

Validation de la méthode du bilan alimentaire pour estimer la production de phosphore d'un lieu d'élevage porcin

Octobre 2017

Rapport scientifique



Marie-Pierre Létourneau Montminy, Ph. D., Université Laval
Laetitia Cloutier, M. Sc., agr., CDPQ
Patrick Gagnon, Ph. D., CDPQ

Collaboration :

Frédéric Guay, Ph. D., Université Laval
Candido Pomar, Ph. D., Agriculture et Agroalimentaire Canada
Catherine Couture, Université Laval
Isabelle Lachance, M. Sc., Université Laval
Marcel Marcoux, M. Sc., Agriculture et Agroalimentaire Canada

CDPQ
Centre de développement
du porc du Québec inc.

©Centre de développement du porc du Québec inc.
Dépôt légal 2017
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada
ISBN 978-2-924413-46-3

Équipe de réalisation

| | |
|------------------------------|---|
| Organisme demandeur : | Les Éleveurs de porcs du Québec |
| Responsable du projet : | Laetitia Cloutier, responsable – Alimentation et nutrition, CDPQ |
| Responsables scientifiques : | Marie-Pierre Létourneau Montminy, chercheur, Université Laval Candido Pomar, chercheur, Agriculture et Agroalimentaire Canada Frédéric Guay, chercheur, Université Laval |
| Équipes de réalisation : | Patrick Gagnon, Analyste, CDPQ Marcel Marcoux, Assistant de recherche, AAC Catherine Couture, étudiante d'été, CDPQ Éric Ouellette, conseiller technique, CDPQ Joël Rivest, Analyste, consultant Isabelle Lachance, professionnelle de recherche |

Remerciements

Ce projet a été réalisé grâce à une aide financière d'Agriculture et Agroalimentaire Canada et du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec accordée en vertu du Programme de soutien aux stratégies sectorielles de développement 2.

Cultivons l'avenir 2
Une initiative fédérale-provinciale-territoriale

Canada

Québec

Les Éleveurs de porcs du Québec ainsi que l'Association québécoise des industries de nutrition animale et céréalière (AQINAC) ont aussi contribué financièrement au projet.

**Les Éleveurs
de porcs du Québec**

AQINAC
Association québécoise des industries
de nutrition animale et céréalière

Merci également aux entreprises suivantes pour leur contribution en nature : Aliment Breton, Agri-Marché, F. Ménard, La Coop fédérée et Shur-Gain, une entreprise de Nutreco.

Résumé

Au Québec, les entreprises agricoles doivent avoir un bilan de phosphore équilibré c'est-à-dire que leurs sols doivent avoir la capacité de supporter les quantités à épandre de phosphore produit par leur élevage. Le bilan alimentaire serait une méthode fiable pour estimer la production de P d'une exploitation animale, celle-ci impliquant simplement de faire la différence entre les quantités de phosphore servies des quantités de phosphore retenues par l'exploitation.

L'objectif de ce projet était de valider la méthode du bilan alimentaire pour estimer les rejets de phosphore chez le porc en engraissement : le porcelet de pouponnière et la truie. Plus spécifiquement, les objectifs étaient, entre autres, de valider les facteurs de rétention, d'estimer l'erreur de la méthode et d'établir des critères de validation permettant aux utilisateurs de valider les rejets estimés par le biais de ce calcul.

Les résultats découlant de ce projet sont les suivants.

Chez le porc en engraissement :

- Le facteur de rétention a été validé et établi à 5,1 g P/kg de gain;
- Le critère le plus sensible de ce type d'élevage est la teneur en P des aliments, donc ces valeurs doivent être basées sur des analyses de laboratoire;
- L'incertitude de la méthode a été établie à 11 %;
- Le coefficient de rétention, critère de validation des rejets estimés, est de 55 %.

Chez le porcelet de pouponnière :

- Le facteur de rétention a été validé et établi à 5,1 g P/kg de gain, valeur toutefois plus variable que pour le porc en engraissement;
- Les critères les plus sensibles pour cette catégorie d'élevage sont la teneur en P des aliments et le poids moyen des porcelets à la sortie. Dans le premier cas, la teneur en P des aliments doit être basée sur des analyses de laboratoire et, dans le second cas, les poids moyens des porcelets doivent être basés sur un poids de balance;
- L'incertitude de la méthode a été établie à 18 %, incertitude plus grande due à la plus grande variabilité du facteur de rétention;
- Le coefficient de rétention, critère de validation des rejets estimés, est de 65 %.

Pour l'élevage de type naisseur :

- Le facteur de rétention des porcelets sous la mère a été validé et établi à 5,1 g P/kg de gain. Le facteur de rétention chez la truie a été validé par le biais des données provenant de la littérature et de bases de données de performance de truies québécoises. Le facteur a été établi à 5,6 g P/kg de gain;
- Le critère le plus sensible de ce type d'élevage est la teneur en P des aliments, donc ces valeurs doivent être basées sur des analyses de laboratoire;
- L'incertitude de la méthode a été établie à 9 %;
- Le coefficient de rétention, critère de validation des rejets estimés, est de 20 %.

En conclusion, le bilan alimentaire est une méthode fiable pour établir la production de phosphore d'un lieu d'élevage porcin. Les facteurs de rétention étant maintenant validés, il est impératif de bien établir la teneur en phosphore des aliments pour assurer une valeur de rejets en phosphore la plus exacte possible.

Table des matières

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 7 |
| 2. Objectifs..... | 7 |
| 3. Facteur de rétention en phosphore | 8 |
| 3.1 Porc en engraissement..... | 8 |
| 3.1.1 Contexte | 8 |
| 3.1.2 Méthodologie | 9 |
| 3.1.3 Résultats et discussion..... | 10 |
| 3.1.4 Conclusions | 13 |
| 3.2 Porcelet | 13 |
| 3.2.1 Contexte | 13 |
| 3.2.2 Méthodologie | 14 |
| 3.2.3 Résultats et discussion..... | 14 |
| 3.2.4 Conclusions | 15 |
| 3.3 Truie | 15 |
| 3.3.1 Contexte | 15 |
| 3.3.2 Méthodologie | 16 |
| 3.3.3 Résultats et discussion..... | 16 |
| 3.3.4 Conclusion | 20 |
| 4. Analyse de sensibilité..... | 20 |
| 4.1 Contexte..... | 20 |
| 4.2 Méthodologie..... | 20 |
| 4.3 Résultats et discussion | 25 |
| 4.4 Conclusion..... | 27 |
| 5. Calcul de l'incertitude sur l'estimation du phosphore excrété | 27 |
| 5.1 Engraissement..... | 27 |
| 5.2 Pouponnière | 29 |
| 5.3 Naisseur | 31 |
| 6. Coefficient de rétention maximal | 32 |
| 7. Conclusion | 34 |
| 8. Références | 35 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 3.1 - Rétention de phosphore par kilogramme de gain chez les porcs abattus au Québec | 12 |
| Tableau 3.2 – Phosphore retenu par kilogramme de gain de poids entre la naissance et le sevrage du porcelet | 14 |
| Tableau 3.3 – Phosphore et calcium ingérés et retenus chez le porcelet en post-sevrage | 15 |
| Tableau 3.4 – Données moyennes de performances des truies et des porcelets des deux fermes expérimentales..... | 17 |
| Tableau 3.5 – Estimation des besoins de P pour chaque ferme expérimentale | 18 |
| Tableau 4.1 - Écart-types des paramètres du calcul du bilan alimentaire pour un élevage de type engraissement..... | 21 |
| Tableau 4.2 - Écart-type des paramètres du calcul du bilan alimentaire pour un élevage de type pouponnière..... | 22 |
| Tableau 4.3 - Écart-type des paramètres du calcul du bilan alimentaire pour un élevage de type naisseur | 23 |
| Tableau 4.4 - Résultats de l'analyse de sensibilité pour un élevage de type engraissement | 25 |
| Tableau 4.5 - Résultats de l'analyse de sensibilité pour un élevage de type pouponnière..... | 26 |
| Tableau 4.6 - Résultats de l'analyse de sensibilité pour un élevage de type naisseur..... | 26 |
| Tableau 5.1 - Variables d'entrée nécessaires pour le calcul du phosphore excrété en engraissement..... | 28 |
| Tableau 5.2 - Calcul du phosphore excrété et de son incertitude pour un lot en engraissement. | 28 |
| Tableau 5.3 - Exemple de calcul du phosphore excrété pour un lot en engraissement basé sur les valeurs d'entrée du Tableau 5.1. | 29 |
| Tableau 5.4 - Variables d'entrée nécessaires pour le calcul du phosphore excrété en pouponnière. | 29 |
| Tableau 5.5 - Exemple de calcul du phosphore excrété pour un lot en pouponnière basé sur les valeurs d'entrée du Tableau 5.4. | 30 |
| Tableau 5.6 - Variables d'entrée nécessaires pour le calcul du phosphore excrété en maternité. | 31 |
| Tableau 5.7 - Calcul du phosphore excrété annuel et de son incertitude pour une maternité | 31 |
| Tableau 5.8 - Exemple de calcul du phosphore excrété annuellement en maternité basé sur les valeurs d'entrée du Tableau 5.7 | 32 |
| Tableau 6.1 - Pourcentage de rétention maximale par catégorie d'élevage..... | 33 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 3.1 – Relation entre le P retenu et la densité minérale osseuse chez le porc. | 11 |
| Figure 3. 2 – Relation entre la densité minérale osseuse du corps entier et de la tête | 11 |
| Figure 3.3 – Relation entre la densité minérale osseuse du corps entier et du pied | 12 |
| Figure 3.4 – Données individuelles de rétention de phosphore par abattoir | 13 |
| Figure 3.5 – Teneur en P corporel en fonction du poids vif en fonction de la parité pour chacune des fermes expérimentales | 19 |
| Figure 3.6 – Teneur en P corporel en fonction du poids vif en fonction de la parité pour les deux fermes expérimentales confondues..... | 19 |

