

Effets des sources et voies d'administration du cuivre et des vitamines A et D sur le statut postnatal de ces micronutriments chez les porcelets sous la mère

J. Jacques MATTE (1), Isabelle AUDET (1), Bazoumana OUATTARA (1), Nathalie BISSONNETTE (1), Guylaine TALBOT (1), Jérôme LAPOINTE (1), Frédéric GUAY (2), Luca LO VERSO (1), Martin LESSARD (1)

(1) Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement de Sherbrooke, 2000 Rue Collège, Sherbrooke, QC, Canada J0B 1L0

(2) Université Laval, Département des sciences animales, Pavillon Paul-Comtois, 2425, rue de l'Agriculture, local 1122, Québec, QC, Canada G1V 0A6

jacques.matte@agr.gc.ca

Effets des sources et voies d'administration du cuivre et des vitamines A et D sur le statut postnatal de ces micronutriments chez les porcelets sous la mère.

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de stratégies néonatales de supplémentation en cuivre et vitamines A et D chez le porcelet. Cinq paires de porcelets ont été formées à l'intérieur de portées de truies nullipares recevant un aliment conventionnel de gestation et de lactation enrichi ($n = 13$) ou non ($n = 13$) en ces micronutriments. Dans chaque portée, chaque paire recevait à 2 et 8 jours d'âge, l'une des combinaisons de sources et voies d'administration suivantes: sources conventionnelles orales (T1), sources non-conventionnelles orales (T2), exposition au rayonnement UVB et sources non-conventionnelles orales de cuivre et vitamine A (T3), vitamines A et D intramusculaires et source non-conventionnelle orale de cuivre (T4) et saline orale (CTRL). Le complément à la truie a eu peu ou pas d'impact sur le cuivre, le rétinol (indicateur de vitamine A) et le 25-hydroxy-calciférol (indicateur de vitamine D) sériques et hépatiques des porcelets. Par contre, pour les suppléments directement administrés aux porcelets, le cuivre hépatique était 38 % plus élevé chez les porcelets traités par rapport aux CTRL ($P < 0,01$), le rétinol hépatique était 3 fois plus élevé chez les porcelets T1 que les CTRL ($P < 0,01$) et intermédiaire pour les autres traitements alors que le 25-hydroxy-calciférol sérique était maximisé chez les T2 à 8 jours et chez les T3 à 21 jours d'âge (interaction traitement \times âge, $P < 0,01$). L'administration orale de cuivre et vitamines A et D ainsi que le rayonnement UVB se sont avérés des moyens efficaces pour accroître le statut postnatal de ces micronutriments chez les porcelets jusqu'au sevrage. Pour les vitamines A et D, la source devrait également être prise en considération.

Effects of sources and routes of administration of copper and vitamins A and D on postnatal status of these micronutrients in suckling piglets.

The present study aimed to determine the efficiency of neonatal strategies of supplementations in copper and vitamins A and D in piglets. Five couples of piglets were selected within litters of nulliparous sows fed conventional gestation and lactation diets supplemented ($n = 13$) or not ($n = 13$) with these micronutrients. In each litter, each couple received at 2 and 8 days of age one combination of micronutrient sources and routes of administration as follows: conventional sources given orally (T1), non-conventional sources given orally (T2); UVB light exposure and non-conventional sources of copper and vitamin A given orally (T3); vitamins A and D given intramuscularly and non-conventional sources of copper given orally (T4); oral saline (CTRL). Dietary supplements to sows had no or slight impacts on copper, retinol (vitamin A indicator) and 25-hydroxy-calciferol (vitamin D indicator) in blood serum and liver of piglets. However, for supplements directly administered to piglets, hepatic copper was globally 38 % greater in treated piglets as compared to CTRL ($P < 0.01$), hepatic retinol was 3 times greater in T1 than in CTRL ($P < 0.01$) and intermediary for the other treatments whereas serum 25-hydroxy-calciferol was maximized with T2 at 8 days and T3, at 21 days of age (interaction treatment \times age, $P < 0.01$). Oral administrations of copper and vitamins A and D as well as UVB light exposure were efficient ways of increasing the postnatal status of these micronutrients in piglets up to weaning. For oral vitamins A and D, sources also matter and should be taken into account.

