

Effet de la réduction de l'apport calcique sur l'utilisation du calcium et du phosphore par le porcelet sevré consommant des aliments avec ou sans phytase microbienne

Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (1,2), Agnès NARCY (1), Michel Magnin (2), Daniel SAUVANT (3),
Jean F. BERNIER (4), Candido POMAR (5), Catherine JONDREVILLE (6,7)

(1) INRA, UR83, F-37380 Nouzilly

(2) BASF Nutrition animale, F-53200 Château-Gontier

(3) INRA-AgroParisTech, UMR791, F-75231 Paris

(4) Université Laval, Département des Sciences Animales, Québec, QC, G1V 0A6 Canada

(5) Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sherbrooke, QC, J1M 1Z3 Canada

(6) INRA-Agrocampus, UMR1079, F-35590 Saint-Gilles

(7) Adresse actuelle : INRA-INPL-ENSAIA, USC340, F-54505 Vandoeuvre-lès-Nancy

agnes.narcy@tours.inra.fr

Avec la collaboration technique de S. Hillion (6), F. Pontrucher (6), M. Alix (6), H. Demay (6), H. Flageul (6), G. Guillemois (6),
M. Lefebvre (6), F. Le Gouëvec (6), J. Liger (6), V. Piedvache (6) et J.F. Rouaud (6)

Effet de la réduction de l'apport calcique sur l'utilisation du calcium et du phosphore par le porcelet sevré consommant des aliments avec ou sans phytase microbienne

L'étude a été conduite afin d'évaluer l'effet de deux niveaux d'apport de Ca sur l'utilisation de Ca et de P chez des porcelets recevant des aliments normalement pourvus en P, avec ou sans phytase microbienne.

Vingt-quatre porcelets sevrés à 28 jours ont été placés en cage individuelle et ont été nourris avec un aliment couvrant l'ensemble de leurs besoins nutritionnels pendant 15 jours. Ils ont ensuite reçu des aliments à base de maïs et de tourteau de soja contenant 5,6 g P / kg pendant 25 jours. Les quatre aliments différaient par leur teneur en Ca (Ca:P = 1,2 ou 1,9) et la présence ou non de phytase (0 ou 1000 FTU / kg).

Les résultats montrent que la phytase améliore la digestibilité de P (72 vs 56%, $P < 0,001$), indépendamment de l'apport calcique, alors que l'abaissement de Ca améliore légèrement la digestibilité de P (66 vs 62%, $P < 0,05$), avec ou sans phytase. En revanche, pour les aliments contenant de la phytase, l'abaissement du ratio Ca:P de 1,9 à 1,2 provoque une multiplication par 5 des pertes urinaires de P. Ces pertes supplémentaires sont dues à un déficit de Ca pour la minéralisation osseuse et résultent en une diminution de 5 % de la teneur en cendres du fémur.

Nous concluons de cette étude que, pour un apport de P recommandé (5,6 g / kg), l'abaissement du ratio Ca:P de 1,9 à 1,2 dans les aliments pour porcs contenant de la phytase n'améliore pas la libération de P par la phytase au niveau digestif. De plus, le déséquilibre entre Ca et P engendré dans ces conditions ne permet pas d'assurer le dépôt optimal de P au niveau du squelette.

Effect of reduced dietary calcium on calcium and phosphorus utilisation by piglets given diets with or without microbial phytase

The study was carried out in order to assess the effect of two dietary Ca concentrations on P and Ca utilisation in piglets given maize-soybean meal diets providing practical levels of P, with or without phytase.

Twenty-four piglets weaned at 28 days of age were placed in individual cages and given diets covering all their nutrient requirements during 15 days. During the 25-day subsequent period they were fed one of four maize-soybean-meal diets with similar concentrations of P (0.56%): one high and one low Ca diet (Ca:P = 1.9 and 1.2, respectively) without phytase and two similar diets supplemented with microbial phytase (1000 FTU / kg).