1. Introduction

Depuis 2010, selon le Règlement sur les exploitations agricoles (REA), les entreprises agricoles doivent avoir un bilan de phosphore équilibré, c'est-à-dire que leurs sols doivent avoir la capacité de supporter les quantités de phosphore à épandre résultant de leur troupeau et des autres matières fertilisantes. Pour évaluer les rejets en phosphore de leur exploitation, les producteurs ont deux moyens : la caractérisation des effluents d'élevage ou l'utilisation de valeurs de référence (Annexe VI du REA). Dans le premier cas, le travail requis pour caractériser les effluents d'élevage est exigeant et demande beaucoup de temps. En effet, plusieurs prélèvements de fumier doivent être pris pour constituer un échantillon. De plus, ces prélèvements doivent être représentatifs, ce qui implique par exemple de brasser la fosse dans le cas de fumier liquide. Pour ce qui est des valeurs de référence du REA, ces dernières sont des quantités de rejet par type d'animal, mais qui ont été majorées de 20 % afin de s'assurer de ne pas sous-estimer les rejets en phosphore (Annexe VI du REA). Or, dans le cas de certaines entreprises où la capacité de support des sols convient tout juste à la quantité de matières fertilisantes à épandre, surestimer les rejets pourrait faire basculer le bilan de phosphore en un bilan positif et ainsi obliger l'exploitant à acquérir ou à louer des terres pour épandre le surplus de phosphore ou encore devoir signer une entente d'épandage avec d'autres exploitants agricoles. De plus, les efforts des producteurs, plus performants et efficaces pour réduire leurs rejets en phosphore, ne seront pas mis en valeur avec ces valeurs de référence puisque ces dernières sont basées sur des performances moyennes.

Bien que seuls ces deux moyens soient actuellement autorisés au Québec, une autre méthode existe soit celle du bilan alimentaire et elle est en voie d'être autorisée dans le cadre du REA. Cette méthode permet de déterminer les rejets en effectuant la différence entre les quantités de phosphore entrées et celles sorties de l'exploitation. Les quantités de phosphore entrées sur le lieu d'élevage correspondent à celles que l'on retrouve dans les aliments et les animaux achetés. Les quantités de phosphore sorties correspondent à celles retenues par les animaux incluant les animaux vendus ou morts au cours de la période d'évaluation. Le bilan alimentaire a ainsi l'avantage d'être une méthode plus simple d'utilisation et moins coûteuse que la caractérisation, tout en évaluant avec précision les rejets et, généralement, plus justement qu'en utilisant des valeurs de référence. De plus, le bilan alimentaire peut servir d'indicateur de performance des animaux et être utilisé comme outil de diagnostic pour réduire les rejets en phosphore. Ces avantages favorisent ainsi la compétitivité et la pérennité des entreprises agricoles.

Pour atteindre les objectifs de ce projet qui sont d'offrir une méthode alternative plus simple et plus performante aux éleveurs québécois afin d'estimer la charge de phosphore de leur lieu d'élevage, l'ensemble des recommandations du Comité de coordination des effluents d'élevage (CCEE) doit être accompli dont la validation des équations du bilan alimentaire avant de permettre leur utilisation dans le cadre du REA.

2. Objectifs

Valider la méthode du bilan alimentaire pour estimer les rejets en phosphore chez le porc en engraissement, le porcelet en pouponnière et la truie. Plus spécifiquement, pour chacune de ces trois catégories d'élevage :

- Évaluer le facteur de retenu en phosphore utilisé pour établir la valeur en phosphore du lisier;
- Évaluer la précision de la méthode de bilan alimentaire par une analyse de sensibilité et un calcul d'erreur;
- Établir un critère de validation des résultats du calcul du bilan alimentaire.

3. Facteur de rétention en phosphore

Dans le cadre du projet bilan alimentaire, un effort de recherche a été tout d'abord dédié au porc en croissance qui consomme environ 70 % de toute la quantité de phosphore distribuée aux animaux en production porcine. La rétention de phosphore chez le porc en croissance a fait l'objet de nombreuses études, alors que la truie et les porcelets ont fait l'objet d'un nombre plus limité d'études. Compte tenu du nombre important de données disponibles chez le porc en croissance, l'objectif de la première partie est de mettre au point une méthode simple d'évaluation de l'état de minéralisation des porcs à l'engraissement conduisant à une estimation du phosphore retenu. Des recommandations d'utilisation de ce critère dans le calcul du phosphore excrété et du bilan de phosphore des fermes de porcs à l'engraissement seront également données. Il faut noter que les études précédentes ont montré que le taux de minéralisation et le phosphore retenu par kilogramme de gain de poids peuvent varier significativement selon le niveau d'apport en phosphore et de calcium des aliments du porc à l'engraissement (Létourneau-Montminy *et al.*, 2014; Pomar *et al.*, 2006; Rousseau, 2013).

Les deux parties suivantes concernent les porcelets en pouponnière et les truies. La mesure de la rétention de phosphore chez la truie est complexe et coûteuse comparativement au porcelet. Il est cependant possible d'extrapoler les données des porcs en croissance chez ces deux catégories comme le fait actuellement le CORPEN (Dourmad *et al.*, 2015) en France. Cependant, deux études québécoises réalisées par l'IRDA (Seydoux *et al.*, 2005, 2008) visant à comparer les résultats de caractérisation des fumiers à ceux du bilan alimentaire ont montré une incohérence entre les deux méthodes pour les truies (bâtiments de maternité) et les porcelets en pouponnière comparativement aux porcs en croissance. Ceci laisse croire que l'extrapolation de la valeur de P retenu chez le porc en croissance à ces deux catégories de porcs devait être validée. Il est cependant à noter que le protocole pour le calcul des bilans alimentaires réalisés dans ces études présente certaines lacunes, notamment en ce qui a trait aux valeurs de phosphore des aliments, mais aussi aux facteurs de retenue utilisés qui variaient entre les deux études. Ainsi, la partie 2 du présent projet consistera à réaliser des compositions corporelles de porcelets sevrés (phosphore retenu par les porcelets en section maternité) et en fin de pouponnière (phosphore retenu en section pouponnière) pour déterminer leur coefficient respectif de phosphore retenu. Ces données ont été utilisées pour valider les valeurs de phosphore retenu proposées actuellement et ainsi s'assurer de la validité du bilan en phosphore, la pouponnière représentant 20 % de la quantité de phosphore distribuée dans les élevages porcins. Finalement, dans la partie 3, en plus d'analyser à nouveau les données des études précédemment réalisées par l'IRDA (Seydoux *et al.*, 2005, 2008), le calcul du bilan alimentaire chez la truie sera affiné.