INTRODUCTION

En conditions usuelles d'élevage porcin, la période de dépendance nutritionnelle maternelle représente environ la moitié du cycle de vie d'un porc charcutier (depuis la conception intra-utérine jusqu'à l'abattage). En effet, la durée des phases combinées de gestation et lactation, 135 à 145 jours, est approximativement équivalente, à l'ensemble des différentes phases de vie post-sevrage. L'efficacité du transfert maternel de nutriments apparaît donc déterminante pour la santé et la performance de croissance de ces animaux. Pour les micronutriments, vitamines et minéraux trace, nous disposons encore à ce jour de bien peu d'information à ce sujet (Matte et Lauridsen, 2013).

Une étude récente menée dans nos laboratoires a révélé que le transfert maternel périnatal de certains micronutriments chez le porcelet pourrait ne pas être optimal (Matte *et al.*, 2014). Cette étude a mis en évidence le fait que le transfert périnatal de vitamine A, de vitamine D, de fer, de cuivre et de sélénium sont probablement inadéquats dans des conditions classiques d'élevage. Pour le fer et le sélénium, des stratégies de complémentation sont bien connues et appliquées en élevage. Par contre, ce n'est pas le cas pour le cuivre et les vitamines A et D. Les concentrations sériques de ces micronutriments chez les porcelets après la période colostrale sont substantiellement plus faibles que celles de leur mère en fin de gestation, de 30 % pour le cuivre, 52 % pour la vitamine A et 80 % pour la vitamine D. Cette situation est préoccupante pour les premières semaines de vie du porcelet car le lait de la truie est généralement reconnu pour être pauvre en ces micronutriments (Matte et Lauridsen, 2013). Ces trois micronutriments sont reconnus pour leur rôle dans plusieurs fonctions métaboliques qui peuvent être critiques chez le jeune porcelet comme la capacité anti-oxydante et le développement du système osseux et du système immunitaire (Le Grusse et Watier, 1993; Cousins, 1985).

Outre ces conséquences potentiellement néfastes, nous pouvons également s'interroger sur les causes de ce déficit de transfert maternel de ces trois micronutriments. Matte *et al.* (2014) ont émis l'hypothèse que le mode de logement à l'intérieur de bâtiments qui s'est généralisé au cours de la deuxième moitié du siècle dernier dans les pays producteurs de porcs serait à l'origine de ce déficit. En effet, en conditions naturelles, à l'extérieur, ces micronutriments sont, en fait, disponibles en abondance parce que 1) la présence des rayons UV permet la conversion de la vitamine D en métabolites biologiquement actifs, un mécanisme particulièrement efficace chez le porc (Cooper *et al.*, 1997), 2) le β -carotène des plantes (un précurseur de vitamine A) peut être absorbé et stocké efficacement par le porcelet (Schweigert *et al.*, 1995) et 3) l'accès au sol peut être une source de minéraux mineurs, notamment le cuivre, tel qu'évoqué pour le fer (Pond et Maner, 1984).

La présente expérience a donc été entreprise afin de mettre au point une stratégie de supplémentation néonatale en ces trois micronutriments pour pallier au déficit apparent chez les porcelets logés en bâtiments. Différentes sources et modes d'administration ont été évalués afin de déterminer les combinaisons les plus efficaces pour maximiser le statut postnatal en cuivre ainsi qu'en vitamines A et D chez les porcelets sous la mère.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Les animaux et la collecte des échantillons

Pour réaliser ce projet, des truies nullipares ont été inséminées afin d'obtenir 26 truies gestantes ayant une taille de portée minimale de 10 porcelets (ajustée à un maximum de 12). Les truies ont reçu des aliments de gestation et lactation dont la composition est décrite au tableau 1. La prise alimentaire a été limitée à 2,7 kg par jour jusqu'au jour 110 de gestation et à 3,7 kg par jour jusqu'à la mise-bas. Les truies étaient alimentées à volonté pendant la lactation. À partir du jour 90 de gestation, 13 truies ont reçu un complément alimentaire journalier de 25-hydroxy-calciférol (4 μ UI), β -carotène (24 μ UI) et de protéinate de cuivre (45 mg) jusqu'à la mise bas. Pendant la lactation, ces doses étaient multipliées par deux. Cet ajout en fin de gestation et en lactation permettait d'approximativement doubler l'apport journalier de vitamines A, D et de cuivre reçues par les truies. Des prélèvements sanguins ont été effectués à l'aide de tubes Vacutainer® spécifiques pour la mesure des minéraux mineurs (Girard *et al.*, 1996) sur les truies à 89 (GJ89) et à 110 jours de gestation (GJ110) ainsi qu'au lendemain du sevrage (LJ22) pour évaluer les concentrations en vitamine A, vitamine D et cuivre. Le poids des animaux a aussi été noté lors de ces prélèvements. Des échantillons de lait ont été recueillis au jour 14 de lactation après injection d'ocytocine (i.v., 20 UI).

