

Impact de déséquilibres phosphocalciques sur les performances zootechniques et la minéralisation osseuse chez le porc en finition

Joanie LANGLOIS (1,2), Candido POMAR (2), Marie-Pierre LÉTOURNEAU-MONTMINY (1)

(1) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, QC, J1V 0A6 Canada

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

Marie-Pierre.Letourneau@fsaa.ulaval.ca

Impact de déséquilibres phosphocalciques sur les performances zootechniques et la minéralisation osseuse chez le porc en finition

Les effets de différents apports de phosphore (P) (60, 80, 100, 120 et 140% des besoins de P, et un témoin terrain C+) et un apport déséquilibré de calcium (Ca) (130, 115, 100, 85, 70% des besoins de Ca et C+) ont été étudiés simultanément en termes de minéralisation osseuse, de rétention corporelle de P et Ca et de performances de croissance chez le porc pendant deux phases d'alimentation de 28 jours chacune. Un aliment A apportant 140% des besoins en P digestible et un aliment B apportant 60% de ces mêmes besoins ont été utilisés en mélange pour chaque phase. Le Ca total :P digestible était près de 1,3 et 5,5 pour les aliments A et B des deux phases et de 3,0 et 2,5 dans le C+ pour les phases 2 et 3 respectivement. Quatre-vingt-treize porcs ($51,6 \pm 4,6$ kg) ont reçu un des six traitements alimentaires. Durant les deux phases à l'étude, la consommation était diminuée chez les porcs recevant les niveaux de P et Ca de 60 et 130% et C+ comparativement aux porcs des autres traitements ($P < 0,001$). Le contenu minéral osseux était aussi réduit avec les porcs recevant 60 et 130% de P et Ca respectivement, et maximisé dans le traitement C+ ($P < 0,001$), qui était le seul à apporter des niveaux élevés de P et Ca. Le manque de Ca pour l'os des porcs recevant 100, 120 et 140% de P digestible était confirmé par une excrétion de P qui augmentait proportionnellement de 60 à 140% de l'apport de P digestible ($P < 0,001$). Ces résultats apportent des éléments de compréhension essentiels au développement d'une méthode multicritère de recommandations phosphocalciques chez le porc qui tiendra compte des objectifs de production.

Impact of phosphate and calcium imbalances on growth performance and bone mineralization in finishing pigs

The effects of different dietary phosphorus (P) (60-80-100-120-140% of P requirements, and a commercial control C+) with dietary calcium (Ca) imbalances (130, 115, 100, 85, 70% of Ca requirements and C+) were studied simultaneously in terms of bone mineralization, P and Ca body retention and growth performance in pigs during two feeding-phases of 28 days each. Feeds A and B contained 140 and 60% respectively of the estimated digestible P requirements and were blended for each feeding phase. Total Ca: digestible P ratios were near 1.3 and 5.5 for feeds A and B of both phases and 3.0 and 2.5 for C+ for phases 2 and 3, respectively. Ninety-three pigs (51.6 ± 4.6 kg) received one of the six dietary treatments. Average daily feed intake decreased for pigs receiving levels of P and Ca of 60 and 130% and C+ in comparison with the other treatments ($P < 0.001$). Bone mineral content was also reduced with pigs receiving 60 and 130% of P and Ca respectively, while it was maximized in C+ pigs ($P < 0.001$), the former being the only ones with high levels of P and Ca. The Ca deficiency in pigs receiving 100, 120 and 140% of digestible P were confirmed by the proportional increase of P excretion in pigs receiving from 60 to 140% of digestible P ($P < 0.001$). These results bring elements of understanding which are essential for the development of a multi-criteria method of estimating P and Ca allowances according to the expected production objective.

INTRODUCTION

Le coût d'alimentation peut représenter jusqu'à 60% des coûts de production d'un porc charcutier. Bien que les méthodes d'estimation de la valeur nutritionnelle des aliments se soient grandement améliorées, une variabilité demeure quant aux valeurs attendues dans les aliments complets. Ceci entraîne l'utilisation de marges de sécurité parfois considérables, pour éviter des diminutions des performances de croissance, lesquelles augmentent les coûts d'alimentation.

De plus, pour certains nutriments tels le phosphore (P), ces apports en excès ont des conséquences parfois graves pour l'environnement.

L'alimentation de précision est une option très intéressante pour réduire les coûts d'alimentation et les rejets de nutriments en permettant d'alimenter quotidiennement chaque porc du troupeau avec la quantité de nutriments dont il a besoin (Pomar *et al.*, 2009).