3.1 Porc en engraissement

Responsables scientifiques : Candido Pomar et Marie-Pierre Létourneau Montminy
Objectif : Validation du facteur de phosphore retenu chez le porc en engraissement

3.1.1 Contexte

La méthode du bilan alimentaire pourrait ne pas être appropriée pour le phosphore lorsque ce nutriment ainsi que le calcium, ce dernier influençant l'absorption du phosphore, ne sont pas fournis en quantité suffisante dans l'alimentation pour permettre d'atteindre le niveau de minéralisation maximal utilisé pour le calcul du bilan, soit 5,3 g de phosphore par kilogramme de gain de poids pour le CORPEN (Dourmad *et al.*, 2015). Cette valeur de rétention demeure ainsi valide lorsque les apports de phosphore digestibles sont déterminés selon les recommandations de Jondreville et Dourmad (2005) uniquement. En fait, cette méthode suppose que la rétention de phosphore est constante par unité de gain de poids corporel, ce qui n'est pas toujours le cas (Létourneau-Montminy *et al.*, 2014; Pomar *et al.*, 2006; Rousseau, 2013). L'utilisation d'une quantité fixe de phosphore retenu par unité de gain de poids dans la méthode du bilan simplifié, proposée dans le guide de 2006, doit donc être reconsidérée, compte tenu de la réduction de l'apport de phosphore alimentaire dans le but de minimiser son excrétion. Notons que présentement, il est fort possible que les porcs reçoivent suffisamment de minéraux pour maximiser la minéralisation de leurs os considérant que des sous-produits riches en phosphore (ex. : drêches de distillerie) sont utilisés dans l'alimentation des porcs canadiens depuis quelques années. Compte tenu du contexte variable des apports

alimentaires en phosphore digestible (ex. : phosphates, phytase, drêches), il est crucial de développer une méthode simple et robuste permettant de mesurer la minéralisation osseuse des porcs abattus au Québec afin de vérifier la validité de la méthode du bilan alimentaire pour estimer la charge de phosphore des lisiers de porc. Des approches similaires pourraient être développées pour d'autres espèces animales.

Les méthodes traditionnelles d'évaluation de la croissance et de la minéralisation osseuse chez les porcs requièrent l'abattage, la dissection, la prise de mesures sur des os spécifiques de la carcasse (ex. : longueur, circonférence, volume, poids, résistance à la rupture, etc.), la détermination des cendres totales ainsi que du contenu minéral de ces mêmes os ou du squelette dans son ensemble. Ces méthodes sont très coûteuses, demandent beaucoup de travail de dissection et de laboratoire et elles sont assujetties aux biais de l'opérateur. De plus, comme toutes les techniques d'abattage, cette méthode ne permet pas de faire un suivi sur un même animal. L'absorptiométrie aux rayons X à deux niveaux d'énergie (DXA) a été proposée avec succès pour estimer le contenu minéral osseux (CMO) et la densité minérale osseuse (DMO) chez l'homme et chez les animaux domestiques en raison de sa précision, sa rapidité, les bas niveaux de radiation et de sa calibration stable. Cette technologie est utilisée par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) depuis 1995 pour déterminer la composition corporelle et minérale des porcs et des agneaux.

3.1.2 Méthodologie

Étape 1. Relation entre le contenu minéral osseux et la densité minérale osseuse corporelle, la teneur en calcium et en phosphore corporelle, la fragilité des os et la rétention de phosphore

L'impact d'une alimentation à différents niveaux de phosphore et de calcium sur la minéralisation des os à l'aide des mesures de CMO et DMO est utilisé dans différents projets (Pomar *et al.*, 2006; Ryan *et al.*, 2011). Les données de deux études antérieures (Rousseau, 2013 ; Pomar *et al.*, 2006) réalisées au Centre de recherche sur le bovin laitier et le porc d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Lennoxville avec l'objectif d'étudier l'influence du niveau de phosphore, de calcium et de phytase alimentaire sur les performances de croissance et la rétention corporelle minérale chez des porcs allant de 20 à 100 kg de poids vif a été utilisées dans la présente étude pour établir la relation entre le CMO et la DMO corporels et la teneur en calcium et en phosphore du corps entier, la fragilité des os et la rétention de phosphore. Le but principal a été de déterminer le lien entre le CMO et la DMO et la rétention de phosphore qui servira à identifier les rétentions de phosphore et l'état de minéralisation des os des porcs du Québec et ainsi valider la valeur de phosphore retenu utilisée dans le calcul du bilan alimentaire. Ces relations ont été établies par régression simple où le CMO ou la DMO ont été utilisés comme variable de prédiction du phosphore retenu, valeur clé du bilan alimentaire.

Étape 2 : Étude de la relation entre le CMO et la DMO du corps entier et les têtes et pieds

Bien qu'une relation entre la DMO du corps entier et le phosphore retenu puisse être établie à l'étape précédente, d'un point de vue pratique, la numérisation d'un porc entier pour obtenir son CMO et sa DMO n'est pas faisable sur un large échantillon. Par contre, le prélèvement de pieds et de têtes dans les abattoirs peut être réalisé facilement, et ce, sans déclasser les carcasses. Il a ainsi été possible de faire un échantillonnage représentatif des porcs québécois et d'évaluer la rétention de phosphore. Pour y arriver, une étape préalable visant à établir la corrélation entre le CMO et la DMO du corps entier, des têtes et des pieds est nécessaire. Pour ce faire, à ce jour, des pattes et des têtes ont été récupérées au moment de l'abattage et numérisées dans le cadre d'un projet portant sur l'évaluation de l'impact de diminution des apports en phosphore et en calcium (Gonzalo *et al.*, 2014). Les relations entre les données de CMO et DMO du corps entier, des têtes et des pattes ont été obtenues dans le cadre de ce projet à partir de ces données.

Étape 3 : Étude sur la population de porcs du Québec

Un échantillonnage représentatif de têtes et de pieds, soit une proportion de 1 sur 15 000 porcs abattus au Québec, a été réalisé dans les abattoirs. Considérant environ 7,5 millions de porcs abattus au Québec, l'échantillonnage s'est élevé à 500 porcs. L'échantillonnage des têtes et des pieds a été échantillonné dans les huit principaux abattoirs du Québec (Agromex, ASTA, A. Trahan, Olymel Saint-Esprit, Olymel Princeville, Olymel Vallée-Jonction, Viande DuBreton, Lucyporc). Le nombre de porcs échantillonnés dans chaque abattoir a été déterminé selon les volumes d'abattage annuel propre à chacun selon la proportion approximative de 1/15 000. La sélection des carcasses s'est faite sur la chaîne d'abattage d'une façon aléatoire en ignorant le sexe de l'animal. La date, le numéro de séquence, le numéro de tatou, le poids de la carcasse chaude ainsi que l'épaisseur du gras et du muscle obtenus avec la sonde de classification ont été collectés pour chaque carcasse. Le numéro de tatou des carcasses ont pu également servir à déterminer, le cas échéant, si l'éleveur utilisait des produits favorisant la croissance comme la ractopamine (Paylean, Elanco Animal Health, Greenfield, IN, USA) qui peut avoir un impact sur le phosphore retenu. Le prélèvement du pied avant gauche et de la tête s'est fait sur la chaîne d'abattage avant l'entrée dans la chambre de ressuyage. Ils ont été séparés du reste de la carcasse en s'assurant que tous les os carpiens des pieds étaient présents. Pour le pied, le site de coupe se situe dans la jointure (os carpien – os radius, ulna) comme réalisée à l'étape 2. Les pieds et les têtes ont été identifiés pour assurer leur correspondance avec les données enregistrées des animaux afin de pouvoir remonter à leur alimentation au besoin. Une attention particulière a été portée au moment de l'échantillonnage sur l'apparence du pied gauche (sans enflure, sans cicatrice, sans abcès, sans partie manquante ou anomalie quelconque). Les pieds et les têtes ont été congelés en attendant d'être radiographiés.