Différentes stratégies de supplémentations directes aux porcelets ont été étudiées. Cinq paires de porcelets ont été formées à l'intérieur de chaque portée et assignées à l'un des 5 traitements correspondant à des stratégies différentes d'apports et d'administration des trois micronutriments à l'âge de 2 (J2) et 8 jours (J8). Les traitements étaient les suivants :

T1) Acétate de rétinol (70 μ UI), vitamine D3 (12 μ UI) et sulfate de cuivre (équivalent 12 mg) par voie orale à J2 et J8 (33 et 67 % de la dose, respectivement)

T2) β -carotène (70 μ UI), 25-hydroxy-calciférol (12 μ UI) et protéinate de cuivre (équivalent 12 mg) par voie orale à J2 et J8 (33 et 67 % de la dose, respectivement)

T3) Palmitate de rétinol (70 μ UI), 20 minutes de rayonnement UVB (à tous les 2 jours de 3 à 19 jours d'âge) et gluconate de cuivre (équivalent 12 mg) par voie orale à J2 et J8 (33 et 67 % de la dose, respectivement)

T4) Vitamine A (70 μ UI) et vitamine D3 (12 μ UI) par voie intramusculaire, et acétate de cuivre (équivalent 12 mg) par voie orale à J2 et J8 (33 et 67 % de la dose, respectivement)

CTRL) Solution saline (0,9 %) par voie orale à J2 et J8 (0.5 et 1 mL, respectivement)

Concernant la source de vitamine D pour le traitement T3, les deux porcelets d'une portée soumis à ce traitement étaient déplacés dans un petit enclos muni d'une lampe UVB de 40 watts placée à 1,2 m du sol tel que décrit par Cooper *et al.* (1997). Ils étaient exposés à ce rayonnement pendant 20 minutes tous les deux jours entre 3 et 19 jours d'âge. Des prélèvements sanguins ont été effectués sur tous les porcelets à J2, J8 et au jour 21 (J21) afin de mesurer les concentrations en vitamine A, vitamine D et cuivre. Leur poids a été mesuré à la naissance ainsi qu'à J2, J8 et J21. Ils ont été sevrés à J21. Deux jours plus tard, à 23 jours d'âge, 50 porcelets correspondant à 5 répétitions de la combinaison des traitements administrés aux truies et aux porcelets (2 x 5) ont

été sacrifiés. Des échantillons de foie et de tractus digestif ont alors été recueillis pour des mesures relatives au statut en micronutriments, à la capacité anti-oxydante, au système immunitaire et au microbiote intestinal. Seules les données relatives au statut en micronutriments dans le pool hépatique sont présentées dans ce rapport.

1.2. Les mesures analytiques

Tous les échantillons recueillis ont été conservés à -80°C. Les concentrations de cuivre dans le sérum, le lait et le foie ont été dosées en duplicata par absorption atomique (324 nm) selon une méthode adaptée de Dawson *et al.* (1968). Pour les métabolites des vitamines A (rétinol) et D (25-hydroxy-calciférol), ils ont été mesurés par HPLC simultanément sur le même échantillon (sérum, lait ou foie) par une méthode développée dans nos laboratoires pour le lait et à partir de celles reportées par Horst *et al.* (1981) pour le sérum et Jensen *et al.* (1999) pour les échantillons de foie.

Tableau 1 – Composition des aliments de gestation et de lactation.

Aliments	Gestation	Lactation
Ingrédients, %		
Maïs	59,14	65,08
Gru rouge	18,80	-
Écailles de soja	10,00	-
Drèches de maïs	7,90	-
Tourteau de soja (48% PB)	-	23,10
Tourteau de canola	1,10	6,00
Chaux	1,41	1,86
Sel	0,53	0,50
Phosphate monocalcique	0,37	1,23
Gras	-	1,50
Prémélange minéral ¹ et vitaminique ²	0,30	0,30
L-Lysine	0,24	0,21
Chlorure de choline	0,08	0,08
Anti-moisissure	0,05	0,05
L-Thréonine	0,08	0,05
Méthionine	-	0,04
Composition calculée		
Énergie métabolisable, MJ/kg	10,91	12,54
Protéine brute, %	11,11	17,98
Lysine totale, %	0,59	1,08
Calcium, %	0,69	0,99
Phosphore total, %	0,47	0,58

¹Équivalent par kg d'aliment à : manganèse, 37 mg ; zinc, 143 mg ; fer, 125 mg ; cuivre, 16 mg ; iode, 2,05 mg ; sélénium, 303 µg.

