

# Effet des apports calciques sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la minéralisation osseuse en interaction avec l'utilisation d'une phytase exogène chez le porc charcutier

Arnaud SAMSON (1), Maxime QUENTIN (2), Eric SCHETELAT (2), Claire LAUNAY (1)

(1) NEOVIA, Site de Chierry, Rue de l'Eglise, 02402 Château-Thierry Cedex, France

(2) INZO, 1 rue de la Marébaudière, 35766 Montgermont, France

asamson@neovia-group.com

Avec la collaboration technique de Fanny VIARD-PEERS (1) et Christian MINETTE (1).

## Effet des apports calciques sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la minéralisation osseuse en interaction avec l'utilisation d'une phytase exogène chez le porc charcutier

Cette étude a été menée afin d'évaluer l'effet de l'utilisation de phytase exogène sur la réponse du porc charcutier aux apports calciques. Pour cela, 60 femelles âgées de 70 jours d'âge, rationnées et logées individuellement ont été réparties dans l'un des six groupes expérimentaux, comparés dans un dispositif en factoriel 2x3 : deux niveaux d'incorporation de phytase (0 et 1500 FYT/kg) et trois teneurs en calcium digestible (Cadig : 0,21, 0,31 et 0,41%). Les six régimes expérimentaux présentaient une teneur en phosphore digestible (Pdig) de 0,21%, considérée comme sub-limitante. L'incorporation de phytase n'a eu aucun effet sur les performances de croissance des porcs. Indépendamment de l'incorporation de l'enzyme, la distribution du régime contenant 0,41% de Cadig tendait à dégrader la croissance des porcs ( $P$ -value = 0,07) et induisait une augmentation significative de l'indice de consommation ( $P$ -value = 0,01) sur l'intégralité de la période d'engraissement. Les critères caractérisant la minéralisation des phalanges (teneur en cendres, en calcium et en phosphore) n'étaient pas significativement affectés par les traitements alimentaires. Pour les aliments contenant de la phytase, la digestibilité fécale apparente du calcium (mesurée à l'aide d'un marqueur indigestible) était significativement dégradée lorsque le régime le plus riche en Cadig était utilisé ( $P$ -value < 0,001). En revanche, pour les aliments non supplémentés en phytase, la modification des apports calciques n'impactait pas significativement la digestibilité des minéraux. Par ailleurs, aucun effet de nos régimes sur la digestibilité fécale apparente de la matière grasse n'était relevé. Ces données confirment qu'un excès de Cadig est susceptible d'induire une dégradation des performances chez le porc charcutier. L'utilisation de la phytase exogène ne semble pas modifier la réponse zootechnique des porcs charcutiers à la modification des apports calciques.

## Effect of the phytase utilization and of the digestible calcium level on growth performance, bones mineralization and nutrient digestibility in fattening pig

This study was conducted to determine the effect of the digestible calcium level according the incorporation of microbial phytase on performance, bones mineralization and nutrients digestibility in fattening pig. Sixty females aged of 70 days, fed-restricted and individually housed were allocated among 6 experimental groups compared in a 2x3 factorial design: 2 incorporation rate for the microbial phytase (0 or 1500 FYT/kg) and 3 digestible calcium levels (digCa: 0.21, 0.31 and 0.41%). The 6 experimental diets presented the same digestible phosphorus level (0.21%) which was considered as sublimitant. The phytase utilization didn't have any impact on growth performance recorded all through the fattening period. Pigs fed with the highest digCa level tended to grow slower than animals who received the intermediate digCa level during the whole experimental period ( $P$ -value = 0.07). Feed efficiency measured on the overall fattening period was significantly degraded when pigs received the diet presenting the highest digCa level in comparison with the intermediate level ( $P$ -value = 0.01). Bones mineralization (ash, calcium and phosphorus concentrations) was not significantly affected by the experimental treatments. When diets were supplemented with phytase, the apparent total tract digestibility (TTAD determined with an indigestible marker) of calcium was significantly reduced with the highest dietary calcium level ( $P$ -value < 0.001). When phytase was not used, the TTAD of calcium was not significantly affected by the dietary calcium level. The TTAD of crude fat was not significantly impacted by both factors studied in this trial. Those data confirmed that an excess in calcium is associated with a reduction of growth performance in fattening pigs. Utilization of microbial phytase do not affect the pig response to the digestible calcium level.