3.1.3 Résultats et discussion

Relation entre la densité minérale osseuse corporelle et la rétention de phosphore

Le poids vif des porcs de l'échantillon variait de 77,3 à 158,8 kg avec une moyenne à 114,6 kg. L'équation est donc représentative des porcs abattus au Québec. L'étude de Gonzalo *et al.* (2014) a été réalisée sur des porcs de lignée terminale (G-Performer, Génétiporc, Saint-Bernard, Qc) alors que celles de Langlois *et al.* (2016a, 2016b) ont été réalisées chez des porcs de lignées F1 (Fertilis, Génétiporc, Saint-Bernard, Qc).

Les résultats montrent une bonne relation entre le P retenu (g/kg de gain) et la DMO (Figure 3.1).

Phosphore retenu (g/kg de gain) = 0,718 + 3,691 x DMO

$n = 154$

Erreur quadratique moyenne : 0,263

Coefficient de détermination (R^2) = 78%

L'effet essai n'est pas significatif montrant notamment que la relation est similaire entre les deux lignées de porcs. L'effet des traitements alimentaires montre que ce sont les niveaux de Ca et P qui expliquent la majeure partie de la variation.

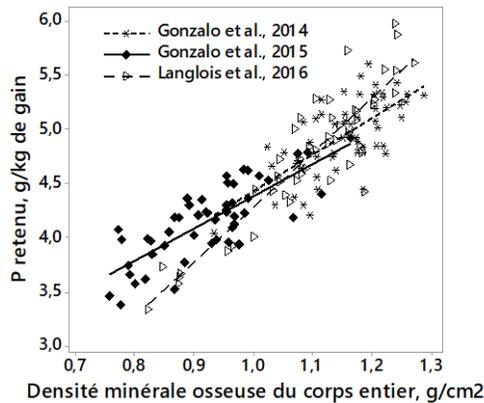


Figure 3.1 – Relation entre le P retenu et la densité minérale osseuse chez le porc.

Relation entre la densité minérale osseuse du corps entier et celle des têtes et des pieds chez le porc

La corrélation entre le corps, la tête et le pied dans l'essai de Gonzalo *et al.* (2014) est plus élevée entre le corps et la tête ($r = 0,94$) qu'entre le corps et le pied ($r = 0,73$). Les résultats montrent une très bonne relation linéaire entre la DMO de la tête et celle du corps entier (Figure 3.2) avec un effet essai non significatif.

$$\text{DMO corps (g/cm}^2\text{)} = 0,422 + 0,357 \times \text{DMO tête (g/cm}^2\text{)}$$

$$n = 9$$

$$\text{Erreur quadratique moyenne} = 0,0339$$

$$R^2 = 94\%$$

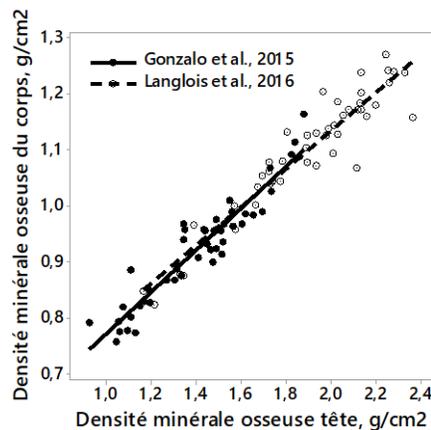


Figure 3. 2 – Relation entre la densité minérale osseuse du corps entier et de la tête

La relation linéaire entre la DMO du corps et du pied est quant à elle moins bonne (Figure 3.3).

$$\text{DMO corps (g/cm}^2\text{)} = 0,0207 + 1,414 \times \text{DMO pied (g/cm}^2\text{)}$$

$$n = 46$$

$$\text{Erreur quadratique moyenne} = 0,0527$$

$$R^2 = 59\%$$

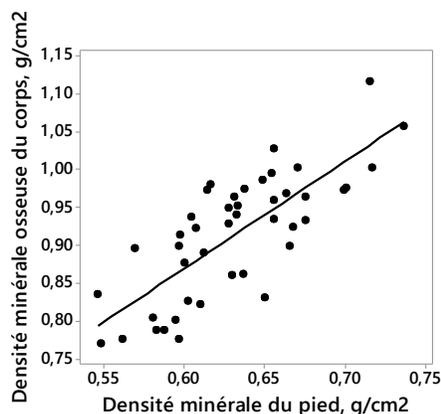


Figure 3.3 – Relation entre la densité minérale osseuse du corps entier et du pied

Plusieurs hypothèses peuvent être mises de l'avant pour expliquer ces différences. Tout d'abord, le pied ne représente que 0,002% du contenu minéral osseux du corps entier par rapport à 22% pour la tête. Aussi, le fait que la tête a une masse osseuse plus importante et une proportion de tissus spongieux et corticaux plus représentative de l'ensemble des os du corps pourrait expliquer la meilleure sa relation avec le P retenu. Des études chez l'homme montrent aussi que la sensibilité du corps entier et de la tête pour différencier deux groupes de femmes faisant ou non de l'ostéoporose est similaire (Nordin *et al.*, 1996).

Phosphore retenu par les porcs québécois

Compte tenu d'une meilleure relation entre la tête et le corps entier, seules des têtes ont été collectées. Les résultats montrent que la minéralisation des porcs québécois varie peu en moyenne entre les abattoirs et donc que la rétention de P pourrait être considérée fixe (Tableau 3.1).

L'abattoir A présente cependant une moyenne significativement plus élevée. Après discussion avec les nutritionnistes, il semblerait que la forte utilisation de drêches de distilleries de maïs, qui apportent beaucoup de P digestible pourrait expliquer la meilleure rétention. Il est cependant à noter que la variabilité intra abattoir est importante (Figure 3.4).

Tableau 3.1 - Rétention de phosphore par kilogramme de gain chez les porcs abattus au Québec

| Abattoirs | P retenu, g/kg gain |
|-----------|---------------------|
| A | 5.33a |
| B | 5.15b |
| C | 5.13b |
| D | 5.13b |
| E | 5.10b |
| F | 5.04b |
| n | 425 |
| RMSE | 0.233 |
| P-value | < 0.001 |

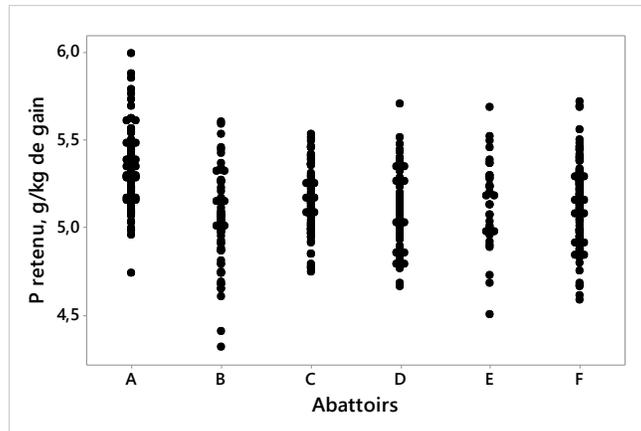


Figure 3.4 – Données individuelles de rétention de phosphore par abattoir

Cette variabilité intra abattoir ne s'explique pas par le poids des porcs au moment de l'abattage bien que la variabilité soit importante ($103 \pm 6,82$ kg). Le P retenu est influencé par le numéro de tatou qui réfère à différents élevages. Cependant, le nombre d'élevages récolté est trop important (177) et le nombre de porcs par élevage trop faible (entre 1 et 3) pour pousser l'analyse plus loin.

3.1.4 Conclusions

Les résultats de la présente étude montrent qu'il est possible d'utiliser au Québec un coefficient de rétention de P unique pour tous les élevages qui se situeraient aux alentours de 5,15 g/kg de gain comparativement à 5,3 pour le CORPEN (Dourmad *et al.*, 2015). Aux Pays-Bas, des analyses réalisées en 2008 montrent un contenu en P de 4,7 g/kg au niveau corporel chez le porc en finition (The Hague/Heerlen, 2012).