Cependant, pour une application efficace de cette nouvelle méthode d'alimentation, le besoin en P doit être précisément établi. Ceci est complexe compte tenu des multiples critères pouvant servir à définir le besoin (performance, os, excrétion), en plus des nombreux facteurs de variation de son utilisation (Létourneau-Montminy *et al.*, 2014).

Ainsi, des études sont nécessaires pour mieux comprendre le devenir du P alimentaire, mais également les facteurs modulant son utilisation par les porcs, notamment le calcium (Ca). Différents déséquilibres phosphocalciques ont été créés afin de faire ressortir les effets propres au P et au Ca et leurs interactions en termes de performances de croissance, de minéralisation osseuse et de rejets de P chez le porc en finition.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et dispositif expérimental

Quatre-vingt-seize porcs de 54 jours d'âge ($23,8 \pm 2,7$ kg) ont reçu pendant trois phases de 28 jours chacune un parmi six traitements expérimentaux à l'aide de nourrisseurs automatiques (Pomar *et al.*, 2009). Les quantités ingérées quotidiennes ont été mesurées individuellement à l'aide des automates. Au début de chacune des phases de croissance et à la fin de l'expérience, huit porcs par traitement, choisis au début de l'expérience et de façon aléatoire ont été pesés, anesthésiés et le corps entier a été scanné par absorptiométrie aux rayons X à double intensité (DXA) (DPX-L, Lunar Corp., Madison, WI) pour estimer le contenu minéral osseux (CMO) et la masse maigre et grasse, lesquels ont été utilisés pour estimer le P, le Ca, les protéines et les lipides corporels selon des équations préétablies (Pomar et Rivest, 1996 ; Létourneau-Montminy *et al.*, 2014). Des échantillons sanguins ont également été prélevés avant les scans dans des tubes Vacutainer contenant 100 USP d'héparine de sodium, stockés sur la glace puis centrifugés.

1.2. Aliments expérimentaux

Pour la première phase de croissance, deux régimes granulés à base de maïs et de tourteau de soja ont été utilisés, soit un aliment A apportant 140% du besoin de P digestible et de Ca (besoin estimé d'après Jondreville et Dourmad, 2005) et un aliment B en apportant 60%. Les aliments A et B ont été mélangés pour en arriver à cinq traitements alimentaires déterminant 60, 80, 100, 120 ou 140% des besoins de P, et un témoin « terrain » C+, avec un Ca apporté à un ratio fixe de 2,7 fois le P digestible (Tableau 1).

Tableau 1 – Aliments expérimentaux¹

Item	Phase 1			Phase 2			Phase 3		
	A	B	C+	A	B	C+	A	B	C+
Ingrédients, % matière fraîche									
Maïs	52,6	57,3	54,6	62,5	61,8	60,3	67,9	66,5	65,3
Tourteau de soja	24,7	24,1	24,4	18,8	18,9	19,1	14,6	14,8	15,0
Blé	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Phosphate monocalcique	1,69	0,39	1,19	1,18	0,18	0,93	0,91	0,11	0,96
Graisses d'origine animale	2,30	0,80	1,70	0,70	0,90	1,40		0,50	0,70
Sel	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51	0,51
Sulfate de lysine	0,5	0,52	0,51	0,49	0,49	0,49	0,4	0,4	0,39
Pierre à chaux	2,3	0,88	1,59	0,3	1,72	1,74	0,29	1,82	1,8
L-Thréonine	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,08
Méthionine	0,1	0,09	0,1	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07
L-thryptophane							0,01	0,01	0,01
Prémix vitamines et minéraux	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,20	0,20	0,20
Composition chimique, %²									
Protéine brute	18,6	18,2	18,9	15,6	14,4	15,5	14,2	14,0	13,6
Lysine digestible (iléale apparente)	1,04	1,04	1,04	0,90	0,90	0,90	0,75	0,75	0,75
Calcium (Ca)	1,21	0,57	0,91	0,41	0,78	0,85	0,37	0,66	0,72
Phosphore (P) total	0,68	0,43	0,56	0,54	0,37	0,49	0,52	0,32	0,42
P digestible	4,50	1,90	3,50	3,36	1,44	2,90	2,80	1,20	2,90
Ca: P digestible	2,70	2,97	2,60	1,22	5,42	2,93	1,32	5,50	2,48