²Équivalent par kg d'aliment à : Vitamine A, 9 984 UI ; Vitamine D₃, 1440 UI ; Vitamine E, 60 UI ; ménadione, 2,5 mg ; thiamine, 2,0 mg ; riboflavine, 6,0 mg ; niacine, 40 mg ; acide pantothénique, 20 mg ; acide folique, 7,5 mg ; pyridoxine, 2,5 mg ; biotine, 400 µg ; vitamine B₁₂, 20 µg.

1.3. Les analyses statistiques

Les données ont été analysées selon un dispositif en split-plot (2 × 5) avec les supplémentations (ou non) aux truies comme traitement principal et ceux aux porcelets (T1, T2, T3, T4 et CTRL) comme sous-traitements. Pour les mesures répétées, le stage de gestation ou de lactation (truies) ou l'âge (porcelets),

a été ajouté au modèle statistique. Pour les mesures non-répétées des traitements aux porcelets, un test de comparaison de moyennes deux à deux (Tukey-Kramer) a été utilisé. La paire d'animaux choisie pour les traitements administrés aux porcelets était considérée comme l'unité expérimentale pour les mesures *in vivo* alors que pour les mesures hépatiques, il s'agissait du porcelet individuel sacrifié pour les 5 répétitions de chaque combinaison de traitements. Les effets du modèle statistique étaient considérés significatifs à $P \leq 0,05$, et les tendances à $0,05 < P \leq 0,10$.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Aucun effet de traitement ($P > 0,12$) n'a été noté sur la taille de la portée, l'évolution du poids des truies ou celle du poids des porcelets pendant la période expérimentale. Globalement, la taille de la portée (nés totaux) était de 13,2 avec une erreur standard de la moyenne (ESM) $\leq 0,6$ porcelets. Les poids des truies à GJ89 et GJ110 ainsi qu'à LJ22 étaient respectivement de 217,9, 239,9 et 192,4 kg (ESM $\leq 2,1$ kg). Les poids des porcelets étaient respectivement de 1,67, 3,10 et 6,83 kg (ESM $\leq 0,08$ kg) à J2, J8 et J21.

2.2. Le statut en micronutriments des truies

Les concentrations sériques en rétinol, 25-hydroxy-calciférol et cuivre selon les traitements administrés aux truies pendant la période expérimentale sont présentées au tableau 2. Aucun effet de traitement n'a été observé sur l'évolution du cuivre sérique pendant la période expérimentale. Il en était de même

Tableau 2 – Concentrations sériques en rétinol, 25-hydroxy-calciférol et cuivre chez les truies pendant la période expérimentale

Micronutriment / Stade de gestation-lactation	Traitements aux truies		
	Non-enrichi ¹	Enrichi ¹	ESM ²
Cuivre (µg/mL)³			
GJ89 ⁴	2,35	2,34	0,07
GJ110 ⁴	2,34	2,28	0,06
LJ22 ⁴	2,13	2,23	0,07
Rétinol (ng/mL)⁵			
GJ89	193,8	211,7	15,6
GJ110	251,4	272,2	20,2
LJ22	424,3	346,9	31,4
25-hydroxy-calciférol (ng/mL)⁶			
GJ89	30,2	32,5	2,0
GJ110	29,0	59,5	4,0
LJ22	44,2	103,9	5,8

¹L'aliment de gestation et de lactation était enrichi (S, n=13) ou non (C, n=13) avec des suppléments de 25-hydroxy-calciférol, β-carotène et Cu-protéinate à partir de 90 jours de gestation jusqu'au sevrage à 21 jours de lactation (voir la section 1. MATÉRIEL et MÉTHODES).

²Erreur standard de la moyenne. ³Effet du jour ($P < 0,01$).

⁴Prélèvement de sang à 89 (GJ89) et 110 jours de gestation (GJ110) ainsi qu'au lendemain du sevrage (LJ22).

⁵Effet du jour ($P < 0,01$) et interaction traitement truie × jour ($P = 0,10$).

⁶Effet du traitement truie, du jour et interaction traitement truie × jour ($P < 0,01$). Pour l'effet « slice » de l'interaction, les moyennes étaient significativement différentes ($P < 0,05$) à GJ110 et LJ22.

pour le rétinol bien qu'une tendance pour des concentrations plus faibles semble se dessiner pour les truies supplémentées ($P = 0,10$).

Cette absence d'effet de traitement pour le rétinol et le cuivre n'était pas inattendue parce que le sérum n'est pas considéré comme un pool majeur de réserve pour ces deux micronutriments (Surlés *et al.*, 2006; Feng *et al.*, 2007).