P digestibility was improved in diets supplemented with phytase (72 vs 56%, $P < 0,001$), whereas it was depressed by increased dietary Ca (62 vs 66%, $P < 0,05$). These two effects were independent, indicating that Ca equally depressed P digestibility with and without phytase and did not influence phytase efficiency. However, in piglets given diets with phytase, reduction of Ca:P from 1.9 to 1.2 increased urinary losses of P by 5 folds. These extra urinary losses of P were due to a lack of Ca for skeleton ash deposition, resulting in a reduction by 5 % of femur ash concentration. At the end, reducing dietary Ca:P ratio from 1.9 to 1.2 in a practical diet containing 0.56 % P with added phytase did not improve the amount of P released by phytase from phytates. Moreover, this reduction caused Ca:P imbalance that impaired bone mineralization.

INTRODUCTION

La limitation des rejets de P ainsi que l'utilisation de sources non renouvelables de phosphates constituent deux enjeux environnementaux majeurs pour la production porcine. Pour y faire face, différentes stratégies alimentaires ont été développées, et notamment l'introduction de phytases microbiennes dans les aliments. Cette enzyme, qui permet de libérer les groupements phosphates associés aux phytates, est désormais reconnue comme une source alternative de phosphore dans l'alimentation des porcs (Selle et Ravindran, 2008). De nombreuses études visant à estimer l'épargne de P attribuable à la phytase dans les aliments pour porcs ont été conduites. Les protocoles mis en œuvre consistent en général à mesurer la réponse obtenue par l'introduction de phytase dans des aliments pauvres en P. A partir d'expérimentations menées dans ces conditions d'apport faible de P, certains auteurs ont conclu que l'abaissement du rapport Ca:P autour de 1,0 à 1,3 dans les aliments contenant de la phytase permettait de maximiser l'efficacité de l'enzyme (Lei et al., 1994 ; Qian et al., 1996 ; Liu et al., 1998) et ont recommandé l'abaissement de ce rapport dans la pratique. Cependant, comme l'ont souligné Létourneau-Montminy et al. (2009) et Selle et Ravindran (2008), le protocole mis en œuvre lors de ces études ne permettait pas de conclure à une efficacité accrue de la phytase, mais uniquement à une utilisation améliorée de P avec l'abaissement de l'apport de Ca, dans des régimes pauvres en P. De plus, on peut s'interroger sur la pertinence de l'extrapolation de ces résultats, obtenus dans des conditions d'apport de P très limitant, à des conditions pratiques avec des apports adéquats de P. En particulier, il est important de vérifier que l'abaissement de Ca n'est pas à l'origine d'un déséquilibre entre Ca et P pouvant causer un défaut de minéralisation de l'os.

Le but de cette étude a été de mesurer l'impact de deux niveaux d'apport de Ca sur l'utilisation de Ca et de P chez des porcelets

recevant des aliments normalement pourvus en P, avec ou sans phytase microbienne.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Aliments expérimentaux

Quatre aliments, à base de maïs et de tourteau de soja, ont été formulés de façon à satisfaire l'ensemble des besoins nutritionnels de porcs pesant entre 10 et 15 kg (INRA, 1989), à l'exception de ceux de Ca et de P (Tableau 1). La teneur en P digestible des deux aliments contenant de la 3-phytase (1000 FTU / kg, Natuphos[®], BASF AG, Ludwigshafen, Allemagne), estimée à 0,38 % dont 0,12 % apportés par la phytase (Kornegay, 2001), était suffisante pour assurer une minéralisation osseuse maximale (INRA-AFZ, 2004 ; Jondreville et Dourmad, 2005). Ces deux aliments différaient, cependant, par leur teneur en Ca (1,03 % pour HCaPhyt+ et 0,67 % pour BCaPhyt+), soit des rapports Ca:P respectifs de 1,9 et 1,2. La teneur en Ca dans les aliments HCa correspond à la valeur couramment utilisée sur le terrain pour des aliments contenant de la phytase microbienne. Les deux autres aliments expérimentaux (HCaPhyt- et BCaPhyt-) ne différaient des précédents que par l'absence de phytase microbienne. Les matières premières ont été broyées avec un broyeur à marteaux muni d'une grille de 2,5 mm avant d'être mélangées. Durant le processus de fabrication des aliments, la température n'a pas dépassé 50°C. Les aliments ont été distribués aux animaux sous forme granulée.