## INTRODUCTION

Le calcium (Ca) est un élément essentiel pour la croissance du porc charcutier et son interdépendance avec le phosphore (P) implique qu'il est primordial de prendre en compte l'équilibre entre ces deux minéraux dans la formulation des aliments. Des apports en Ca trop élevés semblent être associés à une baisse des performances de croissance et de la minéralisation osseuse chez le porc (Qian *et al.*, 1996 ; Fan et Archblod., 2012 ; Samson *et al.*, 2013). Dans un contexte où le P est excédentaire, les effets négatifs associés à des apports excessifs en Ca semblent moins marqués (Hall *et al.*, 1991). Lorsque le P est sub-limitant, l'effet négatif des fortes teneurs en Ca chez le porc semble à la fois s'expliquer par une moindre efficacité d'absorption du P (Stein *et al.*, 2011) ainsi que par une diminution de l'absorption de certains nutriments comme

le phosphore phytique (Maenz *et al.*, 1999) ou encore de certains lipides (Guéguen et Pointillart, 2008).

A partir de ces éléments, il est donc possible de s'interroger sur l'effet de l'utilisation de phytase sur la réponse des porcs à la modification des apports calciques. Alors que certaines données suggèrent que l'impact négatif de teneurs élevées en Ca proviendrait de l'insolubilisation des molécules de phytate, Narcy *et al.* (2012) démontrent que l'utilisation d'un ratio Ca:P élevé affecte négativement les performances des porcelets, et ce, indépendamment de la présence de phytase.

Afin de mieux connaître la nature de l'interaction entre Ca digestible (Cadig) et performances des porcs, notre travail a consisté à évaluer l'effet des apports calciques sur les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la minéralisation osseuse en interaction avec l'utilisation d'une phytase exogène chez le porc charcutier.

**Tableau 1** – Description des aliments expérimentaux distribués sur l'intégralité de la période d'engraissement

Apport calcique	Bas	Moyen	Haut	Bas	Moyen	Haut
<b>Phytase exogène</b>	<b>1500 FYT<sup>1</sup></b>			<b>0 FYT</b>		
<b>Ingrédients, % matière brute</b>						
Carbonate de calcium	0,29	1,02	1,72	0,26	0,96	1,67
Phosphate monocalcique	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,52
Sépiolite	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Phytase microbienne <sup>1</sup>	0,015	0,015	0,015	0,00	0,00	0,00
<b>Caractéristiques nutritionnelles</b>						
Calcium total (Ca), %	0,42	0,71	0,99	0,50	0,78	1,07
Calcium digestible (Cadig), %	0,21	0,31	0,41	0,21	0,31	0,41
Phosphore total (P), %	0,44	0,43	0,42	0,54	0,53	0,52
Phosphore digestible (Pdig), %	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
Ca:P	0,95	1,65	2,36	0,93	1,47	2,06
Cadig:Pdig	1,00	1,48	1,95	1,00	1,48	1,95
Matière grasse, %	2,22	2,19	2,16	2,20	2,17	2,14
Lysine digestible, %	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Protéine totale, %	15,0	15,0	15,0	15,0	15,1	15,0

1. Ronozyme NP-1500® (DSM), produite par *Aspergillus Oryzae* (10 000 FYT/g, Basel, Suisse).

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Animaux et logement

L'essai s'est déroulé au Centre de Recherches Zootechniques Appliquées (Montfaucon, France). Soixante femelles, issues de deux bandes successives de truies de l'élevage, étaient mises en lots à 70 jours d'âge sur la base de leur poids vif afin de constituer 10 blocs de six cases individuelles. Les animaux ont été étudiés dans deux salles d'engraissement identiques, équipées chacune de cases de 1,6 m<sup>2</sup> et équipées d'un nourrisseur et d'un abreuvoir. Ces cases reposaient sur un caillebotis béton intégral, au-dessus d'une pré-fosse vidangée une fois par semaine. Les porcs issus d'une même bande ont été logés dans une même salle.

Une consigne de température fixée à 22°C a été appliquée pendant toute la durée de l'essai soit 91 jours. La fin de l'essai correspondait à l'abattage des animaux, soit en moyenne à 113,3 kg de poids vif.