Pour le 25-hydroxy-calciférol du sérum, le principal indicateur du statut en vitamine D de l'animal (Le Grusse et Watier, 1993), l'effet du complément alimentaire était significatif dès GJ110 (effet SLICE de l'interaction traitement truie \times jour, $P < 0,01$). À LJ22, les concentrations étaient au moins deux fois plus élevées chez les truies supplémentées comparativement aux non-supplémentées. Cet effet de traitement est en accord avec des travaux précédents (Lauridsen *et al.*, 2010; Coffey *et al.*, 2012; Weber *et al.*, 2014).

En ce qui a trait au lait, les concentrations en cuivre avaient tendance à être plus élevées chez les truies supplémentées (1,28 $\mu\text{g}/\text{mL}$) que chez les non-supplémentées à (1,15 $\mu\text{g}/\text{mL}$) ($P < 0,06$, $\text{ESM} \leq 0,48$). Par ailleurs, pour le rétinol du lait, aucune différence n'a été observée ($P > 0,85$), la moyenne globale étant de 473,9 ng/mL ($\text{ESM} = 49,6$) (données détaillées non-présentées). Pour la vitamine D du lait, l'effet marqué des traitements observé dans le sérum sanguin ne s'est pas répercuté sur les concentrations dans le lait, aucune différence n'ayant été observée ($P > 0,54$). En fait, il semble que le transfert de cette vitamine vers la glande mammaire soit sévèrement limité chez la truie car, globalement, la concentration moyenne de 2,8 ng/mL dans le lait ($\text{ESM} = 0,4$) (données détaillées non-présentées), est au moins 10 fois plus basse que celle dans le sérum (Tableau 2).

2.3. Le statut en micronutriments des porcelets

2.3.1. Le cuivre

La concentration du cuivre sérique chez les porcelets s'est accrue entre l'âge de 2 et 8 jours, de 0,91 à 2,16 $\mu\text{g}/\text{mL}$ et s'est stabilisée par la suite entre 8 et 21 jours à 2,14 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (effet âge, $P < 0,01$, $\text{ESM} \leq 0,03$). Aucun effet de traitements aux truies ou d'interaction avec les traitements aux porcelets n'a été observé sur l'évolution du cuivre sérique entre J2 et J21 ($P > 0,56$). Cependant, dans le cas des suppléments administrés directement aux porcelets, un effet transitoire a été observé à J8, les valeurs étant alors légèrement plus élevées d'approximativement 6,5 % avec le traitement 4 (cuivre acétate). Toutefois, cette réponse ne persistait pas car aucun effet n'a été détecté à J21 (effet SLICE de l'interaction traitement porcelet \times âge, $P < 0,01$, données détaillées non-présentées).

En ce qui a trait au cuivre hépatique mesuré chez les porcelets à 23 jours d'âge, aucun effet du traitement truie ($P > 0,53$) n'a été observé alors qu'un effet marqué des traitements aux porcelets a pu être mis en évidence (Tableau 3). En effet, les valeurs chez les porcelets T1, T2, T3 et T4 étaient globalement 38 % plus élevées que chez ceux du traitement CTRL (93,8 vs 68,1 $\mu\text{g}/\text{g}$, effet du traitement porcelet, $P < 0,01$) (Tableau 3). Les réponses aux traitements T1, T2, T3 et T4 variaient selon les traitements administrés aux truies (interaction traitement truie \times traitement porcelet, $P < 0,02$, données détaillées non-présentées). Ces effets marqués des traitements aux porcelets sur les concentrations hépatiques de cuivre comparativement à celles du sérum sanguin suggère que le pool hépatique est un indicateur plus fiable de l'apport alimentaire et du statut

postnatal en cuivre du jeune porcelet sous la mère. Cette réponse est en accord avec ce qui a été mentionné plus tôt pour les truies et avec la littérature concernant plus généralement le métabolisme du cuivre chez les mammifères (Cousins, 1985).

Il apparaît donc que toutes les sources de cuivre offertes aux porcelets ont été efficaces pour augmenter le statut en cuivre des porcelets pendant la période de lactation, un léger avantage non significatif d'un peu plus de 7 % étant observé avec le protéinate de cuivre.

2.3.2. La vitamine A

La concentration du rétinol sérique s'est accrue entre J2 et J8, de 147,0 à 295,8 ng/mL et s'est stabilisée par la suite à 302,1 ng/mL entre J8 et J21 (effet âge, $P < 0,01$, $\text{ESM} \leq 11,0$). Aucun effet de traitement ou interaction n'a été observé ($P > 0,28$) sur l'évolution du rétinol sérique entre la naissance et 21 jours d'âge (données détaillées non-présentées).