¹A : aliment à 140% du besoin en P et Ca ; B : aliment à 60% du besoin en P et Ca ; C+ : aliment correspondant aux niveaux utilisés sur le terrain

²Valeurs analysées sauf pour le P digestible et la lysine qui sont calculés à partir de Sauvante *et al.*, (2004)

Pour les phases 2 et 3 (P2 et P3), une inversion des quantités de Ca des aliments A et B s'est produite lors de la fabrication, occasionnant des ratios Ca:P digestible de 1,3 et 5,5 pour les aliments A et B, respectivement (Tableau 1). Le ratio Ca:P digestible diminuait de ce fait avec l'augmentation de P alors que le C+ présentait des niveaux élevés de P et Ca durant les trois phases de croissance tel qu'attendu. Ainsi, dans les aliments complets et selon les valeurs analysées, le P varie de 60 à 140% du besoin conjointement à des variations de Ca de 130 à 70% alors que le C+ apporte de l'ordre de 140% des besoins pour les deux minéraux. Les traitements alimentaires correspondants sont identifiés dans ce document par 60-130, 80-115, 100-100, 120-85, 140-70 et C+(ou 120-140 pour P2 et 145-140 pour P3). Leurs ratios respectifs de Ca total:P digestible sont de 5,42, 3,58, 2,48, 1,74, 1,22 et 2,93 pour la P2 et de 5,50, 3,67, 2,58, 1,84, 1,32 et 2,48 pour la P3.

1.3. Analyses de laboratoire

Les aliments et les échantillons de plasma ont été analysés pour connaître leur teneur en matières azotées totales, P (colorimétrie) et Ca (spectrométrie au plasma).

1.4. Analyses statistiques

Une analyse de variance a été réalisée par phase avec le traitement comme effet principal et l'animal comme unité expérimentale, et les moyennes des traitements ont été évaluées avec des comparaisons multiples au moyen de la procédure MIXED de SAS (SAS 9.4, 2002, Inst. Inc. Cary, NC) en utilisant le test de Tukey. Les différences sont considérées comme significatives lorsque $P < 0,05$, et une valeur de $P \leq 0,10$ dénote une tendance statistique.

2. RÉSULTATS

Les résultats concernant la première phase d'alimentation sont présentés dans une autre communication (Langlois *et al.*, 2016).

2.1. Phase 2

Les poids initiaux n'étaient pas différents entre les traitements alors que les poids finaux différaient jusqu'à 6% par rapport à la moyenne ($P < 0,05$; Tableau 2). Ainsi, les porcs ayant reçu le traitement 60-130 étaient les moins lourds et les ceux ayant reçu le traitement 80-115 avaient un poids intermédiaire ($P = 0,02$). Le gain moyen quotidien (GMQ) augmentait et différait entre les traitements 60-130 à 100-100 puis atteignait un plateau ($P < 0,001$) pour des apports de P supérieurs. La consommation moyenne journalière (CMJ) augmentait et différait entre les traitements 60-130 à 100-100 puis atteignait un plateau entre les traitements 100-100 et 140-70 ($P < 0,001$). La CMJ pour le C+ était équivalente à celle des traitements 60-130 et 80-115. L'indice de conversion alimentaire (IC) était plus faible pour les traitements 140-70 et C+, comparativement aux autres traitements qui étaient similaires ($P < 0,001$).

Au début de la phase, le CMO, le P et le Ca corporels différaient entre les traitements ($P < 0,001$) avec les porcs recevant les traitements 140-70 et C+ présentant les valeurs les plus élevées. À la fin de la phase les porcs recevant les traitements 60-130 et C+ présentaient respectivement les valeurs les plus faibles et les plus élevées par rapport aux autres porcs pour ces mesures ($P < 0,001$).

