg

2 Pertes endogènes urinaires quotidiennes de P (mg/kg PV) = 7 (JONGBLOED et al., 1999) ; ln P corporel (g) = $1,494 + 1,108 \cdot \ln PV - 0.018 \cdot (\ln PV)^2$ auxquels sont ajoutés 0,25 g P/kg gain de poids (JONGBLOED et al., 1999), avec PV = poids vif de l'animal en kg

une dégradation relativement importante des performances, alors que le modèle curvilinéaire-plateau inclut une marge de sécurité. Ainsi, selon le modèle curvilinéaire-plateau, l'estimation de la teneur en P digestible apparent de l'aliment à partir de laquelle le GMQ des porcs en croissance est maximisé excède de 0,39 g/kg l'estimation obtenue selon le modèle linéaire-plateau (2,85 vs 2,46 g/kg). En période de finition, cette différence atteint 0,42 g/kg (2,26 vs 1,84 g/kg). Lorsque l'IC est considéré comme indicateur des performances des animaux, cet écart atteint respectivement 0,78 et 0,41 g/kg d'aliment en périodes de croissance et de finition. Cependant, lorsque les apports alimentaires de P sont proches de l'optimum calculé au moyen du modèle curvilinéaire-plateau, la détérioration des performances consécutive à la diminution de la teneur en P digestible apparent de l'aliment est faible. En période de croissance, la diminution de la teneur en P digestible apparent de 3,3 à 2,5 g/kg d'aliment entraîne une détérioration des performances n'excédant pas 3 g de GMQ et 0,03 point d'IC. De même, en période de finition, diminuer l'apport de P digestible apparent de 2,4 à 1,8 g/kg d'aliment ne conduit qu'à une détérioration du GMQ de 12 g/j et de l'IC de 0,06 point. Les deux modèles aboutissent à une estimation cohérente des besoins en P digestible apparent des porcs tant en période de croissance qu'en période de finition.

Les hypothèses de calcul émises par GUEGUEN et PEREZ (1981) et DOURMAD et al. (non publié), d'une part, et par

JONGBLOED et al. (1999), d'autre part, aboutissent à une estimation cohérente des besoins en P digestible apparent du porc, tant en période de croissance qu'en période de finition. Elle est de plus en accord avec l'estimation, selon le modèle linéaire-plateau, de la teneur en P digestible apparent de l'aliment qui permet d'optimiser les performances de croissance des animaux. En période de croissance, les besoins sont estimés à 2,45 et 2,50 g/kg par le calcul factoriel (tableau 4) et à 2,46 et 2,49 g/kg selon le modèle linéaire (tableau 3). En période de finition, ces valeurs atteignent 1,90 et 1,99 g/kg par le calcul factoriel (tableau 4) vs 1,84 et 1,96 g/kg selon le modèle linéaire (tableau 3).

Cependant, selon l'approche factorielle, les besoins sont calculés pour une maximisation de la minéralisation osseuse et devraient excéder les besoins nécessaires à l'optimisation des performances de croissance (GUEGUEN et PEREZ, 1981). On pouvait donc s'attendre à une légère sous-estimation des besoins par l'analyse statistique de notre base de données par rapport au calcul factoriel. L'absence de différence entre les deux estimations pourrait avoir pour origine une légère surestimation de la teneur en P digestible apparent des aliments. En particulier, nous avons toujours considéré que la phytase apportée par les matières premières végétales améliorerait la digestibilité du P bien que certains aliments aient pu subir des traitements technologiques susceptibles de la dénaturer, au moins partiellement. De plus, nous n'avons pas pris en compte l'apport de Ca dans les aliments dont l'excès peut entraîner une diminution de la digestibilité fécale apparente du P (e.g. LIU et al., 1998). En dépit de cette limite, cette étude tend à montrer que nous disposons désormais des outils adéquats pour formuler des aliments pour porcs charcutiers sur la base du P digestible apparent : l'estimation de la teneur en P digestible apparent des aliments au moyen des valeurs proposées dans la table INRA-AFZ (2002) nous a permis de prédire des performances de croissance en cohérence avec les résultats obtenus lors du calcul factoriel des besoins.

CONCLUSION

Le système de formulation sur la base du P digestible apparent représente, par rapport à la seule prise en compte des apports totaux de P, un progrès indéniable dans le sens d'un meilleur ajustement des apports aux besoins et une meilleure protection de l'environnement. Toutefois, pour l'améliorer, des progrès peuvent encore être accomplis en termes d'estimation de la valeur alimentaire des matières premières et des aliments. Par ailleurs, des travaux plus fondamentaux portant sur l'étude du métabolisme phosphocalcique chez le porc pourraient être conduits afin d'affiner encore les concepts utilisés.

REMERCIEMENTS

Ce travail a fait l'objet d'un soutien financier de la part de l'ACTA et du Ministère de la Recherche (Dossier n°2000/01-3 - Estimation du phosphore digestible).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRIER-GUILLOT B., CASADO P., MAUPETIT P., JONDREVILLE C., GATEL F., 1996. *J. Sci. Food Agric.*, 70, 69-74.
- CASTAING J., CAZAUX J.G., COUDURE R., TUCOU M., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 285-292.
- CHAUVEL J., GRANIER R., JONDREVILLE C., WILLIATTE I., 1997. *Journées Rech. Porcine en France*, 29, 277-284.
- CVB, 2000. *Veevoedertabel*. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands.
- DOURMAD J.Y., POMAR C., MASSE D., 2002. *Journées Rech. Porcine en France*, 34, 183-194.
- INRA, 1989. *L'alimentation des animaux monogastriques : porcs, lapins, volailles*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 282 p.
- INRA-AFZ, 2002. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. SAUVANT D., PEREZ J.M., TRAN G. Coord., INRA Eds, Paris, 291 p.
- ISO 6491, 1998. *Aliments des animaux – détermination de la teneur en phosphore – méthode spectrométrique*, 7 p.
- GUEGUEN L., PEREZ J.M., 1981. *Proc. Nutr. Soc.*, 40, 273-278.
- JONGBLOED A. W., EVERTS H., KEMME P.A., MROZ Z., 1999. Quantification of absorbability and requirements of macroelements. In : *Quantitative biology of the pig*. Kyriazakis, I. (Eds), CAB International, 275-298.
- LATIMIER P., POINTILLART A., CORLOUER A., LACROIX H., 1994. *Journées Rech. Porcine en France*, 26, 107-115.
- LIU J., BOLLINGER D.W., LEDOUX D.R., VEUM T.L., 1998. *J. Anim. Sci.*, 76, 808-813.
- PABOEUF F., POINTILLART A., CORLOUER A., LACROIX H., LATIMIER P., 1999. *Journées Rech. Porcine en France*, 31, 65-72.
- PABOEUF F., POINTILLART A., MAHE M., LACROIX H., NEVEU L., CALVAR C., LANDRAIN B., ROY H., 2002. *Journées Rech. Porcine*, 34, 175-182.
- POULSEN H. D., LATIMIER P., FERNANDEZ J. A., 1999. *Livest. Prod. Sci.*, 58, 251-259.
- SAS, 1990. *User's guide*. Statistical Analysis Systems Institute Inc., Cary, NC, USA
- SKIBA F., HAZOUARD I., BERTIN J.M., CHAUVEL J., 2000. *Journées Rech. Porcine en France*, 32, 169-175.

