



Cinétique de minéralisation osseuse de truies primipares et multipares et de leurs portées en fonction de l'apport phosphocalcique

Nicolas COQUIL (1), Julien HEURTAULT (1,2), Marie-Pierre LETOURNEAU-MONTMINY (2), Patrick SCHLEGEL (1)

(1) Agroscope, Groupe de recherche porcine, 1725 Posieux, Suisse

(2) Département des sciences animales, Université Laval, Québec, Canada, G1V 1A6

patrick.schlegel@agroscope.admin.ch

Cinétique de minéralisation osseuse de truies primipares et multipares et de leurs portées en fonction de l'apport phosphocalcique

Le phosphore (P) et le calcium (Ca) sont stockés dans l'os, un tissu mobilisable lors d'un besoin élevé en minéraux, comme pendant la lactation. Ce flux, quantifié chez des truies primipares, ne l'a pas été chez des truies multipares. Ainsi, les objectifs de l'étude sont de valider ce flux chez les truies primipares et de le quantifier chez des truies multipares en fonction de l'apport phosphocalcique, ainsi que d'étudier la minéralisation osseuse des porcelets sous la mère. Le contenu minéral osseux (CMO, g) du corps entier de 24 truies primipares et 24 truies multipares (rang de portée 3 ou 4) et leurs porcelets a été mesuré par absorptiométrie aux rayons X à la mise bas (J2) et au sevrage (J26). Quatre aliments de lactation ont été formulés pour réaliser différents apports nutritionnels : Lact100 (9,0 g Ca ; 3,0 g P digestible/kg), Lact50 (4,5 g Ca ; 1,5 g P digestible/kg), et ces mêmes traitements complétés avec 750 FTU/kg de phytase exogène (Lact100+FTU et Lact50+FTU). La cinétique de CMO était influencée par les traitements alimentaires (P -value < 0,05). A J26, le CMO des truies Lact50 était plus faible (P -value < 0,05) que celui des truies Lact100 et Lact100+FTU qui, elles, présentaient un CMO similaire. Les primipares avaient un CMO plus bas que celui des multipares, mais la cinétique du CMO entre mise bas et sevrage était indépendante du rang de portée. Les traitements alimentaires n'ont pas impacté la concentration minérale (g CMO/kg PV) des porcelets. Ces données permettront de développer un modèle de prédiction de l'utilisation et de la rétention du P et du Ca chez la truie en lactation dans l'objectif de définir plus précisément le besoin.

Bone mineralization kinetics of primiparous and multiparous sows and their litters during lactation as a function of dietary phosphorus and calcium intake

Phosphorus (P) and calcium (Ca) are stored in the bone, a tissue that can be mobilised when mineral requirements are high, as during lactation. This flow has been quantified in primiparous sows, but not in multiparous sows. The objectives of the study were to validate this flux in primiparous sows and quantify it in multiparous sows fed different levels of dietary P and Ca, and to study the bone mineral content (BMC, g) of suckling piglets. To this end, the whole-body BMC of 24 primiparous and 24 multiparous sows (parity 3 or 4) and their piglets was measured by X-ray absorptiometry at farrowing (d2) and weaning (d26). Four lactation feeds were formulated to cover nutritional requirements: Lact100 (9.0 g Ca, 3.0 g digestible P/kg), Lact50 (4.5 g Ca, 1.5 g digestible P/kg), and these same treatments supplemented with 750 FTU/kg exogenous phytase (Lact100+FTU and Lact50+FTU). The kinetics of BMC were influenced by dietary treatments (P -value < 0.05). On d26, Lact50 sows had a lower BMC than Lact100 and Lact100+FTU sows (P -value < 0.05). Primiparous sows had a lower BMC than multiparous sows, but the kinetics of BMC between farrowing and weaning were independent of parity. Feeding treatments did not influence the mineral concentration (g BMC/kg PV) of piglets. In the future, these data will be used to adjust models to predict the use of P and Ca by lactating sows, with the aim of defining their requirements more precisely.