### 1.2. Alimentation

#### 1.2.1. Description des régimes expérimentaux

Le schéma expérimental a été conduit sur l'intégralité de la période d'engraissement et consistait à comparer six traitements expérimentaux (Tableau 1) dans un dispositif en factoriel 2 x 3 : utilisation ou non de phytase exogène (Phyt : 0 ou incorporée à la dose recommandée par le fabricant, soit 1500 FYT/kg) et trois teneurs en Ca digestible (Cadig : Bas, 0,21% ; Moyen, 0,31% ; Haut, 0,41%). Les aliments expérimentaux à base de blé (45%), maïs (27%) et de tourteau de colza (11,5%) ont été formulés pour couvrir les besoins énergétiques et protéiques des porcs charcutiers. Les six régimes ne contenaient pas d'huile végétale ou animale.

La teneur en P digestible (Pdig) de ces régimes était identique, à savoir 0,21%, niveau sublimitant de P. Les données permettant de décrire la digestibilité fécale apparente du P et du Ca des différentes matières premières étaient issues du croisement de résultats internes et provenant de la littérature.

Pour les aliments contenant de la phytase, la valorisation de l'enzyme en termes de quantités équivalentes en Pdig et Cadig apportées était issue de travaux internes. Pour les aliments ne contenant pas d'enzyme ajoutée, le phosphate monocalcique constituait la source principale de P. Quel que soit le régime, l'augmentation des apports calciques était obtenue par l'incorporation de carbonate de calcium dont la granulométrie était de 0-100 µm. Les ratios Cadig:Pdig étaient donc de 1,00, 1,48 et 1,95 respectivement pour les régimes Bas, Moyen et Haut. Pour le Ca comme pour le P, la digestibilité considérée consistait en la digestibilité fécale apparente.

Pour chacun des aliments, 1% de sépiolite a été incorporé afin d'augmenter la teneur en cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique (Ins HCl) qui a été utilisé comme marqueur indigestible pour la détermination des digestibilités fécales apparentes (Ly *et al.*, 2002).

### 1.2.2. Fabrication des aliments

Tous les aliments ont été fabriqués à l'atelier expérimental de la station et étaient présentés en granulés de 5 mm de diamètre. D'après les analyses réalisées sur les aliments, les teneurs en protéine, Ca, P et MG sont conformes aux valeurs attendues.

### 1.2.3. Distribution des aliments

Les porcs ont été nourris selon un même plan de rationnement : 1,35 kg en moyenne le premier jour en engraissement, une progression de 35 g par jour jusqu'à un plafond de 2,60 kg qui était maintenu jusqu'à la veille du départ à l'abattoir. L'alimentation des animaux était manuelle, les refus éventuels étant pesés de façon hebdomadaire.

## 1.3. Mesures et analyses statistiques

Les porcs ont été pesés individuellement quatre fois entre la mise en lots et l'abattage. Les animaux ont été abattus à l'abattoir de Reithel (Ardennes), sachant qu'un seul départ abattoir avait lieu pour chacune des bandes. Les porcs étant tatoués d'un numéro individuel sur le flanc, les données individuelles de classement de carcasses ont été collectées. La phalange externe du pied antérieur gauche a été prélevée à l'abattoir pour évaluer la minéralisation osseuse. Pour cela, la teneur en matière sèche ainsi que les pourcentages de cendres, Ca et P des phalanges ont été déterminés (Samson *et al.*, 2013).

L'insoluble chlorhydrique était choisi comme marqueur interne afin de déterminer la digestibilité fécale apparente du Ca, P et MG par une récolte partielle des fèces à 41 jours d'engraissement soit à 111 jours d'âge (Ly *et al.*, 2002). L'unité expérimentale était le porc. Les données (performances, digestibilité et minéralisation osseuse) ont été analysées selon un dispositif complet randomisé en factoriel (modèle linéaire ; logiciel R, v3.1.2). Le modèle incluait la teneur en Cadig (Bas, Moyen et Haut), l'utilisation de la phytase (0 et 1500 FYT/kg) ainsi que l'interaction comme facteurs principaux. Les effets du bloc de cases et de la bande étaient également considérés dans le modèle linéaire comme facteurs aléatoires. Les variables exprimées en pourcentage et ne suivant pas une loi normale (caractéristiques des phalanges et digestibilités des nutriments) ont subi une transformation « arcsinus » au préalable. Pour ces variables transformées, les ETR présentés dans les tableaux 3 et 4 sont exprimés dans l'unité initiale.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances de croissance

A la mise en lots (j0), les porcs pesaient en moyenne 34,6 kg, sans que ce poids ne diffère significativement entre les groupes expérimentaux (Tableau 2). Les porcs ont été abattus après 91 jours d'engraissement à 113,3 kg de poids vif en moyenne.

