

Le transfert périnatal des vitamines et minéraux mineurs de la truie à ses porcelets : au-delà d'une seule insuffisance en fer ?

J. Jacques MATTE, Isabelle AUDET, Christiane L. GIRARD

*Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de R & D sur le bovin laitier et le porc,
2000 Rue Collège, Sherbrooke, QC, Canada J0B 1L0.*

jacques.matte@agr.gc.ca

Avec la collaboration technique de M. GUILLETTE.

Le transfert périnatal des vitamines et minéraux mineurs de la truie à ses porcelets: au-delà d'une seule insuffisance en fer ?

Une approche simple a été utilisée afin d'estimer le transfert périnatal des vitamines et minéraux mineurs de la truie aux porcelets. Le transfert prénatal a été estimé par un ratio (R-u) entre les concentrations sériques pré-colostrales des micronutriments chez les porcelets naissants et celles chez la truie avant la mise bas. Le transfert post-natal a été estimé à partir du ratio (R-c) des concentrations sériques post- vs pré-colostrales des porcelets. Les données pour les vitamines A, D, E, C, B₉ et B₁₂ provenaient de la littérature et les autres, d'un essai avec 20 truies. Pour le zinc et les vitamines B₆ et B₈, le transfert prénatal était actif (R-u > 1, P < 0,01) comme pour les vitamines C et B₁₂. Pour la vitamine B₂, fer, cuivre et sélénium, il était limité (R-u < 1, P < 0,01) ainsi que pour les vitamines A, E, D et B₉. Le transfert prénatal était passif pour la vitamine B₃ (R-u = 1, P = 0,37). Le transfert post-natal était généralement actif (R-c > 1, P < 0,01) à l'exception des vitamines B₆ et B₈ (R-c < 1, P < 0,01). Globalement, le transfert périnatal (R-u et R-c) était limitant pour les vitamines A et D, fer, cuivre et sélénium. Le lait de truie étant pauvre en ces micronutriments, les porcelets sous la mère pourraient développer des carences autres que celle en fer, connue depuis longtemps. De nouvelles stratégies de suppléments néonatales en micronutriments sont possiblement nécessaires pour les porcelets d'aujourd'hui.

Maternal perinatal transfer of vitamins and trace elements from sows to piglets: more than an iron deficit?

A simple approach was set up to assess the importance of maternal perinatal transfer of vitamins and trace elements from sows to piglets. Prenatal transfer was estimated from the ratio (R-u) between pre-colostral serum concentrations of micronutrients in newborn piglets and the corresponding pre-farrowing values in sows. Post-natal transfer was estimated from another ratio (R-c) between post- vs pre-colostral serum concentrations of micronutrients in piglets. Data from literature were used for vitamins A, D, E, C, B₉ and B₁₂ whereas the others were derived from a trial using 20 sows. For zinc and vitamins B₆ and B₈, prenatal transfer was active (R-u > 1, P < 0.01) as well as for vitamins C and B₁₂. For vitamin B₂, iron, copper and selenium, prenatal transfer was limited (R-u < 1, P < 0.01) as for vitamins A, E, D and B₉. Prenatal transfer was passive for vitamin B₃ (R-u = 1, P > 0.37). After birth, the early post-natal transfer through colostrum was active for most micronutrients except for vitamins B₆ and B₈ (R-c < 1, P < 0.01). Globally, the perinatal transfer (combination of R-u and R-c) was favourable to the newborn piglets for most micronutrients except for vitamins A and D as well as iron, copper and selenium. Sow milk being a poor source of these micronutrients, during lactation, piglets may possibly experience nutritional deficits other than iron, well known for decades. New neonatal strategies of micronutrient supplementation to piglets may be required nowadays.

INTRODUCTION

En dépit d'avantages indéniables en termes de productivité des élevages, l'hyperprolificité chez la truie est souvent associée à une hétérogénéité intra-portée accrue du poids à la naissance et du développement des porcelets (Tribout *et al.*, 2003 ; Le Cozler *et al.*, 2004 ; Gondret *et al.*, 2005 ; Quesnel *et al.*, 2008a) de même qu'à des effets résiduels sur les performances de croissance ultérieures et même sur les caractéristiques de carcasse à l'abattage (Gondret *et al.*, 2005).