INTRODUCTION

Le phosphore (P) participe au maintien et à la structure du tissu osseux (Crenshaw, 2001). Tout excédent en P alimentaire est rejeté et se retrouve dans les effluents. En cas d'un apport en effluents supérieur aux besoins des cultures, le P représente un risque de pollution pour l'environnement (Dourmad *et al.*, 2020). Le besoin en P digestible de la truie en lactation est relativement élevé (Bikker et Blok, 2017 ; Quiniou *et al.*, 2021) et nécessite une complémentation non-négligeable en P inorganique, sous forme de phosphate minéral. Lors d'une alimentation phosphocalcique conforme au besoin, une truie primipare rejete plus de 40% du P total ingéré, et ce tout en déminéralisant de l'os (Heurtault *et al.*, 2024a). La capacité à mobiliser du tissu osseux pour subvenir partiellement au besoin en P et Ca durant la lactation, mécanisme décrit chez la truie par Giesmann *et al.* (1998) et quantifié chez les truies primipares par Heurtault *et al.* (2024a), ouvre de nouvelles perspectives dans l'affinement de l'estimation des besoins nutritifs, notamment par l'approche mécaniste (Heurtault *et al.*, 2024b). Cependant, ce type de modèle ne peut se construire sans quantifier la mobilisation des os, et ce en réponse à différentes stratégies alimentaires telles une supplémentation en P inorganique ou en phytase. En effet, ces stratégies impactent la quantité de P absorbé (Heurtault *et al.*, 2024c). A partir du postulat que, chez une truie en lactation, le tissu osseux est mobilisé pour combler le manque de P et de Ca entre l'ingéré et la partie sécrétée dans le lait, la mobilisation osseuse dépend fortement de la stratégie alimentaire appliquée. Certaines stratégies (ex : -25% de P digestible, -50% de P digestible et -50% de P digestible supplémente avec de la phytase exogène ; Heurtault *et al.*, 2024a) ont été étudiées chez les truies primipares seulement. De plus, les conséquences de l'intensité de déminéralisation osseuse sur le maintien des performances zootechniques des porcelets et leur contenu minéral osseux (CMO) sont inconnues. Ces connaissances sont fondamentales à une future application de modèles qui incluraient la mobilisation de réserves corporelles de la truie. Ainsi, les objectifs de l'étude sont 1) de valider ce flux chez les truies primipares et de le quantifier chez des truies multipares, ainsi que 2) d'étudier l'évolution du CMO des porcelets issus des truies nourries à différents niveaux de P et de Ca alimentaires.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux et aliments expérimentaux

Un total de 24 truies primipares et 24 truies multipares (rang de portée 3 à 4) Grand Porc Blanc Suisse et leurs portées ont été sélectionnées au sein du troupeau d'Agroscope. Deux jours après la mise bas, les portées ont été standardisées à 13 porcelets. Six truies par rang de portée étaient attribuées, en fonction de leur poids à 110 jours et de leur rang de portée, à l'un des quatre traitements alimentaires, distribués *ad libitum* du lendemain de la mise bas (J2) au sevrage (J26 ; Tableau 1). Ces aliments étaient formulés pour couvrir les besoins recommandés (Agroscope, 2005) en nutriments sauf en P digestible et en Ca : Lact100 à 100% du besoin, sans phytase exogène (9,0 g Ca, 3,0 g P digestible/kg et ratio de 3:1 Ca/P digestible) ; Lact50 à 50% du besoin, sans phytase exogène (4,5g Ca, 1,5 g P digestible/kg et 3:1 Ca/P digestible) ; Lact100+FTU et Lact50+FTU étant, respectivement, obtenus à partir de Lact100 et Lact50 complétés avec une 6-phytase exogène (750 FTU/kg, Quantum® Blue 5G, AB Vista, Marlborough, Royaume

Uni). Les porcelets étaient nourris exclusivement avec le lait de la truie.