Tableau 3 – Concentrations hépatiques en cuivre et rétinol chez les porcelets à 23 jours d'âge (2 jours après le sevrage)

Traitements aux porcelets / Source de cuivre ¹	Cuivre hépatique, $\mu\text{g}/\text{g}^2$	Traitements aux porcelets / Source de vitamine A ¹	Rétinol hépatique, $\mu\text{g}/\text{g}^3$
T1 / Sulfate de cuivre	92,2 ^b	T1 / Acétate de rétinol	321,5 ^c
T2 / Protéinate de cuivre	102,0 ^b	T2 / β -carotène	109,1 ^a
T3 / Gluconate de cuivre	94,9 ^b	T3 / Palmitate de rétinol	214,8 ^b
T4 / Acétate de cuivre	86,1 ^b	T4 / Vitamine A intramusculaire	166,8 ^{ab}
CTRL / Solution saline, contrôle	68,1 ^a	CTRL / Solution saline, contrôle	103,8 ^a
ESM ⁴	8,0	ESM ⁴	20,5

¹L'administration des sources de vitamine A et de cuivre a été faite aux porcelets par voie orale (à moins d'indications contraires) et correspondaient à 70 μUI et 12 mg, respectivement, répartis en 2 doses représentant 33 % du total à l'âge de 2 jours et 67 % à l'âge de 8 jours (voir la section 1. MATÉRIEL et MÉTHODES).

²Effet du traitement porcelet ($P < 0,01$) et interaction traitement truie \times traitement porcelet ($P < 0,02$). À l'intérieur de la colonne, les moyennes avec la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$).

³Effet du traitement porcelet ($P < 0,01$). À l'intérieur de la colonne, les moyennes avec la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$).

⁴Erreur standard de la moyenne.

En ce qui a trait au rétinol hépatique mesuré chez les porcelets à 23 jours d'âge, aucun effet du traitement truie ($P > 0,17$) n'a été observé alors qu'un effet marqué des traitements aux porcelets a pu être mis en évidence (Tableau 3). En effet, les valeurs chez les porcelets supplémentés du traitement 1 étaient trois fois plus élevées que chez ceux du traitement CTRL (321,5 vs 103,8 $\mu\text{g}/\text{g}$) alors que celles des autres traitements étaient numériquement ou significativement intermédiaires (effet du traitement porcelet, $P < 0,01$). Des

effets marqués de suppléments similaires de vitamine A aux porcelets sur les valeurs de rétinol du foie comparativement à celles du sérum sanguin ont également été observés par Surles *et al.* (2007) chez des porcelets sevrés entre 9 et 14 jours d'âge.

Le pool hépatique de rétinol apparaît donc comme un indicateur fiable de l'apport et du statut postnatal en vitamine A et il est dépendant du mode d'administration ou de la source de vitamine A orale. L'apport oral d'acétate de rétinol apparaît comme le plus efficace à cet égard.

2.3.1. La vitamine D

La concentration du 25-hydroxy-calciférol sérique s'est accrue avec l'âge des porcelets (effet âge, $P < 0,01$) (Tableau 4) et elle était globalement plus élevée chez les porcelets issus de truies recevant l'aliment enrichi en fin de gestation et lactation (15,3 vs 13,1 ng/mL, effet du traitement truie, $P < 0,02$, ESM $\leq 0,6$). La réponse aux traitements administrés directement aux porcelets était plus marquée que celle induite par les suppléments à la truie. À J8, la concentration maximale du 25-hydroxy-calciférol sérique était observée chez les porcelets recevant le traitement T2 et elle était alors au moins 2,5 fois plus élevée que chez ceux des traitements CTRL et T4 (24,3 vs 6,8 et 9,2 ng/mL); les valeurs pour les autres traitements étaient intermédiaires (T1 > T3) (Tableau 4). À J21, bien que les effets des traitements aux porcelets soient toujours détectés, ils se sont modifiés par rapport à ceux observés à J8 (effet SLICE de l'interaction traitement porcelet \times âge, $P < 0,01$, au tableau 4). La concentration de 25-hydroxy-calciférol sérique chez les porcelets du traitement T3 était alors supérieure à celles des autres traitements et les valeurs étaient au moins 2 fois plus élevées que chez les porcelets du traitement CTRL (20,8 vs 9,1 ng/mL). En ce qui concerne le 25-hydroxy-calciférol hépatique, aucune donnée n'est disponible car ce métabolite s'est avéré indétectable dans le foie des porcelets. Lors de travaux antérieurs, le 25-hydroxy-calciférol a pu être détecté par spectrophotométrie de masse dans le foie de porcs plus âgés (6 mois) mais les valeurs sont toutefois très faibles (Fairweather *et al.*, 2013). A notre connaissance, il n'existe pas d'information dans la littérature sur la concentration hépatique de 25-hydroxy-calciférol chez des porcelets. En fait, le pool sanguin sérique ou plasmatique de 25-hydroxy-calciférol est généralement considéré comme un indicateur fiable de l'apport en vitamine D provenant de l'aliment ou de la synthèse induite par le rayonnement solaire chez le porc (Fairweather *et al.*, 2013). Dans la présente expérience, l'apport oral en vitamine D est efficace et ce, plus que l'apport intramusculaire, pour augmenter à court terme le statut en vitamine D des porcelets mais le bénéfice est de courte durée puisque l'effet s'estompe avant la fin de la lactation. Les valeurs, suite à l'apport oral, demeurent tout de même significativement plus élevées de 30 % par rapport aux porcelets non-traités mais elles sont considérablement plus basses que celles de leur mère. Le rayonnement UVB répété pendant la lactation apparaît comme le seul traitement qui permet une augmentation graduelle et continue des concentrations de 25-hydroxy-calciférol jusqu'au sevrage.