On a récemment évoqué que le transfert maternel périnatal de certains micronutriments pourrait ne pas être optimal en situation d'hyperprolificité (Matte et Lauridsen, 2013). Plusieurs micronutriments, en particulier des vitamines, ont été identifiés comme critiques pour différents aspects du développement des embryons en début de gestation (Mahan et Vallet, 1997 ; Matte *et al.*, 2006, 2009). Plus tard, pendant la gestation et la lactation, les apports en micronutriments aux fœtus et porcelets sont entièrement dépendants du transfert maternel par l'utérus, le colostrum et le lait. En production porcine classique, la durée de cette dépendance nutritionnelle maternelle est substantielle puisqu'elle représente environ la moitié du cycle de vie (conception-abattage) d'un porc. En effet, en termes de durée, les périodes de gestation et lactation combinées (135-145 jours) sont approximativement équivalentes à la période de vie post-sevrage (environ 135 jours). L'efficacité du transfert maternel de ces micronutriments apparaît donc comme cruciale mais l'information à ce sujet est soit fragmentaire soit inexistante pour plusieurs vitamines et minéraux (Matte et Lauridsen, 2013).

Ce projet visait donc à élaborer une approche simple permettant d'estimer l'importance relative du transfert *in utero* et colostrum des vitamines et minéraux mineurs. L'information nécessaire à l'élaboration de cette approche provenait, pour certains micronutriments, de la littérature scientifique disponible alors que pour les autres, un essai avec truies gravides a été mis en place afin de générer les données requises.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. L'approche

Le transfert prénatal a été estimé à partir d'un ratio (R-u) entre les concentrations sériques des micronutriments chez les porcelets à la naissance, avant la prise de colostrum, et celles chez la truie avant la mise bas. Des valeurs de R-u inférieures, égales ou supérieures à 1 sont respectivement considérées comme indicateurs de transfert limité, passif ou actif d'un micronutriment donné. Le transfert post-natal a été estimé à partir d'un autre ratio (R-c), cette fois entre les concentrations sériques post-colostrales (3 jours d'âge) et celles des porcelets naissants avant la prise de colostrum. Des valeurs de R-c inférieures, égales ou supérieures à 1 sont alors respectivement considérées comme indicateurs de transfert limité, neutre ou actif d'un micronutriment donné. Le ratio entre les concentrations sériques post-colostrales (3 jours d'âge) des micronutriments chez les porcelets et celles chez la truie avant la mise-bas (R-uc) permet d'estimer si le statut néonatal en micronutriments du porcelet suite aux transferts *in utero* et colostrum est inférieur, similaire ou supérieur (R-uc respectivement <, = ou > 1) à celui de sa mère en fin de gestation.

On assume alors que le statut de la mère est un repère correspondant à un niveau d'apports alimentaires adéquats en micronutriments.

Une partie des données servant au calcul de ces différents ratios ont été tirées de la littérature scientifique. Il s'agit des études de Håkansson *et al.* (2001) pour le rétinol ; Loudenslager *et al.* (1986), Håkansson *et al.* (2001), Pehrson *et al.* (2001) et Pinelli-Saavedra *et Scaife* (2005) pour la vitamine E ; Goff *et al.* (1984) pour la vitamine D ; Yen et Pond (1983) et Pinelli-Saavedra *et Scaife* (2005) pour la vitamine C ; Matte et Girard (1989) et Barkow *et al.* (2001) pour la vitamine B₉ (folates) ; et Simard *et al.* (2007) pour la vitamine B₁₂. Pour les autres vitamines et minéraux mineurs, les données ont été générées à partir d'un essai avec 20 truies en période néonatale.