3.2 Porcelet

Responsables scientifiques : Marie-Pierre Létourneau Montminy et Candido Pomar

Objectif : Validation du facteur de retenue en phosphore chez le porcelet

3.2.1 Contexte

À l'opposé du porc en croissance, la capacité de rétention en phosphore du porcelet a fait l'objet de peu d'études. Blair *et al.* (1963) ont obtenu des rétentions en phosphore de l'ordre de 3,6 g/kg de gain de poids de la naissance à 8 semaines d'âge chez des porcelets sous la mère. Mahan et Shields (1998) ont quant à eux obtenu des valeurs de 8,3 g de phosphore retenu/kg de gain de poids de la naissance à 20 kg de poids vif. Enfin, les valeurs néerlandaises utilisées pour le calcul du bilan alimentaire de phosphore sont de 6,15 et 5,40 g de phosphore retenu/kg de gain de poids chez le nouveau-né et le porcelet sevré, respectivement (The Hague/Heerlen, 2012). Le coefficient demande donc d'être actualisé compte tenu des progrès génétiques et nutritionnels. De plus, notons que les études de comparaison de l'excrétion de phosphore par bilan alimentaire et caractérisation des lisiers en phosphore de Seydoux *et al.* (2005) réalisée en Chaudière-Appalaches et une seconde (Gasser, 2013, communication personnelle) réalisées en Montérégie ont montré une légère surestimation de la charge de phosphore avec la méthode de bilan alimentaire pour les pouponnières.

3.2.2 Méthodologie

Afin d'estimer la rétention de phosphore des porcelets dans l'équation du bilan alimentaire, des compositions chimiques de corps entier de 50 porcelets sevrés et 50 en fin de pouponnière (phosphore retenu pendant la phase de pouponnière) ont été réalisées. Afin d'avoir un échantillonnage représentatif des porcs québécois, 50 porcs provenant d'entreprises porcines et de régions différentes ont été fournis au Centre de recherche sur le bovin laitier et le porc d'Agriculture et Agroalimentaire Canada pour chacun des stades de croissance visés. Les animaux ont été pesés, abattus, saignés et les viscères ont été vidées. La carcasse, les viscères vidées et le sang ont été congelés avant d'être broyés plusieurs fois afin d'obtenir un échantillon homogène qui a été lyophilisé. Des analyses de phosphore, de calcium et d'azote ont été ensuite réalisées. La composition en ingrédient des différents aliments ont été fournis par les entreprises. Encore une fois, l'impact des apports de phosphore, de calcium et de phytase sur le phosphore retenu a été testé.

3.2.3 Résultats et discussion

Phosphore corporel chez le porcelet nouveau-né

Le poids moyen des porcs était de $1,31 \pm 0,26$ kg. En raison de différences de poids vif entre les compagnies, le P corporel a été exprimé par kilogramme de poids vif. Aucune différence significative n'a été observée entre les compagnies. Le P corporel moyen était de $5,6 \pm 0,43$ g/kg de poids vif.

Phosphore corporel chez le porcelet sevré et dépôt de P de la naissance au sevrage

Le poids moyen des porcelets sevrés à 21 jours variait entre les compagnies avec une moyenne de $6,47 \pm 0,66$ kg. Cependant, le P retenu pendant cette période de vie du porcelet était semblable entre les compagnies, avec une moyenne de $5,1 \pm 0,33$ g/kg de gain de poids (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 – Phosphore retenu par kilogramme de gain de poids entre la naissance et le sevrage du porcelet

| Compagnies | P retenu, g/kg gain |
|------------|---------------------|
| A | 5,29 |
| B | 5,20 |
| C | 5,06 |
| D | 5,04 |
| E | 4,92 |
| RMSE | 0,320 |
| P-value | 0,102 |

Rétention de P chez le porcelet en post-sevrage

Les données d'une compagnie ont dû être retirées de l'analyse, car il n'a pas été possible d'obtenir la composition des aliments utilisés pendant cette période. Comparativement aux deux catégories de porcs précédentes, des différences de rétention de P ont été observées entre les compagnies, le P retenu variant en moyenne de 5,79 à 4,61 g/kg de gain de poids (Tableau 3.3). Bien que variable, cette rétention de P est comparable à la valeur rapportée par le CORPEN (Dourmad *et al.*, 2015).

Tableau 3.3 – Phosphore et calcium ingérés et retenus chez le porcelet en post-sevrage

| Compagnie | Ingestion, g | | Rétention, g/kg gain | |
|-----------|--------------|------|----------------------|---------|
| | P digestible | Ca | P | Ca |
| A | 2,22 | 4,16 | 4,61c | 5,92c |
| B | 2,94 | 4,52 | 5,79a | 8,83a |
| C | 2,73 | 4,59 | 5,40ab | 7,51ab |
| D | 2,36 | 4,56 | 5,24b | 7,16b |
| n | | | 40 | 40 |
| RMSE | | | 0,350 | 0,350 |
| P-value | | | < 0,001 | < 0,001 |

Concernant l'alimentation de ces porcs, seules les formules théoriques et les quantités de chaque aliment livré à la ferme étaient disponibles. Compte tenu du nombre et de la durée des phases d'alimentation, qui variaient entre les compagnies, les quantités de P digestible apparent et de Ca total consommées théoriques ont été estimées à partir des formules alimentaires utilisées (Tableau 2). Le P digestible variait davantage que le Ca et semble donc expliquer les variations obtenues étant donné que les rétentions de la majorité du Ca et près de 70% du P retenu ont lieu concomitamment dans l'os (Létourneau-Montminy *et al.*, 2015)

3.2.4 Conclusions

Les résultats de cette étude montrent que la rétention de P varie peu dans le cheptel québécois échantillonné chez les porcelets nouveau-nés et sous la mère, bien que la génétique des truies diffère. Cependant, chez le porcelet en post-sevrage, les résultats montrent qu'il est difficile d'utiliser la méthode du bilan alimentaire avec un coefficient de rétention de P fixe pour tous les élevages.

3.3 Truie

Responsables scientifiques : Marie-Pierre Létourneau Montminy et Frédéric Guay
Objectif : Évaluation de la méthode du bilan alimentaire chez la truie

3.3.1 Contexte

L'estimation de la rétention de phosphore chez la truie est beaucoup plus compliquée que pour les deux stades précédents. En effet, très peu d'information est disponible dans la littérature compte tenu du coût de l'animal qui limite les méthodes invasives telles les compositions corporelles décrites plus tôt. Ainsi, le coefficient obtenu chez le porc en croissance a été extrapolé à la truie dans les recommandations françaises (CORPEN, 2003) et néerlandaises (The Hague/Heerlen, 2012), position adoptée d'ailleurs également au Québec (Roch et Maltais, 2006). Néanmoins, lors d'études de comparaison entre la méthode du bilan alimentaire et celle de la caractérisation des lisiers en phosphore pour estimer les rejets en phosphore (Gasser, 2013, communication personnelle, réalisé en Montérégie; Seydoux *et al.*, 2005 réalisée en Chaudière-Appalaches), les résultats ont montré une surestimation parfois importante de la charge phosphore avec la méthode du bilan alimentaire pour les maternités. Outre le facteur de retenue qui pourrait être responsable de cette surestimation, elle pourrait également provenir d'une mauvaise estimation du gain de poids ou des truies présentes.

Compte tenu de la difficulté de mesurer le phosphore retenu *in vivo* chez la truie, des données de la littérature et des résultats obtenus sur le terrain ont été utilisés pour valider le coefficient de phosphore retenu chez cette catégorie de porc.

3.3.2 Méthodologie

Estimation des performances des truies et des porcelets québécois

Les données de deux fermes expérimentales appartenant à deux compagnies différentes où les truies et les porcelets sont pesés fréquemment, ce qui n'est pas le cas en élevages commerciaux, ont été utilisées pour établir le facteur de rétention. Ce dernier dépend du poids vif, du poids de la portée et du nombre de porcelets par portée. Compte tenu de l'amélioration génétique, seules les données des dix dernières années ont été utilisées. L'effet de la lignée de truie (effet compagnie) a été testé.