CONCLUSION

Cette étude a donc permis de mettre en évidence que le statut postnatal en cuivre, vitamine A et vitamine D peut être amélioré chez le porcelet sous la mère. Le pool hépatique apparaît comme un indicateur fiable de la mesure du statut en

cuivre et en vitamine A alors que le sérum sanguin semble le plus approprié pour la vitamine D.

La supplémentation à la truie en fin de gestation ou pendant la lactation pour augmenter le transfert de ces micronutriments de la truie aux porcelets n'apparaît pas comme un moyen aussi efficace que la supplémentation directe aux porcelets. Le mode d'administration aux porcelets par voie orale et par le rayonnement UVB (pour l'apport en vitamine D) peuvent être considérés comme des moyens à privilégier afin de maximiser le statut en cuivre et en vitamine A et D chez le porcelet jusqu'au sevrage. Pour les vitamines A et D, la source devrait également être prise en considération.

Tableau 4 – Évolution des concentrations sériques en 25-hydroxy-calciférol (ng/mL) de la naissance jusqu'au sevrage

Traitements aux porcelets / Source de vitamine D ^{1,2}	Âge des porcelets (jours)		
	2	8	21
T1 / Vitamine D ₃	0,8	19,8 ^c	12,3 ^b
T2 / 25-hydroxy-calciférol	0,4	24,3 ^d	11,8 ^b
T3 / Exposition aux UVB	0,8	15,9 ^b	20,8 ^c
T4 / Vitamine D ₃ intramusculaire	0,4	9,2 ^a	11,1 ^{ab}
CTRL / Solution saline, contrôle	1,0	6,8 ^a	9,1 ^a
ESM ³	0,3	1,0	0,9

¹L'administration des sources de vitamine D a été faite aux porcelets par voie orale (à moins d'indications contraires) et correspondait à 12 kUI répartis en 2 doses représentant 33 % du total à l'âge de 2 jours et 67 % à l'âge de 8 jours. Le temps d'exposition au rayonnement UVB était de 20 minutes à tous les 2 jours entre 3 et 19 jours d'âge (voir la section 1. MATÉRIEL et MÉTHODES).

²Effet de l'âge, du traitement porcelet et interaction traitement porcelet \times âge ($P < 0,01$). Pour l'effet SLICE de l'interaction, les moyennes avec la même lettre en exposant à l'intérieur de la colonne, ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$).

³Erreur standard de la moyenne.

Cette expérience constituait le premier objectif d'un programme de recherche plus large dont les travaux sont présentement en cours de réalisation et qui vise à évaluer l'impact d'interventions nutritionnelles néonatales en cuivre et vitamines A et D sur les performances de croissance, le métabolisme de ces micronutriments et la robustesse des porcelets en périodes pré- et post-sevrage, ce dernier aspect étant estimé par des critères de mesure du développement de l'immunité, de la santé intestinale, de la capacité anti-oxydante et du microbiote entérique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Swine Innovation Porc ainsi que leurs partenaires privés associés pour ce projet, DSM Nutritional Products, Shur-Gain-Nutreco et Lallemand Animal Nutrition pour le soutien financier et logistique apporté à ce travail.