1.2. Essai avec truies en période néonatale

1.2.1. Collecte des échantillons

Pour cette étude, 20 truies de 3^{ème} parité Yorkshire x Landrace ont été sélectionnées. À la saillie, elles ont été inséminées avec un mélange de semence de verrats Duroc. Pendant les périodes de gestation et de lactation, elles ont reçu un aliment commercial dont la composition est décrite au Tableau 1. À 110 jours de gestation (j110), les truies ont été déplacées en cage de mise bas après que des mesures de poids et de lard dorsal (site P2) aient été prises. Du sang a alors été prélevé sur chaque truie à l'aide de tubes (n = 3) Vacutainer (6 mL) spécifiques pour la mesure des minéraux mineurs (Girard *et al.*, 1996). Un échantillon de colostrum a également été prélevé en début de mise bas. Pendant la mise bas, les porcelets vivants de la portée ont été récupérés dès leur naissance, identifiés et transférés dans des boîtes de confort et de séchage. Un prélèvement de sang jugulaire (j0) a été effectué sur 8 porcelets ou plus de chaque portée, dans les 30 minutes suivant la naissance, à l'aide d'un tube Vacutainer (6 mL) spécifique pour la mesure des minéraux mineurs. Immédiatement après le prélèvement sanguin, les porcelets ont été pesés et remis sous la mère. À l'âge de 3 jours, un autre prélèvement de sang, similaire à celui effectué à j0 (j3), a été fait après que les porcelets de la portée aient été séparés de leur mère pour une période d'une heure (uniformisation de l'intervalle post-repas).

1.2.2. Les mesures analytiques

Pour la vitamine B₆, les concentrations sériques de pyridoxal-5-phosphate ont été mesurées selon une méthode fluorométrique adaptée de Srivastava et Beutler (1973) par Matte *et al.* (1997). Pour la vitamine B₃, les concentrations sériques de nicotinamide ont été mesurées par HPLC selon une méthode adaptée par Santschi *et al.* (2005). Pour la vitamine B₈, les concentrations sériques de biotine ont été mesurées à l'aide d'une trousse commerciale (Vitamin H, biotin ELISA, VITH. 96, MD Biosciences Inc., St. Paul, MN, USA) tel que décrit par Castellano *et al.* (2010). Quant à la vitamine B₂, la somme des métabolites sériques (flavine mononucléotide + flavine adénine dinucléotide + riboflavine) mesurés par HPLC est utilisée tel que décrit par Giguère *et al.* (2002).

Concernant les minéraux mineurs, les concentrations sériques de cuivre (Cu) et de fer (Fe) ont été mesurées à l'aide de troupes commerciales (Quantichrom™ Iron Assay kit DIFE-250 et Quantichrom™ Copper Assay kit DICU-250, BioAssay systems, Hayward, CA, USA). Les concentrations sériques de zinc (Zn) ont été mesurées par absorption atomique selon une

méthode adaptée d'Arnaud *et al.* (1986) alors que celles du sélénium (Se) l'ont été selon la méthode décrite par Giguère *et al.* (2005).

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

Aliments	Gestation ¹	Lactation ¹
Ingrédients, %		
Maïs	62,77	63,01
Gru rouge	12,00	-
Écailles de soja	10,60	-
Tourteau de canola	9,00	6,00
Tourteau de soja (48% PB)	2,60	23,80
Farine de biscuit	-	2,50
Chaux	1,31	1,89
Sel	0,67	0,44
Phosphate monocalcique	0,45	1,11
Gras	-	0,50
Prémélange minéral ² et vitaminique ³	0,30	0,30
L-Lysine	0,12	0,21
Chlorure de choline	0,10	0,10
Anti-moisissure	0,05	0,05
L-Thréonine	0,03	0,05
Méthionine	-	0,04
Composition calculée		
Énergie métabolisable, MJ/kg	12,50	12,59
Protéine brute, %	11,8	17,9
Lysine totale, %	0,62	1,09
Calcium, %	0,73	1,02
Phosphore total, %	0,47	0,59

¹Pour les fins d'une autre expérience, 10 truies recevaient pendant la gestation et la lactation des compléments à l'aliment équivalents à 1 mg/kg d'acide folique et 20 µg/kg de vitamine B₁₂ alors que les 10 autres recevaient 10 mg/kg d'acide folique et 200 µg/kg de vitamine B₁₂.