1.2. Mesures

Un échantillon de chaque aliment était prélevé par semaine (n = 16 – 17 échantillons par aliment) et respectivement homogénéisé en deux pools, et ce en raison du fait qu'il s'agit du même lot d'aliment. La consommation moyenne journalière (CMJ) individuelle a été calculée avec une pesée quotidienne des refus soustraits à la quantité d'aliment distribuée pré-définie au distributeur d'aliment pour chaque individu (Schauer Spotmix, Agrotonic GmbH, Prambachkirchen, Autriche). Les porcelets ont été pesés à la naissance et au sevrage. Le contenu minéral osseux (CMO) et la masse de gras et de maigre des truies et des porcelets étaient mesurés à J2 (2 ± 1 j d'âge) et J26 (26 ± 1 j d'âge) à l'aide d'un scanner à absorptiométrie à rayons X biphotonique (DXA, i-DXA, GE Medical systems, Glattbrugg, Suisse). La somme de ces masses équivaut au poids vif (PV). Pour éviter tout mouvement lors des acquisitions d'image, les truies ont reçu une injection sous-cutanée d'azapérone (40,0 mg de sedanol, Streuli Tiergesundheit AG, Uznach, Suisse), suivie d'une sédation de courte durée par inhalation d'isoflurane au masque, qui a elle seule a suffi aux porcelets (jusqu'à 5% d'isoflurane dans l'oxygène, Isoflo, Abbott Laboratories, North Chicago, USA). Les truies ont été scannées en position latérale (sur le flanc gauche, les jambes droites placées vers les mamelles et les jambes gauches placées vers les extrémités du corps) et les porcelets en position ventrale (les jambes avant rabattues sur la poitrine et arrière étendues vers l'arrière). Le mode d'acquisition utilisé dans le logiciel Encore (version 18, GE Medical Systems, Glattbrugg, Suisse) était le mode « thick » pour les truies et le mode « medium » pour les porcelets. Les images ont été traitées afin d'éliminer les artefacts (masque et tube de l'appareil de sédation). Lors du traitement d'image pour les scans de truie, il n'a pas été possible de replacer les lignes délimitant les régions d'intérêt en raison de la position latérale de l'animal. Par conséquent, l'ensemble du corps de la truie a été considéré comme la région d'intérêt correspondant au "pied avant droit". Pour le porcelet, les régions d'intérêt ont été délimitées, comme décrit par Kasper *et al.* (2021). Aux jours 12 (± 1) et 24 (± 1) de lactation, un prélèvement de lait était réalisé aléatoirement sur les tétines sur six truies et huit truies recevant, respectivement, les aliments Lact100 et Lact50, à la suite d'une injection sous-cutanée d'ocytocine (2 mL, Intertocine-S, MSD Animal Health GmbH, Lucerne, Suisse) pour stimuler la sécrétion de lait et permettre la collecte.

1.3. Analyses chimiques des échantillons

Après avoir été broyés et tamisé à 1 mm (broyeur rotatif, Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, Allemagne), les échantillons d'aliment ont été analysés pour déterminer leur teneur en matière sèche (105°C pendant 3 h), suivis d'une incinération à 550°C jusqu'à l'obtention d'une masse stable pour déterminer la teneur en cendres conformément à la norme ISO 5984_2002 (prepASH, presica Gravimetrics AG, Dietikon, Suisse). La teneur en matières azotées totales (MAT ; N x 6,25) a été analysée par la méthode de Dumas (ISO 16634-1:2008) en utilisant un LECO CNS928 (Leco, Mönchengladbach, Allemagne). La teneur en Ca et P a été analysée selon la norme européenne EN155510:2008, à l'aide d'un spectromètre d'émission optique à plasma inductif (ICP-OES 5800, Agilent technologies Suisse) après digestion par micro-ondes

(Multiwaves, Anton Paar, Baden, Suisse) avec une solution d'acide nitrique. La teneur en P phytique alimentaire a été déterminée à l'aide du kit enzymatique (K-PHYT, Megazyme International, Bray, Irlande). Le phosphate inorganique libéré a été quantifié par calorimétrie en réaction au molybdate d'ammonium ajouté dans des conditions acides, après une déphosphorylation enzymatique en deux étapes (enzyme phytase suivie de l'enzyme alcaline phosphatase). Le phosphate inorganique initialement présent a été quantifié par la même méthode sans ajout d'enzymes. Le P phytique a été déterminée par la soustraction du phosphate inorganique initialement présent du phosphate total libéré. L'activité de la phytase alimentaire a été mesurée conformément à la norme ISO 30024 par colorimétrie à 415 nm (lecteur de plaques UV/VIS Dynex) après l'ajout de phytate de sodium comme substrat et la formation d'un complexe vanadomolybdate avec le phosphate inorganique libéré. Les analyses du P et Ca du lait sont réalisées à l'aide d'un spectromètre d'émission atomique à plasma (Agilent 4200 MP-AES, Agilent Technologies, Santa Clara, Etats-Unis) après digestion à micro-ondes avec de l'acide nitrique à 65% dans une solution de glycol. Toutes les analyses ont été réalisées en double.