Estimation des besoins de phosphore pour une rétention maximale de P chez la truie en gestation et en lactation et estimation du coefficient de phosphore retenu

Le besoin de phosphore des truies a été peu étudié, toujours pour des raisons méthodologiques. Les principaux travaux proviennent des Néerlandais (Jongbloed *et al.*, 1999). Ces derniers ont développé des équations basées sur des essais qu'ils ont réalisés permettant de prédire le besoin de phosphore des truies. Les équations générées pour la gestation prennent en compte les principaux critères de variation soient, le stade de gestation, le nombre de fœtus, le gain de masse musculaire et de masse osseuse. Pour la lactation, les équations prennent en compte le poids des truies, la taille de la portée, la quantité de phosphore allant dans le lait, le gain de poids des porcelets, ainsi que le poids moyen des porcelets. En utilisant ces équations, il est possible d'obtenir le besoin de phosphore des truies en gestation et en lactation pour une minéralisation osseuse maximale et donc une rétention de phosphore maximale. Les besoins de phosphore fournis par le NRC (2012) sont également basés sur ces travaux.

Dans le projet, ces équations ont été reconstruites et utilisées pour estimer les besoins des truies en gestation et en lactation par parité en considérant les performances des truies des deux bases de données mises à disposition. Le coefficient de phosphore retenu par kilogramme de gain de poids a ensuite été recalculé par la dérivée première de la relation entre le P corporel et le poids vif par parité.

3.3.3 Résultats et discussion

Performances des truies et des porcelets de deux fermes expérimentales

Les données moyennes par parité des données disponibles sont présentées dans le tableau 3.4 qui suit.

Tableau 3.4 – Données moyennes de performances des truies et des porcelets des deux fermes expérimentales.

| | Parités | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Information sur les truies | | | | | | | | | |
| n truies ¹ | | 1283 | 1315 | 1304 | 1135 | 980 | 785 | 547 | 388 |
| Poids après la mise bas | | 215 | 242 | 259 | 270 | 277 | 281 | 285 | 287 |
| Poids au sevrage | | 194 | 220 | 238 | 251 | 258 | 265 | 270 | 273 |
| Gain de poids par parité ² | | 24,63 | 17,32 | 10,73 | 8,35 | 7,65 | 6,48 | 2,73 | 3,36 |
| Information sur les porcelets | | | | | | | | | |
| Poids portée à la naissance | | 18 | 19 | 19 | 19 | 19 | 18 | 17 | 17 |
| Nombre de porcelet (nés et morts nés) | | 13,1 | 13,4 | 14,1 | 14,3 | 14,5 | 14,3 | 13,9 | 13,5 |
| Nombre de morts nés | | 0,51 | 0,57 | 0,63 | 0,79 | 1,05 | 1,20 | 1,20 | 1,29 |
| Nombre de momies | | 0,30 | 0,39 | 0,45 | 0,42 | 0,45 | 0,50 | 0,40 | 0,45 |
| Nombre nés vivants | | 12,4 | 12,6 | 13,3 | 13,3 | 13,2 | 12,8 | 12,5 | 12,0 |
| Nombre après l'adoption | | 12,2 | 12,4 | 12,7 | 12,6 | 12,6 | 12,5 | 12,0 | 12,0 |
| Nombre de porcelets sevrés | | 11,1 | 11,4 | 11,5 | 11,5 | 11,4 | 11,2 | 10,7 | 10,6 |
| Poids de la portée après adoption | | 16,6 | 18,2 | 18,6 | 18,6 | 18,4 | 18,2 | 17,5 | 17,5 |
| Poids de la portée au sevrage | | 67,2 | 74,4 | 75,6 | 75,6 | 74,6 | 72,8 | 69,2 | 68,4 |
| Gain moyen quotidien de la portée | | 2,70 | 2,95 | 2,98 | 5,13 | 2,89 | 2,84 | 2,69 | 2,69 |
| Information sur les porcelets | | | | | | | | | |
| Poids moyen vivants | | 1,44 | 1,54 | 1,49 | 1,48 | 1,45 | 1,44 | 1,41 | 1,44 |
| Poids moyen après l'adoption | | 1,37 | 1,48 | 1,48 | 1,48 | 1,47 | 1,46 | 1,46 | 1,47 |
| Poids moyen au sevrage | | 6,06 | 6,52 | 6,56 | 6,57 | 6,54 | 6,51 | 6,47 | 6,44 |
| Gain moyen quotidien des porcelets | | 246 | 262 | 263 | 260 | 258 | 258 | 256 | 255 |

¹ Il s'agit du nombre maximal de truies étudiées, sachant que seules 50-60% des truies étaient pesées à la saillie comparativement à avant la mise bas où elles étaient systématiquement pesées

² Basé sur la différence par truie entre les poids au sevrage, compte tenu du taux de renouvellement les nombres de truies sont plus faibles soient 758, 795, 735, 588, 467, 331, 243 et 180 pour les parités 1 à 8

Estimation des besoins de phosphore pour une rétention maximale de P chez la truie en gestation et en lactation et estimation du facteur de retenu en phosphore

Le modèle de Jongbloed *et al.* (1999), adapté par Jondreville et Dourmad (2005) a été reconstruit en Excel. Dans ce dernier, le besoin est établi avec la méthode factorielle qui comprend des besoins d'entretien de 10 mg/kg de PV, un besoin de croissance qui correspond au P corporel pour une rétention maximale dans les tissus mous et osseux qui dépend du poids vif de l'animal, un besoin de production qui correspond à la rétention de P dans le placenta et les foetus qui dépend du nombre de porcelets nés totaux et du poids de la portée. Le besoin de P par compagnie et par parité décortiqué en ces différentes composantes a été calculé à partir des données extraites des deux bases de données, soit les poids aux jours 0 et 110 de gestation, le nombre de nés totaux et le poids de portée à la naissance (Tableau 3.5). On peut remarquer que les poids vifs sont plus importants chez les truies de parités 3 et plus pour la compagnie 2.

La dérivée première de la quantité de P corporel calculée entre les jours 0 et 110 de gestation en fonction du poids vif permet de calculer la rétention de P par unité de gain de poids, soit le facteur de rétention utilisé pour le calcul du bilan alimentaire (Figure 3.5). Bien que des différences existent entre les deux compagnies, soit des poids et des gains plus élevés pour la compagnie 2 chez les truies plus vieilles et des gains de poids plus important en gestation chez la compagnie 1 (Figure 3.5), il est difficile de savoir si c'est dû à l'alimentation, la gestion ou encore la génétique.