²Équivalent par kg d'aliment à : Mn, 44 mg ; Zn, 167 mg ; Fe, 142 mg ; Cu, 17 mg ; I, 2,27 mg ; Se, 333 µg.

³Équivalent par kg d'aliment à : Vitamine A, 11 100 IU ; Vitamine D₃, 1666 IU ; Vitamine E, 67 IU ; ménadione, 2,76 mg ; thiamine, 2,27 mg ; riboflavine, 6,67 mg ; niacine, 44 mg ; acide pantothénique, 22 mg ; pyridoxine, 2,79 mg ; biotine, 445 µg.

1.2.3. Les analyses statistiques

Ces analyses ont été faites avec les données générées à partir de l'essai avec 20 truies, la truie et sa portée (valeur moyenne des porcelets intra-portée) étant considérées comme unités expérimentales. Les ratios R-u, R-c et R-uc ont été calculés intra-portée et soumis à un test de T afin de déterminer s'ils sont inférieurs, similaires ou supérieurs à 1.

Tel qu'indiqué au Tableau 1, pour les fins d'une autre expérience, les truies recevaient pendant la gestation et la lactation des compléments à l'aliment équivalents à 1 mg/kg d'acide folique et 20 µg/kg de vitamine B₁₂ (n = 10 truies) ou 10 mg/kg d'acide folique et 200 µg/kg de vitamine B₁₂ (n = 10 truies). Les moyennes présentées au Tableau 2 correspondent toutefois à l'ensemble des truies (n = 20) car les traitements alimentaires n'ont eu aucun effet (P > 0,05) sur les différentes variables mesurées dans la présente étude.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Les animaux

Le poids et l'épaisseur de lard dorsal des truies à 110 jours de gestation étaient de 295,6 ± 4,6 kg et 20,3 ± 0,9 mm. À la mise bas, la taille et le poids global (nés totaux) de la portée étaient de 14,9 ± 0,9 porcelets et 19,4 ± 0,8 kg, respectivement alors que le poids moyen intra-portée des porcelets nés vivants était de 1,38 ± 0,06 kg.

Concernant les vitamines, trois d'entre elles ne sont pas présentées. Il s'agit des vitamines K, B₁ et B₅. À notre connaissance, les données requises pour la présente approche ne sont pas disponibles dans la littérature et nous n'étions pas en mesure de les mesurer dans le présent essai avec les animaux.

2.2. Le transfert prénatal

Les concentrations de micronutriments servant au calcul des ratios R-u sont présentées au Tableau 2. Le transfert prénatal était actif et donc favorable aux porcelets pour le Zn et les vitamines B₆ et B₈ (R-u > 1, P < 0,03); les données de la littérature montrent que c'est aussi le cas pour les vitamines C et B₁₂. En revanche, les ratios R-u indiquent que le transfert prénatal était limité pour huit des 14 micronutriments étudiés soit la vitamine B₂, le Fe, le Cu et le Se, (R-u < 1, P < 0,01) ainsi que les vitamines A, E, D et B₉. En ce qui a trait à la vitamine B₃, le transfert prénatal était passif, la valeur de R-u n'étant pas différente de 1 (P = 0,37).

Ces résultats viennent corroborer l'hypothèse avancée par Mahan et Vallet (1997) qui suggérait que, chez la truie gravide, le transfert *in utero* de la plupart des micronutriments n'est pas un simple mécanisme passif.

En ce qui a trait plus spécifiquement aux vitamines, il semble que le transfert des vitamines liposolubles de la mère à ses foetus pendant la période de gestation soit particulièrement faible alors que pour les vitamines hydrosolubles et la vitamine C, les structures placentaires favorisent plutôt ce transfert, exception faite des vitamines B₉ et B₂. Ce phénomène concernant les vitamines liposolubles pourrait être relié au métabolisme placentaire des lipides qui limite le transfert des acides gras de la mère aux foetus chez le porc (Ramsay *et al.*, 1991).