1.2. Animaux et conduite expérimentale

Vingt-quatre porcelets Piétrain x (Large White x Landrace), pour moitié mâles castrés et pour moitié femelles, pesant en moyenne $9,04 \pm 0,89$ kg au sevrage (28 jours), ont été placés par paire dans des cages en acier inoxydable et matière plas-

Tableau 1 - Niveaux d'incorporation des sources de Ca, de P et de phytase microbienne dans les aliments expérimentaux¹ et caractérisation analytique

Aliment	HCaPhyt+	HCaPhyt-	BCaPhyt+	BCaPhyt-
Composition, %				
Amidon de maïs	–	0,014	0,90	0,91
Carbonate de calcium	1,49	1,49	0,59	0,59
Phosphate monobasique	1,07	1,07	1,07	1,07
Phytase microbienne ²	0,014	–	0,014	–
Caractérisation analytique				
Matière sèche, % ³	90,0	89,8	89,8	89,8
Ca, % ³	1,04	1,02	0,69	0,65
P, % ³	0,56	0,55	0,55	0,55
dP, % ⁴	0,38	0,26	0,38	0,26
Ca: P	1,9	1,9	1,3	1,2
Ca: dP	2,7	3,9	1,8	2,5
Activité phytasique, FTU / kg ³	790	< 50	960	< 50

¹ Tous les aliments contiennent : maïs (64,90 %), tourteau de soja (27,94 %), huile de tournesol (3,00 %), L-Lysine HCl (0,41 %), DL-méthionine (0,16 %), L-thréonine (0,17 %), L-tryptophane (0,05 %), NaCl (0,30 %), mélange d'oligoéléments et vitamines (0,50 %).

² Natuphos[®], produit par *Aspergillus niger* (6930 FTU / g, BASF AG, Ludwigshafen, Allemagne).

³ Analysé comme décrit dans la section Matériels et méthodes.

⁴ P digestible, calculé selon INRA-AFZ (2004).

tique. Pendant 15 jours, ils ont reçu un aliment permettant de couvrir l'ensemble de leurs besoins (INRA, 1989). A l'issue de cette période, six blocs de quatre animaux chacun ont été constitués sur la base du sexe, du poids vif et de la portée. Les porcs ont ensuite été logés individuellement pendant 25 jours durant lesquels ils ont reçu l'un des quatre aliments expérimentaux. Durant cette période, une collecte totale des fèces et des urines a été réalisée du 5^{ème} au 11^{ème} jours d'expérimentation. La quantité journalière d'aliment allouée était ajustée à 3,5 % du poids vif. La consommation individuelle d'aliment a été enregistrée quotidiennement. Chaque porc a été pesé au début et à la fin de la période expérimentale, après une nuit de jeûne. La température de la salle a été maintenue à $25 \pm 1^\circ\text{C}$. A la fin de la période expérimentale et après une nuit de jeûne, les porcs ont été abattus par saignée après avoir été anesthésiés par choc électrique. A l'abattage, le fémur droit de chaque porc a été prélevé.

1.3. Analyses chimiques

Toutes les analyses ont été effectuées en double. L'activité phytasique dans les aliments a été mesurée par colorimétrie après incubation dans une solution de phytate de sodium (Engelen et al., 1994). Le fémur droit a été cuit à l'autoclave à 120°C pendant 20 min pour faciliter l'élimination des tissus mous adhérents à l'os. L'os a ensuite été sectionné puis séché à 103°C pendant 12 heures pour détermination de sa teneur en matière sèche (MS) puis incinéré à 550°C pendant 16 heures pour déterminer sa teneur en cendres. Les aliments et les fèces ont été séchés (103°C jusqu'à poids constant) puis incinérés (550°C , 8 heures). Les cendres ont été solubilisées avec de l'acide nitrique à 16 N et du peroxyde d'hydrogène à 30 % sur un bain à sec jusqu'à évaporation, puis diluées dans de l'acide nitrique 0,4 N. Le calcium a été dosé par spectrométrie d'absorption atomique (SpectrAA 220 FS, Varian, Springvale, Australie) et le phosphore selon la méthode colorimétrique Vanadate sur l'appareil Cobas Mira (Hoffman-LaRoche, Nutley, NJ).