1.4. Calculs et analyses statistiques

Les données DXA des truies ont été ajustées d'après les équations de Heurtault *et al.* (2024d) pour prendre en compte la différence de résultat entre une donnée obtenue avec la truie en position latérale ou ventrale (position prévue pour le scan). La production laitière a été estimée à partir d'Hansen *et al.* (2012) entre le 2^{ème} et le 26^{ème} jour de lactation. Le gain moyen quotidien (GMQ) de la portée a été obtenu par différence entre les poids de naissance de la portée après équilibrage et au sevrage, divisé par le nombre de jours de lactation. L'unité expérimentale était la truie. Les données ont été analysées avec un modèle linéaire mixte (Logiciel R version R 4.3.2 avec le package nlme). Les effets fixes étaient le stade (J2, J26), le traitement alimentaire (Lact100, Lact50, Lact100+FTU, Lact50+FTU) et le rang de portée (primipare, multipare), et leurs interactions. La truie était inclus en effet aléatoire. Une régression linéaire (lm, package stats) a été utilisée pour étudier la corrélation de certaines variables entre elles. La matrice de corrélation des résidus utilisées était Corsymm. Les différences étaient considérées comme significatives avec une *P-value* < 0,05 et une tendance était notée avec une *P-value* comprise entre 0,05 et 0,10.

Tableau 1 – Aliments expérimentaux

Traitements	Lact100 ¹	Lact100+FTU ¹	Lact50 ¹	Lact50+FTU ¹
Ingrédients, %				
Orge	36	36	36	36
Maïs	27,69	25,00	31,93	30,79
Amidon de blé	0,89	2,72	0,10	0,10
Graisse	3,32	3,50	2,26	2,63
Protéine de pomme de terre	4,1	4,1	4,1	4,1
Tourteau d'extraction de soja	15	15	15	15
Tourteau de pression de colza	4,33	4,70	3,44	3,71
Pulpe de betteraves séchées	3	3	3	3
L-Lysine-HCl	0,238	0,235	0,247	0,245
DL-méthionine	0,007	0,007	0,007	0,007
L-Thréonine	0,057	0,057	0,059	0,058
L-Tryptophane	0,024	0,023	0,025	0,025
Phosphate monocalcique	0,859	0,859	0,141	0,141
Carbonate de calcium	1,469	1,800	0,688	1,185
Chlorure de sodium	0,39	0,39	0,40	0,40
Liant (Pellan)	0,2	0,2	0,2	0,2
Marqueur de digestibilité (célite)	2	2	2	2
Prémix minéral et vitaminique ²	0,4	0,4	0,4	0,4
Phytase ³		0,015		0,015
Teneur moyenne				
Energie digestible, MJ/kg ⁴	14,1	14,1	14,1	14,1
Matière sèche, g/kg	896	900	894	897
Matières azotées totales, g/kg	178	179	174	177
Ca, g/kg	11,4	12,3	6,2	7,7
P, g/kg	5,7	5,7	4,1	4,0
P Phytique, g/kg	2,6	2,3	2,5	2,5
P digestible, g/kg ⁴	3,0	4,6	1,5	3,1
Ca : P digestible	3,8	2,7	4,2	2,5
Activité phytasique, FTU	217	1042	196	954

¹Lact100 : 100% des besoins en Ca et en P digestible, Lact50 : 50% des besoins en Ca et en P digestible, Lact100+FTU et Lact50+FTU : Lact100 et Lact50 avec 750 FTU de phytase exogène. ²Apports par kg d'aliment : 7 mg Cu, 40 mg Fe, 20 mg Mn, 55 mg Zn, 0,55 mg I, 0,20 mg Se, 8000 IU vitamine A, 800 IU vitamine D3, 300 mg choline, 2 mg vitamine B1, 5 mg vitamine B2, 4 mg vitamine B6, 20 mg niacine, 0,02 mg vitamine B12, 21 mg acide pantothénique, 0,10 mg biotine, 1,5 mg acide folique, 40 mg vitamine E, 2,0 mg vitamine K3. ³ 0,015% de Quantum Blue 5G (Quantum® Blue 5G, AB Vista, Marlborough, Royaume-Uni) correspondant à 750 FTU/kg avec une équivalence de 1,6 g P digestible et 1,9 g Ca par kg d'aliment. ⁴ Valeurs calculées selon Agroscope (2005).