2.3. Le transfert post-natal

Les concentrations de micronutriments servant au calcul des ratios R-c sont également présentées au Tableau 2. Le transfert post-natal était actif pour 12 des 14 micronutriments étudiés, six d'entre eux ayant été mesurés dans le présent essai avec 20 truies (R-c > 1, P < 0,01). Les seules exceptions étaient les vitamines B₆ et B₈ (R/c < 1, P < 0,01). Ce résultat illustre bien le rôle général crucial du colostrum comme source de micronutriments pour le porcelet nouveau-né. Ce rôle du colostrum a déjà été évoqué, mais seulement pour certains micronutriments en particulier (Csapó *et al.*, 1995 ; Mahan et Vallet, 1997 ; Simard *et al.*, 2007 ; Peters *et al.*, 2009). Les deux exceptions que sont la B₆ et la B₈ sont probablement à relier au fait que, contrairement à la plupart des micronutriments étudiés, le colostrum est relativement pauvre en B₆ (Pond et Maner, 1984) et similaire en B₈ (Bryant *et al.*, 1984 ; Matte *et al.*, données non-publiées) comparativement au lait.

2.4. Le transfert périnatal

Le transfert périnatal des micronutriments étudiés a été calculé (R-uc) et est présenté au Tableau 2. Tel que mentionné précédemment, cet indicateur permet de comparer le statut en micronutriments du porcelet à 3 jours d'âge à celui de sa mère en fin de gestation.

On considère alors que le statut de la mère est un repère correspondant à un niveau d'apports alimentaires adéquats en micronutriments. Le transfert périnatal était favorable aux jeunes porcelets pour neuf des 14 micronutriments étudiés dont cinq sont mesurés dans le présent essai avec 20 truies (R-c > 1, P < 0,01).

Dans certains cas, un transfert prénatal limité était compensé par le transfert post-natal (vitamines E et B₂) alors que pour d'autres, le transfert prénatal actif ou passif s'additionnait (vitamine C, B₁₂, B₃ et Zn) ou n'était pas affecté (vitamines B₆ et B₈) par le transfert post-natal. Par contre, pour cinq des 14 micronutriments étudiés, le transfert prénatal limité n'était pas compensé par le transfert post-natal. Les données de la littérature montrent que les ratios R-uc sont inférieurs à 1 pour les vitamines A et D alors que celles du présent essai avec 20 truies indiquaient que c'est également le cas pour le Fe, le Cu et le Se (R-c < 1, P < 0,01).

Tableau 2 - Concentrations sériques des vitamines et minéraux mineurs chez la truie en fin de gestation (j110) et ses porcelets (moyennes intra-portée) à la naissance (j0) avant colostrum et à 3 jours d'âge (j3).

Micronutriment ¹	Concentration sérique de la truie (j110)	Concentration sérique de la portée (j0)	Concentration sérique de la portée (j3)	Transfert prénatal, j0 / j110 (R-u) ⁴	Transfert post-natal, j3 / j0 (R-c) ⁵	Transfert périnatal, j3 / j110 (R-uc) ⁶
Vitamine A, µM ¹	0,95	0,25	0,67	0,26	2,7	0,70
Vitamine E, µM ¹	5,4	2,4	11,3	0,44	4,7	2,1
Vitamine D, nM ¹	110,0	12,2	21,6 ³	0,11	1,8	0,20
Vitamine C, µM ¹	25,6	74,4	303,9	2,9	4,1	11,9
Vitamine B ₉ , µM ¹	0,24	0,13	0,40	0,54	3,1	1,7
Vitamine B ₁₂ , nM ¹	0,10	0,44	0,89	4,4	2,0	8,9
Vitamine B ₂ , µM ²	0,25 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,51 ± 0,01	0,68	3,0	2,0
Vitamine B ₃ , µM ²	1,70 ± 0,08	1,67 ± 0,09	6,76 ± 1,00	1,0	4,0	4,0
Vitamine B ₆ , µM ²	0,91 ± 0,02	4,62 ± 0,17	1,56 ± 0,04	5,1	0,34	1,8
Vitamine B ₈ , nM ²	11,0 ± 0,5	86,8 ± 4,4	19,7 ± 2,2	7,9	0,23	1,8
Fer, µM ²	38,1 ± 2,0	23,6 ± 0,9	30,8 ± 1,9	0,62	1,3	0,8
Zinc, µM ²	9,1 ± 0,2	11,9 ± 0,7	18,6 ± 0,8	1,3	1,6	2,0
Cuivre, µM ²	31,7 ± 0,8	9,4 ± 0,4	15,1 ± 0,6	0,30	1,6	0,48
Sélénium, µM ²	2,02 ± 0,06	0,71 ± 0,02	0,98 ± 0,04	0,36	1,4	0,49