Le P ingéré augmentait avec les apports de P pour les traitements 60-130 à 140-70 et était au niveau du 100-100 pour les porcs du traitement C+ ($P < 0,001$). Le P retenu était respectivement le plus faible et le plus élevé ($P < 0,001$) pour les traitements 60-130 et C+, soit une différence de 41%. L'excrétion de P augmentait des traitements 60-130 à 140-70 et l'excrétion des porcs recevant le traitement C+ était équivalente à celles pour les traitements 80-115 et 100-100 ($P < 0,001$). Les porcs recevant le traitement C+ étaient ceux qui consommaient le plus de Ca ($P < 0,001$) alors que les valeurs étaient similaires pour les 60-130 et 80-115 puis diminuaient par la suite. Le Ca retenu était supérieur pour les animaux du traitement C+, comparé aux traitements 80-115, 100-100 et 120-85 qui retenant autant le Ca, suivis des traitements 140-70 et 60-130 ($P < 0,001$). L'excrétion de Ca était la plus élevée pour les traitements 60-130 et 80-115, les porcs du traitement C+ étant intermédiaires. Elle diminuait ensuite avec la diminution du Ca de 100-100 à 140-70 ($P < 0,001$). Le P plasmatique était le plus faible chez les porcs du traitement 60-130 comparativement aux autres traitements qui présentaient des valeurs similaires ($P < 0,001$). Le Ca plasmatique diminuait de façon linéaire entre les traitements 60-130 à 100-100 et atteignait un plateau ensuite ($P < 0,001$).

2.2. Phase 3

À la fin de la phase 3, les poids des porcs étaient différents entre les traitements ($P < 0,001$); les porcs du traitement 60-130 ayant un poids inférieur aux autres, ceux du traitement 80-115 ayant un poids intermédiaire, et ceux des traitements 100-100 à C+ ayant un poids similaire. Le GMQ augmentait entre les traitements 60-130 à 100-100 et atteignait un plateau ensuite ($P < 0,001$). La CMJ était plus basse pour les porcs du traitement 60-130 et intermédiaire pour ceux du traitement C+ ($P < 0,001$). Elle atteignait ensuite un plateau pour ceux de 80-115 à 140-70. L'IC n'était pas différent et plus faible pour les traitements 140-70 et C+, comparativement aux autres traitements qui n'étaient pas différents ($P < 0,008$). Du début à la fin de la phase 3, le CMO est demeuré inférieur pour les animaux du traitement 60-130 et supérieur pour ceux du traitement C+ ($P < 0,001$). Il a aussi augmenté linéairement du traitement 60-130 au traitement 100-100 pour ensuite atteindre un plateau jusqu'au traitement 140-70. Le P et le Ca corporels, qui évoluaient de la même façon entre les traitements, augmentaient linéairement entre les porcs des traitements 60-130 à 100-100, pour ensuite atteindre un plateau jusqu'à ceux du traitement 140-70 ($P < 0,001$). Les porcs du traitement C+ accumulaient les quantités corporelles les plus élevées. Le P ingéré augmentait linéairement avec les apports en P ($P < 0,001$) pour les porcs des traitements 60-130 à 140-70, la valeur pour le traitement C+ étant similaire à celle pour le traitement 100-100. Le P retenu était moins élevé pour les porcs du traitement 60-130 et plus élevé pour ceux du traitement C+ ($P < 0,001$), avec une différence de 48% entre les deux. L'excrétion de P augmentait linéairement avec l'augmentation de l'apport en P ($P < 0,001$). Elle était donc moindre avec les porcs du traitement 60-130 et plus élevée pour ceux du traitement 140-70. Les porcs du traitement C+ étaient intermédiaires entre ceux du traitement 60-130 et ceux des traitements 80-115 et 100-100. Le Ca retenu était moins élevé pour les porcs du traitement 60-130, puis augmentait jusqu'au traitement 100-100 ($P < 0,001$). Les porcs du traitement 140-70 retenant autant le Ca que ceux du traitement 80-115, et ceux du traitement 120-85

Tableau 2 – Résultats des critères mesurés en fonction des apports phosphocalciques durant les phases 2 et 3¹