Pour l'intégralité des performances enregistrées, aucune interaction entre la teneur en Cadig et l'utilisation de phytase n'était significative. De plus, l'incorporation de phytase n'impactait pas significativement les critères zootechniques ou le classement des carcasses. Indépendamment de l'utilisation de l'enzyme, les porcs du groupe « Haut » tendaient à réaliser des gains moyens quotidiens (GMQ) sur 91 jours inférieurs à ceux relevés pour les animaux du groupe « Moyen » (respectivement 857 vs 881 g/j, *P-value* = 0,07). Pour le groupe « Bas », les GMQ réalisés par les porcs étaient intermédiaires, à savoir de 875 g/j. A l'abattage, les animaux ayant consommé le régime « Haut » tendaient à être plus légers que les animaux du groupe « Moyen » (- 2,3 kg, *P-value* = 0,07). Indépendamment de l'utilisation de phytase, la modification des apports en Cadig affectait significativement les indices de consommation (IC) calculés sur la période j0-abattage (*P-value* = 0,01). Sur cette même période, les porcs du groupe « Moyen » présentaient des IC significativement inférieurs à ceux enregistrés pour les animaux alimentés avec le régime « Haut » (respectivement 2,60 vs 2,68, *P-value* = 0,01). Les IC relevés pour les porcs du groupe « Bas » étaient quant à eux intermédiaires, à savoir de 2,62 en moyenne.

Les niveaux de consommation ainsi que la teneur en muscle des pièces mesurée à l'abattoir (TMP) étaient indépendantes des teneurs en Cadig des aliments. En moyenne, les TMP étaient de 63,0%.

### 2.2. Caractéristiques des phalanges

Comme pour les performances, aucune interaction significative entre le Cadig et l'utilisation de la phytase n'a été obtenue pour la minéralisation des phalanges.

Comme nous le montre le tableau 3, la modification des apports calciques n'affectait pas significativement les caractéristiques des phalanges. De même, aucun effet significatif de l'incorporation de la phytase sur la minéralisation des phalanges n'a été mis en évidence.

### 2.3. Digestibilités fécales apparentes du calcium, phosphore et de la matière grasse

Concernant la digestibilité fécale apparente du Ca, l'interaction entre les apports en Cadig et l'utilisation de phytase ressortait significative. Lorsque la phytase était incorporée, la digestibilité du Ca était significativement réduite lorsque l'aliment « Haut » était distribué comparativement à la situation où les régimes « Bas » et « Moyen » étaient utilisés (respectivement 42,0 vs 61,4 vs 53,4%, *P-value* < 0,05). En revanche, pour les aliments sans phytase, nous ne relevons aucun effet significatif des apports en Ca sur la digestibilité fécale apparente du Ca. Ainsi, l'effet de l'incorporation de phytase sur les digestibilités fécales du Ca dépendait des apports en Ca.

Indépendamment des apports calciques, l'incorporation de phytase dans l'aliment induisait une augmentation significative de la digestibilité fécale apparente du P (+ 3,6 points, *P-value* = 0,03). Nos données montraient par ailleurs que la modification des

apports en Cadig n'affectait pas significativement la digestibilité fécale apparente du P. Enfin, la digestibilité fécale apparente de la MG n'était pas impactée à la modification des apports en Cadig et à l'incorporation de phytase.

**Tableau 2** – Performances de croissance obtenues pendant l'intégralité de la période d'engraissement en fonction des teneurs en calcium digestible et de l'incorporation de phytase dans l'aliment

Apport calcique	Bas	Moyen	Haut	Bas	Moyen	Haut	Statistiques <sup>1</sup>			
	1500 FYT			0 FYT			ETR	Ca	Phyt	CaxPhyt
<b>Phytase exogène</b>										
<b>Nombre de porc par traitement</b>	10	10	10	10	10	10				
<b>Poids vif initial, kg</b>	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	34,6	1,2	ns	ns	ns
<b>Poids vif final, kg</b>	113,7	113,5	112,0	113,6	115,0	112,0	3,4	0,07	ns	ns
<b>Vitesse de croissance, g/j</b>	876	873	857	874	890	858	33	0,07	ns	ns
<b>Consommation, g/j</b>	2277	2265	2290	2310	2318	2301	55	ns	ns	ns
<b>Indice de consommation, g/g</b>	2,60	2,60	2,68	2,65	2,61	2,68	0,08	0,01	ns	ns
<b>Taux de muscle des pièces, %</b>	63,2	63,0	63,0	63,0	62,8	62,8	1,3	ns	ns	ns

<sup>1</sup>ETR= écart-type résiduel ; P-value des effets Ca et Phyt ainsi que de l'interaction entre ces deux facteurs ; ns = non significatif (P-value > 0,10).