1.4. Analyses statistiques

L'analyse statistique des données a été menée au moyen de la procédure GLM du logiciel SAS (1990), en considérant le porcelet comme l'unité expérimentale selon un dispositif factoriel en blocs complets avec le niveau de Ca (HCa et BCa) et de phytase (Phyt+ et Phyt-) comme facteurs principaux. Les différences ont été considérées comme significatives pour $P < 0,05$.

2. RESULTATS

Les teneurs en Ca et P des aliments expérimentaux étaient conformes aux valeurs attendues avec un rapport Ca:P de 1,9 dans les aliments HCaPhyt+ et HCaPhyt- et de respectivement 1,3 et 1,2 dans les aliments BCaPhyt+ et BCaPhyt- (Tableau 1). L'activité phytasique était de respectivement 790 et de 960 FTU / kg dans les aliments HCaPhyt+ et BCaPhyt+ et était en deçà de 50 FTU / kg dans les aliments non supplémentés.

La phytase a amélioré la vitesse de croissance (+4 %, $P < 0,05$) et l'indice de consommation (-5 %, $P < 0,01$) des animaux (Tableau 2). De même, l'enzyme a augmenté le poids de cendres du fémur (+10 %, $P < 0,05$), ainsi que la teneur en cendres de l'os (+11 %, $P < 0,001$), mais dans une proportion qui tendait à être plus importante lorsque que rapport Ca:P était de 1,9 (+15 %) plutôt que de 1,3 (+7 %)(interaction Ca x Phytase, $P < 0,10$) (Tableau 2).

La phytase a amélioré le coefficient d'absorption de Ca (70 % vs 62 %, $P < 0,01$) alors que la concentration de Ca n'a pas influencé ce paramètre ($P > 0,10$). Par conséquent, la quantité de Ca absorbé a été augmentée de 14 % ($P < 0,001$) par la phytase et dans les mêmes proportions que l'augmentation de la concentration alimentaire de Ca (+45 % avec l'augmentation de Ca alimentaire, $P < 0,001$). Les pertes urinaires de Ca ont été diminuées par la phytase (-43 %, $P < 0,05$) et par l'abaissement de l'apport alimentaire de Ca (-73 %, $P < 0,001$). Les pertes urinaires les plus

Tableau 2 - Performances de croissance et caractéristiques osseuses des porcs en fonction des apports alimentaires de Ca et de phytase microbienne¹

Calcium Phytase	HCa		BCa		Probabilités			
	Phyt+	Phyt-	Phyt+	Phyt-	Ca	Phyt.	Ca x Phyt.	ETR ²
Performances de croissance								
Poids vif initial, kg	11,6	11,5	11,2	11,9				
Aliment ingéré, g / j	521	526	521	528				
Vitesse de croissance, g / j	397 ^b	374 ^a	383 ^{ab}	377 ^a	0,31	0,011	0,12	12,5
Poids vif final, kg	21,5	20,8	20,8	21,3	0,72	0,76	0,087	0,82
Indice de consommation	1,31 ^a	1,41 ^b	1,36 ^{ab}	1,40 ^b	0,28	< 0,01	0,16	0,043
Caractéristiques du fémur								
Matière sèche, g	29,2	29,6	30,4	30,4	0,33	0,78	0,85	2,36
Cendres, g	13,3 ^b	11,9 ^a	13,2 ^b	12,3 ^{ab}	0,73	0,029	0,56	1,16
Cendres, g / kg MS	460 ^b	400 ^a	436 ^{ba}	406 ^a	0,30	< 0,001	0,099	20,2

¹ Les moyennes sur une même ligne non suivies d'une même lettre diffèrent significativement ($P < 0,05$).