2. RESULTATS

2.1. Ingestion, production laitière et gain moyen quotidien

La CMJ était influencée par le traitement et le rang de portée (interaction rang de portée x traitement, P -value < 0,05) montrant une CMJ plus faible chez les truies multipares Lact50 comparées aux autres truies multipares (Tableau 2). La concentration en P et Ca du lait était similaire entre les traitements alimentaires, tout comme la production laitière qui était toutefois plus élevée chez les truies multipares que chez les primipares (+9% ; P -value < 0,05). Les concentrations en Ca et P du lait augmentaient entre J12 et J24 (P -value < 0,05 ; Tableau 2). Le rang de portée impactait la concentration en P du lait aux cours de la lactation (P -value < 0,05). A J12, la concentration en P était similaire. A J24, elle avait augmenté pour les deux rangs de portée mais plus fortement chez les truies primipares (+130% ; P -value < 0,05).

2.2. Performances des porcelets

La taille de la portée à la mise bas (né vivant : $12,6 \pm 3,2$), le poids moyen d'un porcelet aux 1^{er} ($1,50 \pm 0,30$ kg) et 26^{ème} ($7,46 \pm 1,54$ kg) jours d'âge et le GMQ des portées ($2,98 \pm 0,47$ kg/j) étaient similaires entre les traitements alimentaires. Le poids moyen des porcelets des truies multipares était 0,37 et 1,51 kg plus élevé à J2 et J26, respectivement (P -value < 0,05). Leur GMQ était également 15% plus élevé ($3,20$ vs $2,76$; P -value < 0,05).

2.3. Poids et contenu minéral osseux de la truie

A J26, tous rangs de portée confondus, les truies Lact50 tendaient à avoir un PV inférieur aux truies Lact100 (P -value = 0,09), les autres traitements étaient similaires entre eux. Le CMO (g) et la concentration minérale (g CMO/kg PV)

diminuaient entre J2 et J26 (P -value < 0,05), mais n'étaient pas influencés par le rang de portée. A J26, les truies Lact50 avaient un CMO plus faible que les truies Lact100 (-768 g ; P -value < 0,05) et Lact100+FTU (-740 g ; P -value < 0,05) et une concentration minérale plus faible que les truies Lact100+FTU (P -value < 0,05).

2.4. Poids et contenu minéral osseux des porcelets

Le PV et le CMO des porcelets étaient corrélés positivement, indépendamment du rang de portée et du traitement alimentaire de la truie ($r = 0,99$). La cinétique de la concentration minérale (g CMO/kg PV) était influencée par le traitement alimentaire et le rang de portée de la truie (interaction rang de portée x traitement x stage, P -value < 0,05 ; Figure 1) ; montrant que les porcelets des truies primipares allant débiter avec l'aliment Lact50+FTU disposaient d'une minéralisation plus faible à la mise bas.

3. DISCUSSION

3.1. Mobilisation du contenu minéral osseux de la truie

Cette étude avait pour objectif d'étudier la réserve minérale osseuse mobilisée par la truie pendant la lactation en fonction de différents apports en P et Ca alimentaires et du rang de portée. En lactation, les besoins d'entretien et pour la production laitière ont la priorité sur la rétention corporelle (Dourmad *et al.*, 2008). Pour les minéraux, la quantité de Ca et de P ingérée ne permettent pas de satisfaire le besoin, ainsi la balance calcique (entrées-sorties dans le lait) est négative durant la lactation (Moinecourt, 2002). L'hypocalcémie plasmatique stimule alors la sécrétion de PTH qui favorise l'activité des ostéoclastes et donc la résorption osseuse

Tableau 2 – Effet du traitement alimentaire et du rang de portée sur la consommation moyenne journalière, le poids vif, le contenu minéral osseux de la truie, la production laitière et les teneurs en P et Ca du lait