**Tableau 3** – Caractéristiques des phalanges en fonction des teneurs en calcium digestible et de l'incorporation de phytase

Apport calcique	Bas	Moyen	Haut	Bas	Moyen	Haut	Statistiques <sup>1</sup>			
	1500 FYT			0 FYT			ETR	Ca	Phyt	CaxPhyt
<b>Phytase exogène</b>										
<b>Poids phalange, g</b>	14,3	14,7	14,9	14,0	15,1	15,2	1,1	ns	ns	ns
<b>Humidité, %</b>	33,6	34,2	33,1	33,6	33,8	33,4	1,2	ns	ns	ns
<b>Cendres, % MS</b>	39,0	39,4	39,9	38,6	39,9	38,2	1,3	ns	ns	ns
<b>Calcium, % MS</b>	14,3	14,8	14,9	14,5	14,9	14,4	0,4	ns	ns	ns
<b>Phosphore, % MS</b>	6,9	6,9	7,0	6,7	7,1	6,7	0,2	ns	ns	ns

<sup>1</sup>ETR= écart-type résiduel ; probabilités des effets Ca et Phyt ainsi que de l'interaction entre ces deux facteurs ; ns = non significatif (P-value > 0,10).

### 3. DISCUSSION

Indépendamment de l'incorporation de la phytase, la distribution de l'aliment le plus riche en calcium digestible (« Haut ») a induit une dégradation des performances zootechniques des porcs charcutiers, ce qui est en accord avec les résultats de Samson *et al.* (2013) et Fan et Archbold (2012). Dans notre étude, il est primordial de rappeler que la teneur en Pdig était considérée comme sub-limitante, ce qui pouvait induire une plus forte sensibilité des porcs à un excès de Cadig (Stein, 2016). A l'inverse, les données de Reinhart et Mahan (1986) rapportent que l'effet négatif du Ca sur les performances des porcs charcutiers ne dépend pas des apports en P, suggérant ainsi, qu'indépendamment de l'équilibre entre le Ca et le P, les apports calciques puissent affecter les performances des animaux. Bien que cette thématique n'ait pas été investiguée, la question de l'interaction entre le niveau d'alimentation (ad libitum vs. rationnement) et la réponse des porcs aux apports calciques se pose et pourrait expliquer partiellement la variabilité des résultats présentés dans la littérature.

Le P étant un nutriment coûteux et impliqué dans le phénomène d'eutrophisation des eaux, les apports en P sont rarement excessifs en nutrition porcine.

En revanche, le Ca alimentaire est abondant et bon marché pour l'alimentation des porcs, ce qui implique que les situations où le ratio Ca:P est élevé sont fréquentes en formulation. Nos résultats montrent donc l'intérêt de limiter les situations où le calcium est excédentaire ou du moins le recours à des aliments déséquilibrés au regard du ratio Ca:P.

Conformément aux résultats de Narcy *et al.* (2012) obtenus sur porcelet, la modification des apports en Ca (ratio Ca:P variant entre 1,0 et 2,0) n'a pas eu de conséquence néfaste sur la minéralisation osseuse. Samson *et al.* (2013) rapportaient même une amélioration linéaire de la minéralisation osseuse lorsque les apports en calcium augmentaient alors que, parallèlement, les performances de croissance étaient dégradées. Cela suggère donc que les besoins en minéraux pour la minéralisation osseuse sont supérieurs à ceux permettant de couvrir les besoins de production chez le porc charcutier (Gonzalo *et al.*, 2014 ; NRC, 2012). Reinhart et Mahan (1986) rapportaient néanmoins des effets négatifs à un excès de Ca sur la minéralisation osseuse chez des porcs en croissance mais pas en finition. Ils ont montré que l'effet négatif d'un excès de Ca sur la minéralisation osseuse était plus marqué dans un contexte où les besoins en phosphore étaient couverts. Conformément à ce qui a été avancé par Crenshaw (2001), le ratio Ca:P dans les phalanges était de 2,1 et ce quel que soit le traitement alimentaire reçu.