² ETR = écart type résiduel.

Tableau 3 - Bilan de Ca et de P en fonction des apports alimentaires de Ca et de phytase microbienne ^{1,2}

Calcium Phytase	HCa		BCa		Probabilités			
	Phyt+	Phyt-	Phyt+	Phyt-	Ca	Phyt.	Ca x Phyt.	ETR ³
Bilan de Ca								
Ingéré, g / j	4,68	4,66	3,15	2,98				
Excrété fèces, g / j	1,46 ^c	1,65 ^c	0,905 ^a	1,19 ^b	< 0,001	0,014	0,62	0,210
Excrété urines, mg / j	317 ^b	500 ^c	60,1 ^a	159 ^{ab}	< 0,001	0,020	0,45	132
Absorbé, g / j	3,22 ^d	3,01 ^c	2,25 ^b	1,79 ^a	< 0,001	< 0,001	0,10	0,172
Retenu, g / j	2,91 ^d	2,51 ^c	2,18 ^b	1,63 ^a	< 0,001	< 0,001	0,32	0,190
Coefficient d'absorption, %	69,1 ^b	64,5 ^{ab}	70,3 ^b	59,8 ^a	0,42	< 0,01	0,17	5,08
Coefficient de rétention, %	62,2 ^b	54,1 ^a	68,5 ^c	54,5 ^a	0,12	< 0,001	0,17	4,98
Bilan de P								
Ingéré, g / j	2,54	2,52	2,51	2,53				
Excrété fèces, g / j	0,763 ^a	1,13 ^b	0,658 ^a	1,06 ^b	0,043	< 0,001	0,62	0,094
Excrété urines, mg / j	30,9 ^a	23,0 ^a	174 ^b	39,0 ^a	< 0,001	< 0,001	< 0,001	26,0
Absorbé, g / j	1,77 ^b	1,39 ^a	1,85 ^b	1,47 ^a	0,081	< 0,001	0,93	0,100
Retenu, g / j	1,74 ^b	1,37 ^a	1,67 ^b	1,43 ^a	0,95	< 0,001	0,16	0,113
Coefficient d'absorption, %	69,9 ^b	55,0 ^a	73,1 ^b	57,9 ^a	0,035	< 0,001	0,92	3,25
Coefficient de rétention, %	68,7 ^b	54,1 ^a	65,8 ^b	56,4 ^a	0,86	< 0,001	0,11	3,77

¹ Les moyennes sur une même ligne non suivies d'une même lettre diffèrent significativement ($P < 0,05$).

² Le poids moyen des animaux nourris avec les régimes HCaPhyt+, HCaPhyt-, BCaPhyt+ et BCaPhyt- durant la période de bilan était de respectivement 14,0, 13,8, 13,8 et 14,3 kg.

³ ETR = écart type résiduel.

faibles ont donc été mesurées chez les animaux ayant reçu l'aliment BCaPhyt+, où elles représentaient 2,7 % de la quantité de Ca absorbée; elles ont été multipliées par 8,3 chez les animaux ayant reçu l'aliment HCaPhyt- où elles représentaient 17 % de la quantité de Ca absorbée. En dépit de cette modulation des pertes urinaires, le coefficient de rétention de Ca n'a été significativement amélioré que par la phytase (65 vs 54 %, $P < 0,001$), alors que l'effet de la diminution de l'apport calcique demeurait non significatif (62 vs 58 %, $P = 0,12$).

Le coefficient d'absorption de P a été amélioré par la phytase (72 vs 56 %, $P < 0,001$) et, de façon plus modérée, par l'abaissement de Ca alimentaire (66 vs 62 %, $P < 0,05$), avec une augmentation de la quantité de P absorbée de respectivement 27 % ($P < 0,001$) et 5 % ($P = 0,08$). Ces deux effets étaient indépendants l'un de l'autre (interaction Ca x Phytase, $P > 0,10$). L'excrétion urinaire de P a été maximale chez les animaux ayant reçu l'aliment BCaPhyt+ où elle a atteint 9,4 % de la quantité de P absorbée alors qu'elle était d'environ 2 % de P absorbé, pour les autres aliments (interaction Ca x Phytase, $P < 0,001$). Par conséquent, la phytase a amélioré la rétention de P, mais dans une proportion qui tendait à être plus importante lorsque le rapport Ca:P était plus élevé (respectivement 69 vs 54 % et 66 vs 56 %, interaction Ca x phytase, $P = 0,11$).