Variables	Traitements				Rang de portée		ETR	Effets statistiques ¹
	Lact100	Lact100 + FTU	Lact50	Lact50 + FTU	Primipare	Multipare		
Effectif, n	6	6	6	6	12	12		
CMJ, kg/j	6,81	6,86	6,29	7,00	6,13	7,36	0,24	T ⁺ , R*, TxR*
Poids vif (PV) de la truie, kg								
J2	236	231	232	230	197	268	8	S*, R*, SxT*
J26	223	220	207	217	182	248		
CMO de la truie, g								
J2	5565	5736	5554	5449	4285	6867	227	S*, R*, SxT*
J26	5319 ^a	5291 ^a	4550 ^b	5054 ^{ab}	3808	6299		
CMO de la truie, g/kg PV								
J2	23,1	24,5	23,6	23,3	21,7	25,5	1,0	S*, R*, SxT*
J26	23,4 ^{ab}	23,7 ^a	21,6 ^b	22,8 ^{ab}	20,8	24,9		
Production de lait, kg	284	306	292	288	280	305	8,7	R*
Effectif, n	6		8		7	7		
P, g/kg lait								
J12	1,60		1,59		1,54	1,65	0,12	S*, SxR*
J24	1,82		1,77		1,82	1,77		
Ca, g/kg lait								
J12	1,63		1,65		1,57	1,70	0,85	S*, R*
J24	2,03		2,06		2,03	2,06		

Lact100 : 100% des besoins en Ca et en P digestible, Lact50 : 50% des besoins en Ca et en P digestible, Lact100+FTU et Lact50+FTU : Lact100 et Lact50 avec 750 FTU de phytase exogène, ETR : écart type résiduel, CMJ : consommation moyenne journalière, CMO : contenu minéral osseux, PV : poids vif.

¹S : effet stade, R : effet rang de portée, T : effet traitement. Pour chaque variable, seuls les effets statistiques significatifs ou les tendances sont renseignés dans le tableau. P -value < 0,05* ; P -value < 0,10* ; P -value > 0,10^{NS}

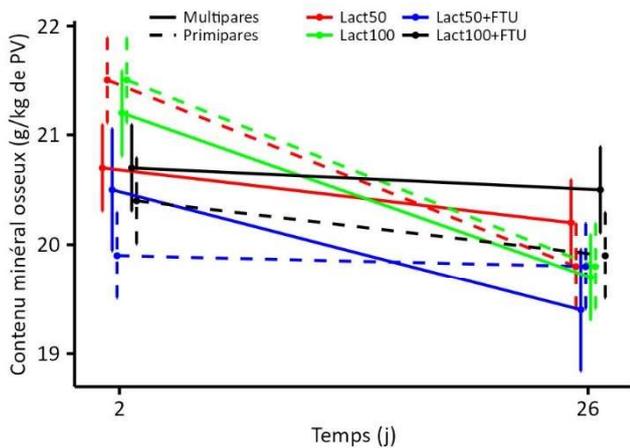


Figure 1 – Evolution temporelle de la concentration du contenu minéral osseux (g/kg de PV) chez le porcelet en fonction du traitement alimentaire et du rang de portée de la truie ¹

¹Lact100 : 100% des besoins en Ca et en P digestible, Lact50 : 50% des besoins en Ca et en P digestible, Lact100+FTU et Lact50+FTU : Lact100 et Lact50 avec 750 FTU de phytase exogène,
 Stade x Traitement x Rang de portée, P-value < 0,05 ;
 Stade x Traitement, P-value < 0,05 ; Stade, P-value < 0,05 ;
 les autres interactions sont non significatives (P-value > 0,10)

(Frandsen *et al.*, 2009) libérant ainsi du Ca et du P. La résorption des réserves osseuses en lactation, visible dans cette étude, confirment les précédentes études (Giesmann *et al.*, 1998 ; Heurtault *et al.*, 2024a).

Nos résultats montrent que l'intensité de la déminéralisation osseuse pendant la lactation est dépendante du niveau d'apports en P et Ca alimentaires. En effet, indépendamment du traitement alimentaire, le CMO des truies Lact50 était plus faible au sevrage que celui des truies Lact100 et Lact100+FTU. Heurtault *et al.* (2024a) ont montré que des truies nourries à 50% du besoin en P digestible et Ca (identique à Lact50 dans notre étude) tendaient à déminéraliser davantage que des truies nourries à 100% du besoin. Chez la cochette, Floradin *et al.* (2022) ont conclu que le CMO entre 60 kg et 95 kg PV d'animaux nourris à 60% du besoin en P digestible et Ca (3,3 g Ca/kg ; 1,2 g P digestible/kg) baissait davantage que celui d'animaux nourris à 100% du besoin actuellement défini (5,8 g Ca/kg ; 2,1 g P digestible/kg). Ainsi, une truie dispose de la capacité d'utiliser ses réserves osseuses comme source de P et de Ca ce qui lui permet de subvenir à son besoin associé à la production laitière. Les truies nourries avec le traitement Lact100+FTU, soit un apport théorique de 153% de P digestible et 136% de Ca supérieur à celui réalisé pour le traitement Lact100, présentaient également une déminéralisation. Une explication possible pourrait être l'atteinte de la capacité maximale d'absorption. En effet, l'absorption gastro-intestinale se fait par deux voies : la voie passive dite insaturable et stable en fonction de la teneur en P dans la lumière intestinale, et la voie active dite saturable et majoritaire (Quiniou *et al.*, 2021). Le transport actif est alors limitant. Il se pourrait alors que la quantité maximale d'absorption soit atteinte avec le traitement Lact100. Les données de digestibilité apparente du P et du Ca à venir, aideront à vérifier cette hypothèse.