Tableau 3.5 – Estimation des besoins de P pour chaque ferme expérimentale

| Parité | Besoin de P | | | | | | | P total truie et porcelets, g |
|---------|--------------------|---------------|-----------|-------------|----------------|---------------|------------------|-------------------------------|
| | Jours de gestation | Poids vif, kg | Foetus, g | Placenta, g | Entretien, g/j | Croissance, g | P total truie, g | |
| Ferme 1 | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 165 | 0.00 | 0.00 | 1.65 | 815 | 815 | 815 |
| 2 | 0 | 191 | 0.00 | 0.00 | 1.91 | 932 | 932 | 932 |
| 3 | 0 | 211 | 0.00 | 0.00 | 2.11 | 1015 | 1015 | 1015 |
| 4 | 0 | 226 | 0.00 | 0.00 | 2.26 | 1081 | 1083 | 1083 |
| 5 | 0 | 235 | 0.00 | 0.00 | 2.35 | 1115 | 1115 | 1115 |
| 6 | 0 | 241 | 0.00 | 0.00 | 2.41 | 1140 | 1140 | 1140 |
| 1 | 110 | 227 | 95.1 | 3.27 | 2.27 | 1084 | 1087 | 1183 |
| 2 | 110 | 253 | 103 | 3.25 | 2.53 | 1189 | 1192 | 1296 |
| 3 | 110 | 269 | 108 | 3.47 | 2.69 | 1250 | 1253 | 1361 |
| 4 | 110 | 278 | 106 | 3.54 | 2.78 | 1285 | 1291 | 1397 |
| 5 | 110 | 283 | 104 | 3.60 | 2.83 | 1304 | 1307 | 1411 |
| 6 | 110 | 285 | 98.8 | 3.55 | 2.85 | 1312 | 1316 | 1415 |
| Ferme 2 | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 165 | 0.00 | 0.00 | 1.65 | 817 | 817 | 817 |
| 2 | 0 | 195 | 0.00 | 0.00 | 1.95 | 948 | 948 | 948 |
| 3 | 0 | 221 | 0.00 | 0.00 | 2.21 | 1059 | 1059 | 1059 |
| 4 | 0 | 240 | 0.00 | 0.00 | 2.40 | 1135 | 1137 | 1135 |
| 5 | 0 | 255 | 0.00 | 0.00 | 2.55 | 1195 | 1195 | 1195 |
| 6 | 0 | 262 | 0.00 | 0.00 | 2.62 | 1224 | 1224 | 1224 |
| 1 | 110 | 235 | 93.9 | 3.21 | 2.35 | 1117 | 1117 | 1214 |
| 2 | 110 | 269 | 100 | 3.30 | 2.69 | 1249 | 1249 | 1353 |
| 3 | 110 | 287 | 101 | 3.38 | 2.87 | 1320 | 1320 | 1425 |
| 4 | 110 | 301 | 101 | 3.41 | 3.01 | 1373 | 1373 | 1477 |
| 5 | 110 | 308 | 98.4 | 3.41 | 3.08 | 1399 | 1399 | 1501 |
| 6 | 110 | 313 | 95.0 | 3.37 | 3.13 | 1415 | 1415 | 1514 |

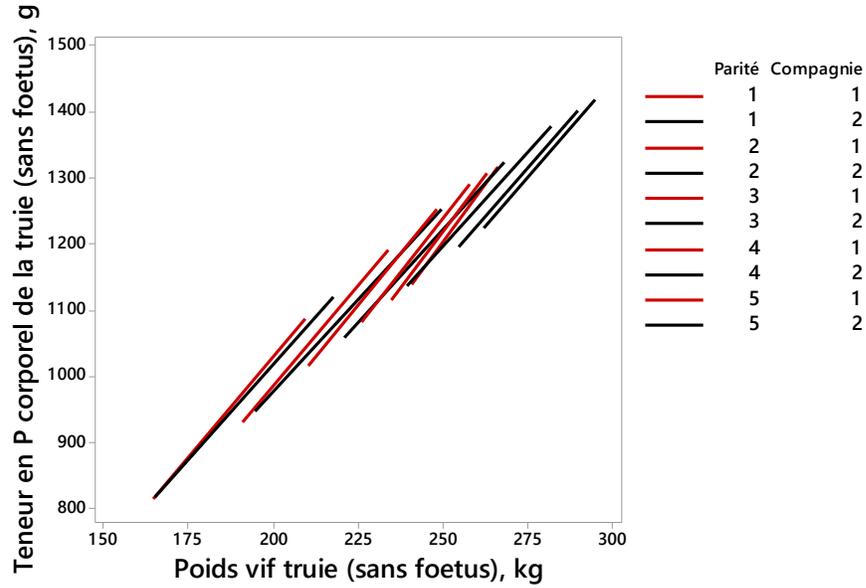


Figure 3.5 – Teneur en P corporel en fonction du poids vif en fonction de la parité pour chacune des fermes expérimentales

Une équation générale moyenne a donc été générée. L'effet parité est quant à lui significatif que sur l'ordonnée à l'origine (Figure 3.6), indiquant que le P retenu par gain de poids ne change pas entre les parités. La dérivée première montre un coefficient de rétention de 5,6 g / kg de gain de poids, lequel a été retenu pour le bilan alimentaire.

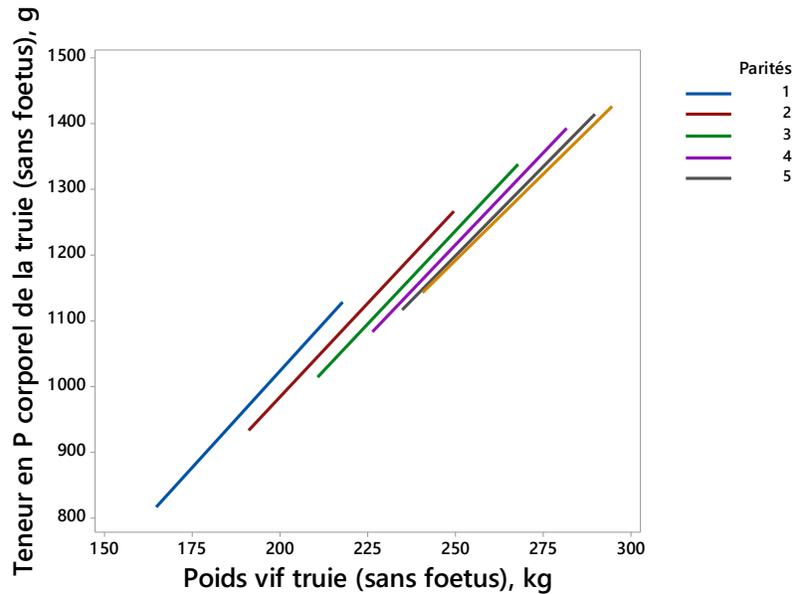


Figure 3.6 – Teneur en P corporel en fonction du poids vif en fonction de la parité pour les deux fermes expérimentales confondues

3.3.4 Conclusion

Le facteur de rétention chez la truie a pu être validé par le biais d'utilisation de bases de données de performance de truies et de modèle d'estimation des besoins des truies publié dans la littérature. Suite à l'analyse de ces données, le facteur de rétention en phosphore a été établi à 5,6 g P/kg de gain.

4. Analyse de sensibilité

4.1 Contexte

L'analyse de sensibilité consiste à évaluer l'impact de la variation de chacun des paramètres de l'équation du bilan alimentaire sur le résultat de l'équation, soit ici le phosphore excrété. Cette analyse nous permet de cibler les paramètres qui influencent le plus l'excrétion de phosphore. En fonction des résultats obtenus, des bonnes pratiques pour minimiser l'erreur en maîtrisant les points sensibles du calcul seront données aux utilisateurs par l'entremise d'un guide technique (Cloutier et Lemelin, 2017).

4.2 Méthodologie

L'analyse de sensibilité a été effectuée en estimant l'incertitude sur des paramètres communément connus sur une ferme commerciale. Par exemple, pour le porc en engraissement, l'équation du bilan alimentaire sur le P excrété est donnée par :

$$P \text{ excrété} = P \text{ servi}^{(a)} - P \text{ retenu}^{(b)}$$

avec

^(a) P servi (g) = quantité d'aliment servi (kg) × teneur en P de l'aliment (g de P/kg d'aliment)

^(b) P retenu (g) = gain de poids (kg) × rétention en P (g de P/kg de gain)

où

gain de poids (kg) = (nombre de porcs vendus × poids carcasse moyen (kg) / rendement carcasse moyen) + (nombre de porcs morts × poids moyen morts (kg)) – (nombre de porcs entrés × poids à l'entrée).

L'analyse a consisté à faire varier chacun des critères en plus et en moins par rapport aux variations pouvant être rencontrées sur le terrain en prenant l'exemple d'un troupeau de 1000 porcs pour un engraissement, d'un troupeau de 1000 porcelets pour une pouponnière et un troupeau de 400 truies pour un naisseur. Pour ce faire, l'écart-type de chaque paramètre a été estimé selon l'avis d'experts en production porcine provenant de différents milieux et possédant différentes expertises, soit des experts en nutrition, des directeurs de production, des conseillers techniques et des producteurs (Tableaux 4.1 à 4.3). Il est à noter que ces écarts-types ont été établis à l'échelle du troupeau (moyenne ou total des animaux) et non à l'échelle individuelle. De plus, les estimations présentées sont prudentes et se rapprochent parfois davantage d'une étendue maximale que d'un écart-type.