**Tableau 4** – Coefficient d'utilisation digestive (CUD) fécale apparente du calcium (Ca), du phosphore (P) et de la matière grasse (MG)

Apport calcique	Bas	Moyen	Haut	Bas	Moyen	Haut	Statistiques <sup>1</sup>			
	1500 FYT			0 FYT			ETR	Ca	Phyt	CaxPhyt
Phytase exogène	1500 FYT			0 FYT			ETR	Ca	Phyt	CaxPhyt
CUD Ca, %	61,4 <sup>a</sup>	53,4 <sup>a</sup>	42,0 <sup>b</sup>	55,7 <sup>a</sup>	51,0 <sup>ab</sup>	52,7 <sup>a</sup>	6,2	<0,001	ns	0,004
CUD P, %	58,4	59,3	52,6	52,5	52,4	54,7	5,1	ns	0,03	ns
CUD MG, %	73,5	79,8	76,6	77,1	77,9	81,0	5,7	ns	ns	ns

<sup>1</sup>ETR= écart-type résiduel ; valeurs de P-value des effets Ca et Phyt ainsi que de l'interaction entre ces deux facteurs ; ns = non significatif (P-value > 0,10) ; les lettres en minuscules sur une ligne indiquent que les moyennes ajustées sont différentes au seuil de 5%.

Nos données montrent qu'indépendamment de l'utilisation de la phytase, les performances de croissance sont dégradées lorsque l'aliment contenant 0,41% de Cadig était utilisé. Ces données soulèvent ainsi l'importance de ne pas dépasser un ratio Cadig:Pdige de 1,5 et ce afin d'optimiser les performances de croissance du porc charcutier. Néanmoins, l'interaction CaxPhyt relevée sur la digestibilité du calcium suggère que le mode d'action expliquant l'effet négatif d'un excès de Cadig pourrait dépendre de l'utilisation ou non de la phytase.

En effet, lorsque la phytase est incorporée dans les aliments, la dégradation des performances relevée avec la teneur la plus élevée en Cadig pourrait s'expliquer par une diminution de la digestibilité fécale apparente du Ca. Bien que non retrouvée significativement dans cette étude, des apports élevés en Ca semblent également être associés à une diminution de la digestibilité du P (Narcy *et al.*, 2012 ; Lantzsich *et al.*, 1995). Dans un contexte où la phytase est utilisée, cet effet négatif du Ca sur les digestibilités fécales du Ca et P serait lié à la formation de complexes insolubles entre le calcium alimentaire et les phytates (Cromwell, 1996) et donc à une moindre efficacité digestive des phytases. Dans cette étude, il est en effet possible de relever, que lorsque les apports en calcium sont les plus élevés, la digestibilité fécale apparente du Ca est inférieure quand l'aliment est supplémenté en phytase.

A l'inverse, lorsque l'aliment ne contient pas de phytase, la modification des apports en calcium n'a pas d'impact sur les digestibilités fécales apparentes du Ca et du P. Ces résultats ne corroborent donc pas ceux de Narcy *et al.* (2012) montrant que l'augmentation des apports en Ca (ratio Ca:P variant entre 1,0 et 2,0) détériorait la digestibilité fécale apparente du Ca et du P indépendamment de l'utilisation de phytase chez le porcelet sevré. Il faut néanmoins préciser que le dispositif expérimental considéré dans l'étude de Narcy *et al.* (2012) différait de celui mis en œuvre présentement. En effet, les régimes contenant de la phytase présentaient des teneurs en Ca total identiques et donc des teneurs en calcium digestible différentes. A l'inverse, dans notre étude, les teneurs en Cadig étaient comparables pour les aliments supplémentés ou non en phytase. Dans notre étude et lorsque l'aliment ne contenait pas de phytase exogène, l'effet négatif d'un excès de Ca sur les performances des porcs s'expliquerait davantage par une modification de l'utilisation post-absorption des minéraux. Comme le souligne Cromwell (1996), la dose de Ca peut affecter l'utilisation métabolique des minéraux (Ca et P) par divers mécanismes visant tous à contribuer à l'homéostasie phosphocalcique : baisse de la digestibilité par une insolubilisation des minéraux dans le tractus digestif mais également des phénomènes post-absorption comme la variation de l'excrétion urinaire des minéraux ou encore la modulation de la réabsorption tubulaire du Ca et du P. Nos données ne nous permettent pas d'évaluer l'effet des régimes

sur les deux derniers mécanismes évoqués. Dans un contexte où des porcs en croissance recevaient des aliments sans phytase, la littérature rapporte que l'augmentation des apports en Ca conduit logiquement à une augmentation de l'excrétion journalière de Ca mais qu'elle reste sans effet sur l'excrétion du P pour des teneurs en Ca total comprises entre 0,46 et 1,04% (Stein *et al.*, 2011). Parallèlement, les données de Narcy *et al.* (2012) suggèrent que l'effet des apports calciques sur l'excrétion urinaire du P dépend de la présence de phytases. Cette observation confirme donc que les mécanismes mis en place dans un contexte où le calcium est excédentaire dépendent de l'utilisation de phytases ou autrement dit de l'origine du P alimentaire.