P, % besoin	60	80	100	120	140	C+; P2=120; P3=145	ETR	Probabilité²
Ca, % besoin	130	115	100	85	70	140		
Phase 2								
Poids vif initial, kg	50,8	51,5	52,7	52,2	52,5	52,8	1,7	0,815
Poids vif final, kg	82,2 ^b	85,4 ^{ab}	89,6 ^a	87,7 ^a	89,2 ^a	88,1 ^a	2,4	0,019
GMQ, kg/j	1,12 ^c	1,21 ^b	1,32 ^a	1,27 ^{ab}	1,31 ^a	1,26 ^{ab}	0,04	<0,001
CMJ, g/j	2722 ^d	3003 ^{bc}	3219 ^a	3190 ^{ab}	3077 ^{ab}	2842 ^{cd}	106	<0,001
IC	2,44 ^{ab}	2,49 ^a	2,45 ^{ab}	2,52 ^a	2,35 ^{bc}	2,25 ^c	0,06	<0,001
CMO initial, g	620 ^d	830 ^c	909 ^{bc}	949 ^b	1047 ^a	972 ^{ab}	42	<0,001
P initial, g	200 ^d	240 ^c	257 ^{bc}	263 ^b	282 ^a	271 ^{ab}	10	<0,001
Ca initial, g	227 ^d	303 ^c	331 ^{bc}	346 ^{bc}	381 ^a	354 ^{ab}	15	<0,001
Protéine corporelle initiale, kg	8,40	8,65	8,88	8,74	8,87	9,14	0,27	0,127
CMO final, g	890 ^d	1282 ^c	1415 ^{bc}	1393 ^{bc}	1425 ^b	1610 ^a	67	<0,001
P final, g	303 ^d	380 ^c	409 ^{bc}	403 ^{bc}	411 ^b	447 ^a	15	<0,001
Ca final, g	327 ^d	468 ^c	516 ^{bc}	508 ^{bc}	520 ^b	587 ^a	24	<0,001
Protéine corporelle finale, kg	13,5 ^c	14 ^{bc}	14,6 ^{ab}	14,4 ^{ab}	14,5 ^{ab}	14,9 ^a	0,4	0,018
P ingéré, g/j	9,87 ^d	12,7 ^c	14,4 ^b	15,7 ^{ab}	16,9 ^a	14,3 ^b	0,7	<0,001
P retenu, g/j	3,70 ^d	4,98 ^{bc}	5,45 ^b	5,03 ^{bc}	4,60 ^c	6,31 ^a	0,25	<0,001
P excrété, g/j	6,17 ^e	6,68 ^d	9,00 ^c	10,6 ^b	12,3 ^a	8,03 ^{cd}	0,58	<0,001
Ca ingéré, g/j	20,8 ^b	21,1 ^b	18,9 ^c	15,8 ^d	12,8 ^e	24,9 ^a	0,9	<0,001
Ca retenu, g/j	3,57 ^d	5,91 ^b	6,60 ^b	5,81 ^b	4,95 ^c	8,31 ^a	0,44	<0,001
Ca excrété, g/j	17,2 ^a	15,2 ^b	12,3 ^c	10,0 ^d	7,87 ^e	16,6 ^{ab}	0,7	<0,001
Ca plasma final, mg/l	107 ^a	101 ^b	94,1 ^{cd}	94,7 ^{cd}	93,8 ^d	97,2 ^{cd}	1,8	<0,001
P plasma final, mg/l	121 ^b	134 ^a	140 ^a	138 ^a	138 ^a	141 ^a	4	<0,001
Phase 3								
Poids vif final, kg	111 ^c	117 ^b	125 ^a	122 ^{ab}	124 ^a	122 ^{ab}	3	<0,001
GMQ, kg/j	1,02 ^c	1,13 ^b	1,25 ^a	1,22 ^a	1,25 ^a	1,21 ^{ab}	0,04	<0,001
CMJ, g/j	3272 ^c	3592 ^{ab}	3816 ^a	3819 ^a	3699 ^{ab}	3556 ^b	132	<0,001
IC	3,21 ^a	3,19 ^a	3,05 ^{ab}	3,12 ^{ab}	2,95 ^b	2,95 ^b	0,09	0,008
CMO final, g	1271 ^d	1895 ^c	2141 ^b	2051 ^{bc}	2022 ^{bc}	2504 ^a	102	<0,001
P final, g	412 ^d	539 ^c	592 ^b	571 ^{bc}	570 ^{bc}	659 ^a	21	<0,001
Ca final, g	466 ^d	691 ^c	780 ^b	748 ^{bc}	737 ^{bc}	911 ^a	37	<0,001
Protéine corporelle finale, kg	17,1 ^c	18,3 ^b	19,1 ^a	18,6 ^{ab}	18,9 ^{ab}	19,34 ^a	0,48	<0,001
P ingéré, g/j	9,81 ^e	13,1 ^d	15,1 ^c	16,9 ^b	18,6 ^a	14,7 ^c	0,7	<0,001
P retenu, g/j	3,92 ^d	5,69 ^c	6,52 ^b	5,99 ^{bc}	5,70 ^c	7,57 ^a	0,35	<0,001
P excrété, g/j	5,89 ^d	7,41 ^c	8,58 ^c	10,9 ^b	12,9 ^a	7,16 ^{cd}	0,73	<0,001
Ca ingéré, g/j	20,2 ^b	20,8 ^b	18,5 ^c	15,9 ^d	13,2 ^e	25,2 ^a	0,8	<0,001
Ca retenu, g/j	4,97 ^d	7,97 ^c	9,43 ^b	8,55 ^{bc}	7,77 ^c	11,6 ^a	0,6	<0,001
Ca excrété, g/j	15,3 ^a	12,8 ^b	9,08 ^c	7,35 ^c	5,47 ^d	13,7 ^{ab}	0,9	<0,001
Ca plasma final, mg/l	112 ^a	98,6 ^b	92,7 ^c	93,0 ^c	92,0 ^c	92,1 ^c	2,4	<0,001
P plasma final, mg/l	115 ^c	125 ^b	134 ^a	132 ^{ab}	129 ^{ab}	129 ^{ab}	4	<0,001