Les auteurs remercient également tout le personnel du Centre porcin d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Sherbrooke sous la supervision de Mélanie Turcotte pour le soin méticuleux aux animaux et la mise en place d'un système efficace et sécuritaire pour l'exposition des porcelets au rayonnement UVB.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Coffey J.D., Hines E.A., Starkey J.D., Starkey C.W., Chung T.K., 2012. Feeding 25-hydroxycholecalciferol improves gilt reproductive performance and fetal vitamin D status. *J. Anim. Sci.*, 90, 3783-3788.
- Cooper D.A., Berry D.A., Spendel V.A., Kiorpes A.L., Peters J.C., 1997. The domestic pig as a model for evaluating olestra's nutritional effects. *J. Nutr.*, 127(Suppl.), 1555S-1565S.
- Cousins R.J., 1985. Absorption, transport and hepatic metabolism of copper and zinc: special reference to metallothionein and ceruloplasmin. *Physiol. Rev.* 65, 238-309.
- Dawson J.B., Ellis D.J., Newton-John H., 1968. Direct estimation of copper in serum and urine by atomic absorption spectroscopy. *Clin. Chim. Acta*, 21, 33-42.
- Fairweather A.A.C., Eason C.T., Elder P.A., Eason C.M.F., Arthur D., 2013. Reference concentrations of cholecalciferol in animals: a basis for establishing non-target exposure. *New Zeal. J. Zool.*, 40, 280 - 289
- Feng J., Ma W.Q., Gu Z.L., Wang Y.Z., Liu J.X., 2007. Effects of dietary copper (II) sulfate and copper proteinate on performance and blood indexes of copper status in growing pigs. *Biol. Trace Elem. Res.*, 120, 171-178.
- Girard C.L., Robert S., Matte J.J., Farmer C., Martineau G.P., 1996. Serum concentrations of micronutrients, packed cell volume and blood hemoglobin during the first two gestations and lactations of sows. *Can. Vet. Res.*, 60, 179-185.
- Horst R.L., Littledike E.T., Riley J.L., Napoli J.L., 1981. Quantitation of vitamin D and its metabolites and their plasma concentrations in five species of animals. *Anal. Biochem.*, 116, 189-203.
- Jensen S.K., Engberg R.M., Hedemann M.S., 1999. All-rac-alpha-tocopherol acetate is a better vitamin E source than all-rac-alpha-tocopherol succinate for broilers. *J. Nutr.*, 129, 1355-1360.
- Lauridsen C., Halekoh U., Larsen T., Jensen S.K., 2010. Reproductive performance and bone status markers of gilts and lactating sows supplemented with two different forms of vitamin D. *J. Anim. Sci.*, 88, 202-13.
- Le Grusse J., Watier B., 1993. Les vitamines, données biochimiques, nutritionnelles et cliniques. Centre d'étude et d'informations sur les vitamines, Produits Roche, Neuilly-sur-Seine, France.
- Matte J.J., Lauridsen C., 2013. Vitamins and vitamin utilization in swine. In: Chiba, Lee L. (Eds), Sustainable Swine Nutrition, Book chapter 6, ISUP, John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2121 State, Ames, Iowa 50014 USA.
- Matte J.J., Audet I., Girard C.L., 2014. Le transfert périnatal des vitamines et minéraux mineurs de la truie à ses porcelets: au-delà d'une seule insuffisance en fer ? *Journées Rech. Porcine*, 46, 71-76.
- Pond W.G., Maner J.H., 1984. Lactation. In: *Swine Production and Nutrition*, p 147–155. The AVI Publishing Company Inc., Wesport, CT.
- Schweigert F.J., Rosival I., Rambeck W.A., Gropp J., 1995. Plasma transport and tissue distribution of [C-14]beta-carotene and [H-3]retinol administered orally to pigs. *Int. J. Vit. Nutr. Res.*, 65, 95-100.
- Surles R.L., Li J., Tanumihardjo, S.A., 2006. The modified-relative-dose-response values in serum and milk are positively correlated over time in lactating sows with adequate vitamin A status. *J. Nutr.*, 136, 939-945.
- Surles R.L., Mills J.P., Valentine A.R., Tanumihardjo S.A., 2007. One-time graded doses of vitamin A to weanling piglets enhance. *Am. J. Clin. Nutr.*, 86,1045–1053.
- Weber G.M., Witschi A.K., Wenk C., Martens H., 2014. Triennial Growth Symposium--Effects of dietary 25-hydroxycholecalciferol and cholecalciferol on blood vitamin D and mineral status, bone turnover, milk composition, and reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.*, 92, 899-909