¹ Rétinol (Håkansson et al., 2001) ; vitamine E (Håkansson et al., 2001 ; Loudenslager et al., 1986 ; Pinelli-Saavedra et Scaife, 2005 ; Pehrson et al., 2001) ; vitamine D (Goff et al., 1984) ; vitamine C (Pinelli-Saavedra et Scaife, 2005 ; Yen et Pond, 1983) ; folates (Barkow et al., 2001 ; Matte et Girard, 1989) ; vitamine B₁₂ (Simard et al., 2007).

² Moyennes ± erreur standard des valeurs analytiques mesurées avec l'essai sur 20 truies gravides décrit dans la section 1. MATERIEL et MÉTHODES.

³ Valeurs post-colostrales à 10 jours d'âge.

⁴ Ratios entre les concentrations sériques pré-colostrales des micronutriments chez les porcelets naissants (j0) et celles chez la truie avant la mise bas (j110). Tous les ratios calculés avec l'essai sur 20 truies sont différents de 1 (P < 0,01 ; pour le Zn, P < 0,03), exception faite de la niacine (P > 0,37).

⁵ Ratios entre les concentrations sériques post-colostrales des micronutriments chez les porcelets de âgés de 3 jours ou plus (j3) et celles, pré-colostrales, des porcelets naissants (j0). Tous les ratios calculés avec l'essai sur 20 truies sont différents de 1 (P < 0,01).

⁶ Ratios entre les concentrations sériques post-colostrales des micronutriments chez les porcelets âgés de 3 jours ou plus (j3) et celles chez la truie avant la mise bas (j110). Tous les ratios calculés avec l'essai sur 20 truies sont différents de 1 (P < 0,01).

La mise en évidence d'un transfert périnatal inadéquat pour le Fe et le Se n'était pas inattendue (Pond et Maner, 1984 ; Mahan et Vallet, 1997) mais elle permet de valider, pour l'ensemble des micronutriments, l'approche choisie dans la présente étude. Les stratégies de complémentation en ces deux minéraux mineurs sont elles aussi bien connues avec l'administration parentérale de Fe au porcelet (Braude et al., 1962 ; Pond et Maner, 1984) ou de suppléments de Se organique à la truie pendant la gestation et la lactation (Mahan, 2000 ; Quesnel et al., 2008b; Fortier et al., 2012).

Dans la présente étude, les régimes alimentaires de gestation et de lactation étaient supplémentés avec du sélénite (Tableau 1). Par contre, on peut s'interroger sur l'origine et surtout sur l'ampleur du déficit de transfert de la truie à ses porcelets pour le Cu et les vitamines A et D en particulier.

Les concentrations en ces trois micronutriments chez les porcelets après la période colostrale sont respectivement 30, 52 et 80% plus faibles que celles de leur mère en fin de gestation.

Ces résultats portent à croire que l'évolution de l'espèce porcine n'ait pas favorisé le transfert de ces micronutriments de la mère à ses porcelets.

Cette hypothèse pourrait s'expliquer par le fait qu'en conditions naturelles, à l'extérieur des bâtiments, ces micronutriments sont disponibles en abondance parce que 1) la présence des rayons UV permet alors 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 tel qu'évoqué pour le Fe (Pond et Maner, 1984).