¹ C+, aliment «terrain»; P2 et P3, phases 2 et 3; GMQ, gain moyen quotidien; CMJ, consommation moyenne journalière; IC, indice de consommation; CMO, contenu minéral osseux corporel.

²ETR: écart-type résiduel du modèle. Comparaisons multiples; des lettres différentes sur une même ligne indiquent une différence significative ($P < 0,05$).

étaient intermédiaires entre ces deux derniers. Les porcs recevant le traitement C+ étaient ceux qui retenaient le plus de Ca. L'excrétion de Ca augmentait linéairement avec l'augmentation de l'apport en Ca, et conjointement à la diminution de l'apport en P ($P < 0,001$). Elle était donc la plus élevée avec les porcs du traitement 60-130, et la plus faible pour ceux du traitement 140-70. Les porcs du traitement C+ étaient intermédiaires entre ceux du traitement 60-130 et ceux du traitement 80-115. Le P plasmatique était encore une fois plus faible chez les animaux du traitement 60-130, suivis de ceux recevant le traitement 80-115, puis similaire entre les porcs des autres traitements ($P < 0,001$). Le Ca plasmatique diminuait du traitement 60-130 jusqu'au traitement 100-100 puis atteignait un plateau par la suite ($P < 0,001$).

3. DISCUSSION

La CMJ était plus faible pour les porcs consommant les niveaux les plus élevés de Ca (60-130 et C+) et ce, indépendamment des apports de P. Au niveau digestif, le Ca peut se lier aux molécules de P, notamment avec les phosphates, et former des complexes insolubles et donc non absorbables (Heaney et Nordin, 2002). Ainsi, plus l'apport de P est faible, plus l'effet négatif du Ca aura un impact sur les quantités absorbées et utilisables par l'animal tel que montré par Reinhart et Mahan (1986). La carence en P est reconnue pour induire une baisse d'appétit chez plusieurs espèces (Suttle, 2010). Cependant, le fait qu'on observe une diminution de la consommation chez les C+ également, montre un effet propre du Ca. Avec des porcs de même poids et recevant des apports de Ca et P similaires, Eeckhout *et al.* (1995) ont obtenu des effets négatifs d'apports faibles de P sur la consommation indépendamment des apports de Ca. Il est cependant à noter qu'ils n'ont pas observé d'effets des traitements sur la calcémie, ce qui était le cas ici. Chez le poulet, un appétit calcique, soit une consommation plus élevée d'une source de Ca lorsque les apports de Ca sont faibles, a été montré (Lobaugh *et al.*, 1981; Wilkinson *et al.*, 2013). Cette régulation de la consommation de Ca serait fonction de la calcémie. Ainsi, il est possible qu'en raison de l'augmentation de calcémie induite par les aliments 60-130 et 80-115, les porcs aient réduit leur consommation. Cependant, ceci n'a pas été suffisant pour empêcher la calcémie d'augmenter. Les porcs du traitement C+ consommaient moins, mais n'avaient pas d'augmentation de calcémie. Ceci pourrait s'expliquer par un dépôt accru de Ca dans l'os, soit par exemple 8,3 g/j comparativement à 6,6 g/j de Ca retenu pour les animaux du traitement 100-100 de la P2, compte tenu d'un apport de P balancé (Tableau 2). Les modifications de calcémie confirment également que la régulation via la calcitonine, une hypocalcémiant, n'est pas efficace chez le porc (Pointillart *et al.*, 1987).