Dans cette étude, la disponibilité des minéraux (Ca et P) était évaluée à partir de la digestibilité fécale apparente de ces derniers. Ce système ne permet pas de prendre en considération l'origine des minéraux dans les fèces (Peo, 1991) et son additivité est remise en question (Gonzalez-Vega et Stein, 2014). La prise en compte des pertes endogènes basales ou spécifiques permettrait certainement de mieux décrire la digestibilité des minéraux et faciliterait ainsi la compréhension des mécanismes par lesquels le calcium affecte les performances du porc. Néanmoins, les données de Gonzalez-Vega *et al.* (2013) montrent que l'utilisation de phytase n'affecte pas les pertes endogènes en Ca. Cela suggère donc que le biais induit par l'utilisation de digestibilités apparentes dans notre étude serait comparable pour les aliments avec et sans phytase exogène et ne pourrait donc expliquer l'interaction relevées entre le Ca et la phytase sur les digestibilités enregistrées dans cette étude. De plus, la cohérence entre les valeurs de Cadig et Pdige des formules et celles recalculées montre la pertinence des valeurs de digestibilités du Ca et du P attribuées aux différentes matières premières ainsi que de la valorisation associée à la phytase. Enfin, l'augmentation des apports en Ca n'a pas eu d'effet significatif sur la digestibilité apparente de la matière grasse. Cette observation est contraire à celle de Guéguen et Pointillart (2008), selon lesquels l'élévation des apports calciques conduit à une insolubilisation et donc à une baisse de la disponibilité des lipides. Les auteurs précisent parallèlement que ce phénomène d'insolubilisation est fortement influencé par la nature des lipides, à savoir principalement observé lorsque les lipides sont saturés. L'origine de la matière grasse retrouvée dans nos aliments expérimentaux, à savoir uniquement issue des matières premières végétales (céréales et tourteaux), pourrait donc expliquer l'absence d'effet des apports calciques sur la digestibilité de la MG.

Ainsi, indépendamment de la façon d'apporter les minéraux, il semble prudent de ne pas dépasser un ratio Cadig:Pdige de 1,5 et ce afin d'éviter toute dégradation des performances de croissance chez le porc charcutier rationné. La confrontation

du ratio recommandé sur la base de nos résultats aux données de la littérature n'est pas évidente étant donnée la rareté des études considérant les apports Cadig et non pas en Ca total. Les données de Merriman *et al.* (2016), obtenues sur des porcs charcutiers pesant 100 kg de poids vif, rapportent qu'un ratio Cadig:Pdig de 1,38 semble être optimal. Au-delà de ce ratio, une dégradation des performances de croissance était observée. Parallèlement, Gonzalez-Vega (2016) a montré que pour des porcs en croissance, un ratio Cadig:Pdig de compris entre 1,16 et 1,43 permettait de maximiser les performances de croissance alors que pour maximiser la minéralisation osseuse, le ratio Cadig:Pdig devait être compris entre 1,53 et 1,81.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ces données confirment qu'un excès de calcium digestible est susceptible d'induire une dégradation des performances chez le porc charcutier. L'utilisation de la phytase exogène ne semble pas modifier la réponse zootechnique des porcs charcutiers à la modification des apports en calcium digestible. Ainsi, indépendamment de l'utilisation de l'enzyme, il semble

judicieux de ne pas dépasser un ratio Cadig/Pdig de 1,5 chez le porc charcutier, et ce, afin d'optimiser les performances tout en permettant une bonne minéralisation osseuse.

Le mécanisme expliquant l'effet négatif du calcium excédentaire sur les performances des porcs semble néanmoins dépendant de l'utilisation de phytase exogène. Lorsque les aliments contiennent de la phytase, la dégradation des performances relevées suite à l'augmentation de la teneur en Ca digestible semble s'expliquer par une dégradation de la digestibilité du Ca et probablement du P. A l'inverse, lorsque les aliments n'ont pas été supplémentés en phytase exogène, l'effet délétère d'un excès de Ca s'expliquait davantage par un mécanisme post-absorptif, non mis en évidence dans cette étude.