Le CMO (g) diminuait dans les mêmes proportions entre les truies primipares et les truies multipares recevant le même traitement alimentaire. Comme les truies multipares ingéraient une quantité alimentaire et produisaient une quantité de lait supérieure aux truies primipares (en accord avec Giesmann *et al.*, 1998 ; Ngo *et al.*, 2012 ; Gauthier *et al.*, 2019) et présentaient des teneurs en P du lait comparable, la balance (P ingéré – P lait) était comparable chez les truies des différents rangs de portée. Ceci expliquerait la déminéralisation de même ampleur pour les différents rangs de portée.

3.2. Croissance des porcelets

Les résultats montrent que l'apport en P et Ca de la truie n'a pas eu d'impact sur le GMQ des porcelets, comme précédemment observé par Grez-Capdeville et Crenshaw (2021) et Heurtault *et al.* (2024a), ni sur leur concentration en CMO. Une des explications de la minéralisation plus faible des porcelets Lact50+FTU à la naissance pourrait être la taille de portée (avant standardisation) qui était plus élevée que la moyenne des autres traitements, respectivement 13,3 et 12,6 porcelets. Lors de la lactation, les porcelets sont nourris exclusivement avec le lait de la truie. La quantité de P et de Ca exportées via le lait dépendent de la production laitière de la truie et la concentration en P et Ca du lait est maintenue par la mobilisation de réserves corporelles (Heurtault *et al.*, 2024a). L'absorption du P des porcelets se fait exclusivement par la voie passive qui est non saturable et indépendante de la concentration alimentaire (Kovacs, 2015). Le coefficient d'utilisation marginal du P digestible est estimé à 75% - 77% (NRC, 2012). Les porcelets absorbent proportionnellement le Ca et le P qu'ils ingèrent, il semblerait possible de maximiser la minéralisation osseuse avec des niveaux de Ca et de P plus élevés.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude confirment la capacité des truies à mobiliser leurs réserves osseuses durant la lactation. L'intensité de cette déminéralisation est principalement déterminée par la teneur en P alimentaire, indépendamment du rang de portée des truies. Cette capacité à puiser dans les réserves minérales osseuses permet de maintenir les concentrations en P et en Ca dans le lait, même lorsque l'apport en P digestible et en Ca est réduit à 50% des besoins. Ainsi, la réduction de l'apport en phosphate inorganique n'a pas d'effet négatif sur les performances de croissance des porcelets ni sur leur contenu minéral osseux, suggérant qu'il serait possible de limiter, voire d'exclure, l'apport de phosphate inorganique durant la lactation. Cependant, un suivi à long terme est nécessaire pour évaluer les effets d'une telle stratégie alimentaire sur la carrière des truies. De plus, l'étude a montré que les truies à 50% du besoin en P digestible, mais supplémentées avec 750 FTU/kg de phytase exogène limitent la mobilisation de leurs réserves osseuses. Toutefois, une supplémentation en phytase exogène dans un aliment conforme aux besoins actuels en P digestible ne semble pas limiter d'avantage la déminéralisation osseuse. Cette étude souligne l'importance de considérer l'activité de la phytase et la régulation homéostatique du P et du Ca dans le calcul des besoins nutritionnels et la formulation des aliments de lactation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agroscope, 2005. Apports alimentaires recommandés pour les porcs. Disponible en ligne sur : <https://www.agroscope.ch/livret-jaune>
- Bikker P., Blok M.C., 2017. Phosphorus and calcium requirements of growing pigs and sows. CVB documentation report n°59., Wageningen Livestock Research, Pays-Bas, 72 p.