Les effets de la CMJ se traduisaient en termes de GMQ seulement lorsque l'apport de P était faible conjointement à un apport élevé de Ca, les porcs recevant le traitement C+ présentant un GMQ élevé malgré une CMJ diminuée. Cela indique que c'était bien le P l'élément le plus limitant et responsable de la diminution de performances de croissance. Ceci est bien illustré par le P plasmatique qui était réduit chez les porcs des traitements 60-130 et 80-115. Il est également important de noter que les résultats de composition corporelle par DXA montrent une diminution de la protéine corporelle chez les porcs du traitement 60-130. Ceci est en accord avec le fait qu'environ 30% du P corporel se retrouve dans les tissus mous, principalement les muscles (Nielsen, 1973).

Étant donné que le GMQ n'était pas diminué chez les porcs du traitement C+ malgré une diminution de la consommation, l'IC était le plus faible chez les porcs consommant ce traitement.

Les effets de P sur les performances de croissance sont variables, certains auteurs ayant observé des effets (Cromwell *et al.*, 1993; Ekpe *et al.*, 2002; Létourneau-Montminy *et al.*, 2012) et d'autres non (Hastad *et al.*, 2004; Pomar *et al.*, 2006) pour des niveaux de P similaires. Ceci pourrait s'expliquer par les niveaux de Ca apportés. En effet, on observe un effet plus marqué de la carence P lorsque les apports de P varient alors que celui de Ca est fixe (Cromwell *et al.*, 1993; Ekpe *et al.*, 2002) en raison de l'interaction digestive discutée plus tôt. Les porcs recevant les aliments 60-130 et 80-115 présentaient des CMO plus faibles que les autres, et ce, malgré des apports de Ca qui dépassaient les besoins. Ceci confirme que le déficit en P limitait le dépôt osseux du Ca et l'interdépendance de ses deux minéraux pour la minéralisation osseuse (Crenshaw, 2001). L'important besoin en P et Ca, et ce, dans un bon équilibre est également bien illustré dans les deux phases par le traitement C+ qui maximisait la minéralisation osseuse.

L'excrétion de P augmentait de façon linéaire des traitements 60-130 à 140-70, alors que le dépôt corporel plafonnait dès 100-100. Il est bien connu que les apports faibles de Ca ne permettent pas de déposer le P au niveau osseux; le P non déposé est perdu dans les urines (Pointillart et Fontaine, 1983; Létourneau-Montminy *et al.*, 2010). Ainsi, la diminution des apports de Ca conjointement à l'augmentation des apports de P explique une excrétion élevée de P chez les porcs 120-85 et 140-70.

D'un point de vue pratique, on note que les ratios Ca:P digestible étaient similaires dans les aliments 100-100 et C+, mais leurs résultats de performances bien distincts. En effet, les porcs recevant le traitement C+ présentaient un IC plus faible (-8% en P2), compte tenu d'une CMJ diminuée, ainsi qu'une minéralisation plus élevée (+14% en P2). Ainsi, l'utilisation d'un ratio Ca:P digestible en formulation n'est valable que pour un niveau de P digestible donné. Ce résultat montre de plus que les recommandations actuelles (Jondreville et Dourmad, 2005) ne maximisent probablement pas la minéralisation osseuse.

Le traitement C+ est utilisé sur le terrain pour l'alimentation des truies de remplacement. Bien que les niveaux de P et Ca soient très élevés tout au long de la croissance, ils permettent une meilleure minéralisation osseuse et une excrétion de P comparable au traitement 100-100 compte tenu d'une meilleure rétention. Néanmoins, l'effet négatif des hauts niveaux de Ca sur la consommation est préoccupant. En effet, advenant une sous-estimation d'un autre nutriment, le GMQ pourrait être affecté. De plus, il n'est pas certain que de tels niveaux soient nécessaires chez le porc charcutier.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de la présente étude confirment la relation complexe qui existe entre le P et le Ca alimentaires. Ainsi, on observe que certains paramètres de croissance, tels que la CMJ, peuvent être affectés indépendamment par l'un ou l'autre de ces minéraux majeurs, alors que pour d'autres paramètres, tels que le CMO, les effets sont interdépendants. De plus, certains niveaux vont maximiser les performances de croissance aux dépens de la minéralisation osseuse, exigeant un compromis. Quoi qu'il en soit, le maintien de l'équilibre dans les apports est important.

Les résultats montrent également que le ratio Ca:P digestible doit être réfléchi en considérant le niveau de P.