Ces résultats confirment donc bien la complexité que représente la nutrition minérale. De nombreux facteurs sont susceptibles d'influencer la réponse des porcs charcutiers à la modification des apports calciques. Comme en atteste ces résultats, la considération de la teneur en calcium digestible apparente permet néanmoins d'intégrer une partie de ces facteurs, rendant ainsi plus aisée la prédiction de la réponse des porcs à la modification des apports en minéraux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Crenshaw T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. Ed. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp 187-212.
- Cromwell G.L., 1996. Metabolism and Role of phosphorus, Calcium and Vitamin D3 in Swine Nutrition. In: Coelho M.B. and Kornegay E.T. (eds.), Phytase in animal nutrition and waste management. BASF Corporation, Mount Olive, NJ, USA, pp. 101-110.
- Fan M.Z., Archblod T., 2012. Effects of dietary true digestible calcium to phosphorus ratio on growth performance and efficiency of calcium and phosphorus use in growing pigs fed corn and soybean meal-based diets. *J. Anim. Sci.*, 90, 254-256.
- Gonzalez-Vega J.C., Walk C.L., Liu Y., Stein H.H., 2013. Determination of endogenous intestinal losses of Ca and true total tract digestibility in canola meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 91:4807-4816.
- Gonzalez-Vega J.C., Stein H.H., 2014. Calcium digestibility and metabolism in pigs. *Asian Austr. J. Anim. Sci.*, 27, 1-9.
- Gonzalez-Vega J.C., 2016. Digestibility of calcium and digestible calcium requirements in pigs. Thèse de doctorat. Univ. Illinois, Urbana-Champaign, USA. 210 p.
- Gonzalo E., Létourneau-Montigny M.P., Narcy A., Bernier J.F., Pomar C., 2014. Optimisation des apports de phosphore et calcium pour maximiser leur utilisation chez le porc en croissance en croissance dans un contexte de durabilité. *Journées Rech. Porcine*, 46, 113-118.
- Guéguen L., Pointillart A., 2008. Interactions digestives et métaboliques entre lipides et calcium. *Sciences des aliments*, 28 (1-2), 117-127.
- Hall D.D., Cromwell G.L., Stahly T.S., 1991. Effects of dietary calcium, phosphorus, calcium:phosphorus ratio and vitamin K on performance, bone strength and blood clotting status of pigs. *J. Anim. Sci.*, 69, 646-655.
- Lantsch H.J.S., Wjst S., Drochner W., 1995. The effects of dietary calcium on the efficacy of microbial phytase in rations for growing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 73, 19-36.
- Ly J., Ty C., Samkol P., 2002. Studies on the use of acid insoluble ash as inert marker in digestibility trials with Mong Cai pigs. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 14, Article 41. <http://www.lrrd.org/lrrd14/5/ly145a.htm>
- 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 slurry of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 81, 177-192.
- Merriman L. A., Walk C. L., Parsons C. M., Stein H. H., 2016. Digestible calcium requirement for 100 to 130 kg pigs. *J. Anim. Sci.*, 94 (5), 458.
- Narcy A., Létourneau-Montminy M.P., Bouzouagh E., 2012. Modulation de l'utilisation digestive du phosphore chez le porcelet sevré : influence de l'apport en calcium et de phytase sur le pH et la solubilité des minéraux au niveau gastro-intestinal. *Journées Rech. Porcine*, 44, 159-164.
- D.C. 20418 USA. Peo E.R., 1991. Calcium, phosphorus, and vitamin D in swine nutrition. In: Miller E.R., Ullrey D.E. and Lewis A.J. (Eds), *Swine Nutrition*, pp. 165-182.
- Qian H., Kornegay E.T., Conner D.E., 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.
- Samson A., Van Meyel J.P., Launay C., 2013. Influence de l'origine et de la granulométrie du carbonate de calcium sur sa valeur alimentaire pour le porc charcutier. *Journées Rech. Porcine*, 45, 201-202.
- Stein H.H., 2016. Calcium digestibility and requirements for digestible calcium by growing pigs. In: *Proc. of the Midwest Swine Nutrition Conference*, Indianapolis, pp. 57-61.
- Stein H.H., Adeola O., Cromwell G.L., Kim S.W., Mahan D.C., Miller P.S., 2011. Concentration of dietary calcium supplied by calcium carbonate does not affect the apparent total tract digestibility of calcium, but decreases digestibility of phosphorus by growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 89, 2139-2144.