3. DISCUSSION

Selon les tables INRA-AFZ (2004), la concentration de P digeste attendue dans les aliments sans phytase était de 2,6 g / kg, soit un coefficient d'absorption de 47 %, alors qu'une concentration de 3,1 g / kg a été obtenue, soit un coefficient

d'absorption de 56 %. Cependant, la présence de phytase dans les aliments a permis la libération de l'équivalent de 1,0 g de P digestible / kg d'aliment, ce qui est conforme à l'équivalence de 1,2 g pour 1000 FTU que nous avons utilisée (Kornegay, 2001). Il semble donc qu'en dépit de valeurs de digestibilité supérieures aux attentes, notre étude hiérarchise correctement les régimes étudiés.

L'abaissement de la teneur en Ca des aliments a permis une légère augmentation de la digestibilité de P (66 vs 62%), soit une augmentation de la teneur en P digestible de 0,2 g / kg d'aliment. L'effet négatif de niveaux alimentaires de Ca élevés sur l'utilisation digestive de P est un phénomène connu et d'autant plus important que le niveau d'apport de P est faible (Reinhart et Mahan, 1986). Cet effet serait dû à la formation de complexes Ca_2PO_4 (Cromwell, 1996) et de complexes insolubles Ca-phytates (Maenz et al., 1999) dans le tube digestif. Dans notre étude, la faible amplitude de l'effet de Ca sur l'utilisation digestive de P pourrait être expliquée par la concentration alimentaire de P qui était assez élevée.

Nos résultats montrent que l'effet négatif de Ca sur l'utilisation digestive de P est de même amplitude avec et sans phytase. Réciproquement, l'effet positif de la phytase sur l'utilisation digestive de P est indépendant du rapport Ca:P. Nos résultats, comme ceux d'Adeola et al. (2006), contredisent donc l'effet négatif supposé d'un rapport Ca:P modérément élevé sur l'hydrolyse des phytates par la phytase. Comme l'ont souligné Selle et Ravindran (2008), cette conclusion avait été tirée de différentes études (Lei et al., 1994 ; Qian et al., 1996 ; Liu et al., 1998) qui ne permettaient pas d'en faire la démonstration.

Les plus faibles pertes urinaires de P ont été mesurées chez les porcelets qui ont reçu les aliments sans phytase (HCaPhyt- et BCaPhyt-) et l'aliment supplémenté avec de la phytase et présentant un rapport Ca:P de 1,9. Pour ces aliments, les pertes urinaires ont atteint le niveau basal de 2 à 3 mg / kg PV (Jongbloed, 1987), indiquant que la quantité de P absorbée était limitante par rapport à la quantité de Ca absorbée. Notons, toutefois, que chez les animaux ayant consommé l'aliment HCaPhyt+, ces pertes basales urinaires pourraient aussi illustrer la capacité limitée des porcelets à déposer du minéral au niveau osseux. Au contraire, chez les porcelets consommant l'aliment BCaPhyt+, les pertes urinaires de P et de Ca ont atteint respectivement les valeurs maximales de 12 mg / kg PV et basales de 4 mg / kg PV, suggérant que Ca absorbé était limitant pour la minéralisation. Ainsi, alors que la phytase a libéré l'équivalent de 1,0 g de P digestible, indépendamment de l'apport calcique, cette équivalence, exprimée en termes de P retenu, a été significativement réduite lorsque l'apport de Ca alimentaire a été diminué (respectivement 0,6 vs 0,9 g P retenu / kg aliment pour les rapports Ca:P de 1,3 et 1,9). Cette observation est en accord avec la modération de l'effet de la phytase sur la teneur en cendres du fémur lorsque le rapport Ca:P alimentaire était diminué (respectivement +7 et +15 % pour les rapports Ca:P de 1,3 et 1,9). Ce déséquilibre entre Ca et P absorbé a déjà été observé par Seynaeve et al. (2000) chez des porcs en croissance recevant un aliment à base de maïs et de tourteau de soja supplémenté avec de la phytase microbienne (500 FTU / kg) et contenant 4,7 g P / kg. Dans cette dernière étude, les pertes urinaires de P étaient multipliées par 5 lorsque le rapport Ca:P passait de 2,2 à 1,5. Cet effet n'était pas