La modulation de la consommation via la calcémie pose question et nécessiterait des études supplémentaires mais pourrait toutefois expliquer en partie les baisses de

performances observées avec des hauts niveaux de Ca. Néanmoins, ces résultats mettent en phase la nécessité de développer une approche multicritères permettant de moduler les apports phosphocalciques en fonction de l'objectif de production.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Crenshaw T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. In: A.J. Lewis & L.L. Southern (Eds), Swine nutrition second edition, 187-212. CRC Press, Florida, USA.
- Cromwell G.L., Stahly T.S., Coffey R.D., Monegue H.J., Randolph J.H., 1993. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.*, 71, 1831-1840.
- Eeckhout W., de Paepe M., Warnants N., Bekaert H., 1995. An estimation of the minimal P requirements for growing-finishing pigs, as influenced by the Ca level of the diet. *Anim Feed Sci. Technol.*, 52, 29-40.
- Ekpe E.D., Zijlstra R.T., Patience J.F., 2002. Digestible phosphorus requirement of grower pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 541-549.
- Hastad C.W., Dritz S.S., Tokach M.D., Goodband R.D., Nelssen J.L., DeRouchey J.M., Boyd R.D., Johnston M.E., 2004. Phosphorus requirements of growing-finishing pigs reared in a commercial environment. *J. Anim. Sci.*, 82, 2945-2952.
- Heaney R.P., Nordin B.E.C., 2002. Calcium effects on phosphorus absorption: Implications for the prevention and co-therapy of osteoporosis. *J. Am. Coll. Nutr.*, 21, 239-244.
- Jondreville C., Dourmad J.Y., 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. *INRA Prod. Anim.*, 18, 183-192.
- Langlois J., Pomar C., Létourneau-Montminy M.P., 2016. Estimation des besoins de phosphore et calcium chez les porcs de 25 à 50 kilogrammes de poids vif. *Journées Rech. Porcine*, 48, 163-164.
- Létourneau-Montminy M.P., Narcy A., Magnin M., Sauvant D., Bernier J.F., Pomar C., Jondreville C., 2010. Effect of reduced dietary calcium concentration and phytase supplementation on calcium and phosphorus utilization in weanling pigs with modified mineral status. *J. Anim. Sci.*, 88, 1706-1717.
- Létourneau-Montminy M.P., Jondreville C., Sauvant D., Narcy A., 2012. Meta-analysis of phosphorus utilization by growing pigs: effect of dietary phosphorus, calcium and exogenous phytase. *Animal*, 6, 1590-1600.
- Létourneau-Montminy M.P., Lovatto P.A., Pomar C., 2014. Apparent total tract digestibility of dietary calcium and phosphorus and their efficiency in bone mineral retention are affected by body mineral status in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 92, 3914-3924.
- Lobaugh B., Joshua I.G., Mueller W.J., 1981. Regulation of calcium appetite in broiler chickens. *J Nutr.*, 111, 298-306.
- Nielsen A.J., 1973 Anatomical and Chemical Composition of Danish Landrace Pigs Slaughtered at 90 Kilograms Live Weight in Relation to Litter, Sex and Feed Composition. *J. Anim. Sci.*, 36, 476-483.
- NRC, 2012. Nutrient requirements of swine 11th edition. National Academy Press, Washington, DC, 400 p.
- Pointillart A., Fontaine N., 1983. Effet de deux régimes hypocalcémisants sur la rétention et l'absorption de phosphore et du calcium chez le porc en croissance. *Journées Rech. Porcine*, 15, 375-384.
- Pointillart A., Fourdin A., Delmas A., 1987. Conséquences néfastes de l'excès de calcium chez des porcs non supplémentés en phosphore minéral. *Journées Rech. Porcine*, 19, 281-288.
- 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., Jondreville C., Dourmad J.-Y., Bernier J. 2006. Influence du niveau de phosphore des aliments sur les performances zootechniques et la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer et zinc chez le porc de 20 à 100 kg de poids vif. *Journées Rech. Porcine*, 38, 209-216.
- Pomar C., Hauschild L., Zhang G.H., Pomar J., Lovatto P.A., 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pigs operations. *Braz. J. Anim. Sci.*, 38, 226-237.
- 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.
- Sauvant D., Perez M., Tran G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. INRA, Association Française de Zootechnie, Paris, 304 p.
- Suttle N.F., 2010. The mineral nutrition of livestock. 4th ed. CABI Publishing, Wallingford, UK, 587 p.
- Wilkinson S.J., Selle P.H., Bedford M.R., Cowieson A.J., 2013. Separate feeding of calcium improves performance and ileal nutrient digestibility in broiler chicks. *Anim. Prod. Sci.*, 54, 172-178.