CONCLUSION

La présente étude a donc permis de mettre en évidence que le transfert périnatal en vitamine A, vitamine D, Fe, Cu et Se est probablement inadéquat dans les conditions modernes d'élevage. Pour le Fe et le Se, des stratégies de complémentation sont bien connues et appliquées en élevage mais la situation est préoccupante pour les vitamines A et D ainsi que pour le Cu car le lait de la truie est pauvre en ces micronutriments (Matte et Lauridsen, 2013). Les porcelets sous la mère risquent donc de développer d'autres carences (cliniques ou sous-cliniques) que celle en Fe, bien connue et contrôlée depuis plusieurs décennies. Sous les conditions actuelles d'élevage, de nouvelles stratégies de suppléments néonatales en micronutriments sont possiblement nécessaires chez les porcelets d'aujourd'hui.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnaud J., Bellanger J., Bienvenu F., Chappuis P., Favier A., 1986. Recommended method for assaying serum zinc with flame atomic absorption. *Ann. Biol. Clin.*, 44, 77-87.
- Barkow B., Matte J.J., Böhme H., Flachowsky G., 2001. Influence of folic acid supplements on the carry-over of folates from the sow to the piglet. *Brit. J. Nutr.*, 85, 179-184.
- Braude R., Chamberlain A.G., Kotarbinska M., Mitchell K.G., 1962. The metabolism of iron in piglets labeled iron either orally or by injection. *Brit. J. Nutr.*, 16, 427-449.
- Bryant K.L., Kornegay E.T., Knight J.W., Wehb Jr.K.E., Notter D.R., 1984. Supplemental biotin for swine. II. Influence of supplementation to corn- and wheat-based diets on reproductive performance and various biochemical criteria of sows during four parities. *J. Anim. Sci.*, 60, 145-153.
- Castellano C.A., Audet I., Bailey J.L., Chouinard P.Y., Laforest J.P., Matte J.J., 2010. Effect of dietary omega-3 fatty acids (fish oils) on boar reproduction and semen quality. *J. Anim. Sci.*, 88, 2346-2355.
- Csapò J., Csapokiss Z., Martin T.G., Hazas Z., 1995. Composition of sow's colostrum and milk. Part 2. Fatty acid composition and content of fat, vitamins and macro- and microelements. *Acta Alim.*, 24, 145-159.
- 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.
- Fortier M.E., Audet I., Giguère A., Laforest J.P., Bilodeau J.F., Quesnel H., Matte J.J., 2012. Effect of dietary organic and inorganic selenium on antioxidant status, embryo development and reproductive performance in hyperovulatory first-parity gilts. *J. Anim. Sci.*, 90, 231-240.
- Giguère A., Girard C. L., Matte J.J., 2002. Erythrocyte glutathione reductase activity and riboflavin nutritional status in early-weaned piglets. *Internat. J. Vit. Nutr. Res.*, 72, 383-387.
- Giguère A., Fortier M.É., Matte J.J., 2005. Rapid, sensitive and versatile determination of selenium in different biological samples. *Can. J. Anim. Sci.*, 85, 533-536.
- 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.
- Goff J.P., Horst R.L., Littledike E.T., 1984. Effect of sow vitamin D status at parturition on the vitamin D status of neonatal piglets. *J. Nutr.*, 114, 163-169.
- Gondret F., Lefaucheur L., Louveau L., Lebret B., Pichodo X., Le Cozler Y., 2005. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livest. Prod. Sci.*, 93, 137-146.
- Håkansson J., Hakkarainen J., Lundeheim N., 2001. Variation in vitamin E, glutathione peroxidase and retinol concentrations in blood plasma of primiparous sows and their piglets, and in vitamin E, selenium and retinol contents in sows' milk. *Acta Agric. Scand. A. Anim. Sci.*, 51, 224-234.
- Le Cozler Y., Pichodo X., Roy H., Guyomarc'h C., Pellois H., Quiniou N., Louveau L., Lebret B., Lefaucheur L., Gondret F., 2004. Influence du poids individuel et de la taille de la portée à la naissance sur la survie du porcelet, ses performances de croissance et d'abattage et la qualité de la viande. *Journées Rech. Porcine*, 36, 443-450.
- Loudenslager M.J., Ku P.K., Whetter P.A., Ullrey D.E., Whitehair C.K., Stowe H.D., Miller E.R., 1986. Importance of diet of dam and colostrum to the biological antioxidant status and parenteral iron tolerance of the pig. *J. Anim. Sci.*, 63, 1905-1914.
- Mahan D.C., 2000. Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. *J. Anim. Sci.*, 78, 100-105.
- Mahan D.C., Vallet J.L., 1997. Vitamin and mineral transfer during fetal development and the early postnatal period in pigs. *J. Anim. Sci.*, 75, 2731-2738.
- Matte J.J., Girard C.L., 1989. Effects of intramuscular injections of folic acid during lactation on folates in serum and milk and performance of sows and piglets. *J. Anim. Sci.*, 67, 426-431.
- 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., Guay F., Girard C.L., 2006. Folic acid and vitamin B₁₂ in reproducing sows: new concepts. *Can. J. Anim. Sci.*, 86, 197-205.
- Matte J.J., Ponter A.A., Sève B., 1997. Effects of chronic parenteral pyridoxine and acute enteric tryptophan on pyridoxine status, glycemia and insulinemia stimulated by enteric glucose in weanling piglets. *Can. J. Anim. Sci.*, 77, 663-668.
- Matte J.J., Le Floch N., Mosnier E., Quesnel H., 2009. Des truies et des vitamines : au-delà de l'empirisme. *INRA Prod. Anim.*, 22, 5-10.
- Pehrson B., Holmgren H., Trafikowska U., 2001. The influence of parenterally administered alpha-tocopherol acetate to sows on the vitamin E status of the sows and suckling piglets and piglets after weaning. *J. Vet. Med. A*, 48, 569-575.
- Peters J.C., Mahan D.C., Wiseman T.G., Fastinger N.D., 2009. Effect of dietary organic and inorganic micromineral source and level on sow body, liver, colostrum, mature milk, and progeny mineral composition over six parities. *J. Anim. Sci.* 88, 626-637.
- Pinelli-Saavedra A., Scaife J.R., 2005. Pre- and postnatal transfer of vitamins E and C to piglets in sows supplemented with vitamin E and vitamin C. *Livest. Prod. Sci.*, 97, 231-240.
- Pond W.G., Maner J.H., 1984. Lactation. In: *Swine Production and Nutrition*, p 147-155. The AVI Publishing Company Inc., Wesport, CT.