observé lorsque l'aliment apportait 3,4 g P / kg. Cette étude et la nôtre montrent donc que ces pertes urinaires de P dues à un manque de Ca sont spécifiques aux aliments utilisés en pratique, normalement pourvus en P, et mettent en garde contre l'extrapolation de résultats obtenus dans des conditions expérimentales d'apports inadéquats de P à ceux de la pratique.

CONCLUSION

Notre étude ne confirme pas la pertinence de la réduction du rapport Ca:P à 1,0 - 1,3 dans les aliments pratiques supplémentés avec de la phytase. Non seulement, la réduction de l'apport calcique n'a pas augmenté la libération de P par la phytase au niveau digestif, mais elle a entraîné un déséquilibre entre P et Ca absorbés, ne permettant pas le dépôt optimal de P dans l'os en raison d'un manque de Ca et, par conséquent, une augmentation des pertes urinaires de P.

Cependant, cette étude ne permet pas de répondre définitivement quant à l'apport optimum de Ca dans les aliments pour porcs contenant de la phytase. Des travaux complémentaires doivent être entrepris afin de fixer les niveaux d'apport de Ca qui permettent de concilier la maximisation de la digestibilité de P et la minimisation des pertes urinaires de P.

REMERCIEMENTS

Cette expérimentation a été conduite dans le cadre d'une thèse CIFRE avec la société BASF Nutrition Animale que nous tenons à remercier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Lei X. G., Ku P. K., Miller E. R., Yokoyama M. T., Ullrey D. E., 1994. Calcium level affects the efficacy of supplemental microbial phytase in corn-soybean meal diets of weanling pigs. *J. Anim. Sci.*, 72, 139-143.
- Létourneau-Montminy M. P., Narcy A., Magnin M., Sauvart D., Bernier J. F., Pomar C., Jondreville C., 2009. Effect of reduced dietary calcium and phytase supplementation on calcium and phosphorus utilisation in weaned piglets with modified mineral status. *J. Anim. Sci.*, submitted.
- Liu J., Bollinger D. W., Ledoux D. R., Veum T. L., 1998. Lowering the dietary calcium to total phosphorus ratio increases phosphorus utilization in low-phosphorus corn-soybean meal diets supplemented with microbial phytase for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 76, 808-813.
- Maenz D. D., Engele-Schaan C. M., Newkirk R. W., Classen H. L., 1999. The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms of phytic acid in solution and in a slurry of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 81, 177-192.
- Qian H., Kornegay E. T., Conner D. E. Jr, 1996. Adverse effects of wide calcium:phosphorus ratios on supplemental phytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels. *J. Anim. Sci.*, 74, 1288-1297.
- Reinhart G. A., Mahan D. C., 1986. Effect of various calcium: phosphorus ratios at low and high dietary phosphorus for starter, grower and finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 63, 457-466.
- SAS, 1990. SAS / STAT, User's Guide (Release 6.07) SAS Inst. Inc. Cary, NC, USA.
- Selle P. H., Ravindran V., 2008. Phytate-degrading enzymes in pig nutrition. *Livest. Sci.*, 113, 99-122.
- Seynaeve M., Janssens G., Hesta M., Van Nevel C., De Wilde R. O., 2000. Effects of dietary Ca:P, P level and microbial phytase supplementation on nutrient digestibilities in growing pigs: precaecal, post-ileal and total tract disappearances of OM, P and Ca. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 83, 36-48.