- Crenshaw T.D., 2001. Calcium, phosphorus, vitamin D, and vitamin K in swine nutrition. In: A.J. Lewis & L.L. Southern (Eds), Swine nutrition (2nd ed.), 187-212, CRC Press, Boca Raton, Floride, USA.
- Dourmad J.Y., Boudon A., Narcy A., 2020. Le phosphore dans les systèmes d'élevage. INRAE Prod. Anim., 33(1), 31-40.
- Dourmad J.Y., Étienne M., Valancogne A., Dubois S., Milgen J., Noblet J., 2008. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. Anim. Feed Sci. Technol., 147, 372-386.
- Floradin P., Candido P., Létourneau-Montminy M.P., Schlegel P., 2022. Dynamique de déplétion et de réplétion des réserves minérales dans les os individuels et les régions osseuses des cochettes nourries avec différents niveaux de phosphore et calcium alimentaires. Journées Rech. Porcine, 54, 199-200.
- Frandson, R. D., 1986. Anatomy and physiology of farm animals. Lea & Febiger (Ed, 4th ed.), Philadelphia, USA, 560 p.
- Gauthier R., Largouët C., Gaillard C., Cloutier L., Guay F., Dourmad J. Y., 2019. Dynamic modeling of nutrient use and individual requirements of lactating sows. J. Anim. Sci., 97, 2822-2836.
- Giesemann M.A., Lewis A.J., Miller P.S., Akhter M.P., 1998. Effects of the reproductive cycle and age on calcium and phosphorus metabolism and bone integrity of sows. J. Anim. Sci., 76, 796-807.
- Grez-Capdeville M., Crenshaw T.D., 2022. Estimation of phosphorus requirements of sows based on 24-h urinary phosphorus excretion during gestation and lactation. Br. J. Nutr., 128, 377-388.
- Hansen A.V., Strathe A.B., Kebreab E., France J., Theil P.K., 2012. Predicting milk yield and composition in lactating sows: a Bayesian approach. J. Anim. Sci., 90, 2285-2298.
- Heurtault J., Hiscocks S., Létourneau-Montminy M. P., Schlegel P., 2024a. Dynamics of bone mineralization in primiparous sows as a function of dietary phosphorus and calcium during lactation. Animal, 18, 101130.
- Heurtault J., Schlegel P., Létourneau-Montminy M.P., 2024b. Modèle mécaniste de l'utilisation du phosphore et du calcium alimentaire et de la dynamique de rétention des cendres corporelles chez la truie en lactation. Journée Rech. Porcine, 56, 151-156.
- Heurtault J., Schlegel P., Létourneau-Montminy M.P., 2024c. Prédiction de l'absorption de phosphore et de calcium chez une truie en lactation. Journées Rech. Porcine, 56, 223-224.
- Heurtault J., Maikoff G., Létourneau-Montminy M.P., Schlegel P., 2024d. Method: Body composition assessment of sows using dual-energy X-ray absorptiometry. Animal-Open Space, 3, 100079.
- Hu P., Yang H., Lv B., Zhao D., Wang J., Zhu W., 2019. Dynamic changes of fatty acids and minerals in sow milk during lactation. J. Anim. Physiol. Anim. Nut., 103, 603-611.
- Hurley W.L., 2015. Composition of sow colostrum and milk. In: C. Farmer (Ed.), The gestating and lactating sow, 193-229. Wageningen Academic Publisher, Pays-Bas.
- Kasper C., Schlegel P., Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Bee G., 2021. Accuracy of predicting chemical body composition of growing pigs using dual-energy X-ray absorptiometry. Animal, 15, 100307.
- Kovacs C.S., 2015. Calcium, phosphorus, and bone metabolism in the fetus and newborn. Early Hum. Dev., 91, 623-628.
- Moinecourt M., 2003. L'alimentation en calcium chez la truie reproductrice. Thèse vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 91 p
- Ngo T.T., Quiniou N., Heugebaert S., Paboeuf F., Dourmad J.Y., 2012. Influence du rang de portée et du nombre de porcelets allaités sur la production laitière des truies. Journée Rech. Porcine, 44, 195-196.
- Quiniou N., Boudon A., Moinecourt M., Priymenko N., Narcy A., 2021. Modélisation du besoin en calcium de la truie reproductrice et variation du rapport phosphocalcique des aliments selon le niveau de performance. INRAE Prod. Anim., 34, 61-78.