- Quesnel H., Brossard L., Valancogne A., Quiniou N., 2008a. Influence of some sow characteristics on within-litter variation of piglet birth weight. *Animal*, 2, 1842-1849.
- Quesnel H., Renaudin A., Le Floch N., Jondreville C., Père M.C., Taylor-Pickard J.A., Le Dividich J., 2008b. Effect of organic and inorganic selenium sources in sow diets on colostrum production and piglet response to a poor sanitary environment after weaning. *Animal*, 2, 859-866.
- Ramsay T.G., Karousis J., White M.E., Wolverson C.K., 1991. Fatty acid metabolism by the porcine placenta. *J. Anim. Sci.*, 69, 3645-3654.
- Santschi D.E., Berthiaume R., Matte J.J., Mustafa A.F., Girard C.L., 2005. Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88, 2043-2054.
- 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.
- Simard F., Guay F., Girard C.L., Giguère A., Laforest J.P., Matte J.J., 2007. Effects of concentrations of cyanocobalamin in the gestation diet on some criteria of vitamin B-12 metabolism in first-parity sows. *J. Anim. Sci.*, 85, 3294-3302.
- Srivastava S.K., Beutler E., 1973. A new fluorometric method for the determination of pyridoxal 5'-phosphate. *Biochem. Biophys. Acta.* 304, 765-773.
- Tribout T., Caritez J.C., Gogue J., Gruand J., Billon Y., Bouffaud M., Lagant H., LeDividich J., Thomas F., Quesnel H., Guéblez R., Bidanel J.P., 2003. Estimation, par utilisation de semence congelée, du progrès génétique réalisé en France entre 1977 et 1998 dans la race porcine Large White : résultats pour quelques caractères de reproduction femelle. *Journées Rech. Porcine*, 35, 285-292.
- Yen J.T., Pond W.G., 1983. Response of swine to periparturient vitamin supplementation. *J. Anim. Sci.*, 56, 621-624.