La provenance des valeurs de chacun des paramètres, renseignée dans les tableaux, est celle actuellement utilisées par la plupart des producteurs et, en fonction des résultats de l'analyse de sensibilité, des recommandations sur la provenance recommandée pour la réalisation du bilan alimentaire seront faites au besoin.

Tableau 4.1 - Écart-types des paramètres du calcul du bilan alimentaire pour un élevage de type engraissement

| Paramètres | Écart-type (± %) | Provenance de la valeur du paramètre et justifications de l'établissement de la valeur d'écart-type |
|--------------------------------------|------------------|---|
| Nombre d'animaux entré | 0,5 % | Provenance: Registres d'achat et données d'inventaire Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que la variance est généralement de 0 %, mais qu'elle peut varier jusqu'à 0,5 % maximum. |
| Poids moyen entrée, kg | 5,0 % | Provenance : Pesée de camion ou autre type de pesées ou estimation à partir de l'âge des porcs Justification : Sondage auprès des experts. |
| Poids moyen mort, kg | 30,0 % | Provenance : Estimation Justification : Sondage auprès des experts. |
| Nombre animaux sortis | 0,1 % | Provenance : Registre de vente (mandat, certificat ou bordereau d'abattage) Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type est généralement de 0 %, car les producteurs sont payés sur le nombre de porcs vendus. |
| Poids carcasse fin, kg | 0,02 % | Provenance : Poids provenant de l'abattoir (poids carcasse) Justification : Variance établie à 0,02 %. Cette valeur est basée sur la précision des balances de carcasse des abattoirs. Encore une fois, les producteurs sont payés sur ces valeurs, donc c'est très précis. |
| Rendement carcasse, % | 2,0 % | Provenance : Valeur fixée à 81 % pour tous les élevages. Justification : Variance établit à 2 %. Cette valeur est basée sur les données de la station de Deschambault du CDPQ où les porcs sont pesés avant l'abattage. |
| Rétention en P, g/kg | 7,8 % | Provenance : Valeur fixée à 5,1 g P / kg pour tous les élevages. Justification : L'écart-type a été basé sur les résultats des essais expérimentaux du porc en engraissement (voir section 3.1) |
| Quantité d'aliment servi (total), kg | 1,0 % | Provenance : Valeur provenant des registres d'achat d'aliments ou d'ingrédients dont les quantités proviennent d'une pesée et d'un inventaire en début et en fin de période d'évaluation ou de lot Justification : Sondage auprès des experts dont l'écart-type est en fonction de la précision de la balance de la meunerie et la fréquence des livraisons. |
| Teneur en phosphore de l'aliment, % | 10,0 % | Provenance : Valeur inscrite sur l'étiquette Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type peut atteindre 10% en se fiant sur une valeur d'étiquette uniquement. L'écart-type de cette valeur est important car les ingrédients utilisés dans l'alimentation des porcs en engraissement sont plus variables et parfois moins bien caractérisé. |

Tableau 4.2 - Écart-type des paramètres du calcul du bilan alimentaire pour un élevage de type pouponnière

| Paramètres | Écart-type (\pm %) | Provenance de la valeur du paramètre et justifications de l'établissement de la valeur de variance |
|--------------------------------------|-----------------------|--|
| Nombre d'animaux entrés | 0,5 % | Provenance : Registres d'achat et données d'inventaire Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type est généralement de 0 %, mais qu'elle peut varier jusqu'à 0,5 % maximum. |
| Poids moyen entrée, kg | 5,0 % | Provenance : Pesée de camion ou autre type de pesées ou estimation à partir de l'âge des porcs Justification : Sondage auprès des experts. |
| Poids moyen mort, kg | 30,0 % | Provenance : Estimation Justification : Sondage auprès des experts mentionnant qu'il est possible d'être plus précis en estimant le poids des morts basé sur leur date de mortalité, mais la variation de 30 % considère une estimation très grossière du poids de mortalité. |
| Nombre animaux sortis | 0,1 % | Provenance : Registre de vente Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type est généralement de 0 %, car les producteurs sont payés sur le nombre de porcs vendus. |
| Poids moyen animaux sortis, kg | 0,02 % | Provenance : Pesée de camion ou autre type de pesées ou estimation à partir de l'âge des porcs Justification : Sondage auprès des experts. |
| Rétention en P, g/kg | 10 % | Provenance : Valeur fixée à 5,1 g P / kg pour tous les élevages. Justification : L'écart-type a été basé sur les résultats des essais expérimentaux (voir section 3.2) |
| Quantité d'aliment servi (total), kg | 1,0 % | Provenance : Valeur provenant des registres d'achat d'aliments ou d'ingrédients dont les quantités proviennent d'une pesée + inventaires en début et en fin de période d'évaluation ou de lot Justification : Sondage auprès des experts dont l'écart-type est en fonction de la précision de la balance de la meunerie et la fréquence des livraisons. |
| Teneur en phosphore de l'aliment, % | 5,0 % | Provenance : Valeur inscrite sur l'étiquette Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type peut atteindre 5% en se fiant sur une valeur d'étiquette. L'écart-type est moins élevé que pour le porc en engraissement car les ingrédients utilisés dans l'alimentation du porc en engraissement sont plus variables et parfois moins bien caractérisés. Les aliments pour les porcs en pouponnière sont beaucoup moins variables, donc l'écart-type est moins important |

Tableau 4.3 - Écart-type des paramètres du calcul du bilan alimentaire pour un élevage de type naisseur

| Paramètres | Écart-type (± %) | Provenance de la valeur du paramètre et justifications de l'établissement de la valeur de variance |
|--------------------------------------|------------------|--|
| Inventaire truie | 0,5% | Provenance : Registres d'inventaire Justification : Sondage auprès des experts |
| Nombre de truies réformées et mortes | 1,0% | Provenance : Registre de mortalité et de vente Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type est généralement de 0 %, mais qu'elle peut varier jusqu'à 1 % maximum. |
| Poids cochette entrée (kg) | 10,0% | Provenance : Poids provenant d'une pesée ou estimation en fonction de l'âge Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que, généralement, les producteurs demandent un poids de cochette cible qui demeure semblable tout l'année. Ainsi, en moyenne, les cochettes entrées auront généralement un poids à + ou - 10% d'erreur, voire moins s'il y a une valeur fournie par le vendeur basée sur une pesée. |
| Poids saillie cochette | 15,0% | Provenance : Estimation Justification : Sondage auprès des experts. |
| Poids vifs truie réformé | 15,0% | Provenance : Estimation ou poids d'abattage si disponible Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que cette valeur est généralement estimée. Certains producteurs auront parfois les valeurs de poids de l'abattoir, mais cela reste estimé la plupart du temps. |
| Mortalité porcelet | 5,0% | Provenance : Registre mortalité Justification : Sondage auprès des experts. |
| Poids porcelet morts (kg) | 20,0% | Provenance : 2 kg. Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que la très grande majorité des porcelets meurent dans les premiers jours de vie, donc un poids moyen oscillant entre 1,6 kg et 2,4 kg seraient très près de la réalité. |
| Nombre de porcelets sevrés | 0,5% | Provenance : Registre de vente Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type est généralement de 0 %, car les producteurs sont payés sur le nombre de porcelets vendus. |
| Poids moyen porcelets sevrés (kg) | 5,0% | Provenance : Pesée de camion ou autre type de pesées ou estimation à partir de l'âge des porcs Justification : Sondage auprès des experts. |
| Facteur rétention cochette | 8,0% | Provenance : Valeur fixée à 5,6 g P / kg pour tous les élevages. Justification : L'écart-type a été basé sur les résultats des essais expérimentaux (voir section 3.3) |
| Facteur de rétention truie | 8,0% | Provenance : Valeur fixée à 5,6 g P / kg pour tous les élevages. Justification : L'écart-type a été basé sur les résultats des essais expérimentaux (voir section 3.3) |
| Facteur rétention porcelet | 8,0% | Provenance : Valeur fixée à 5,1 g P / kg pour tous les élevages. Justification : L'écart-type a été basé sur les résultats des essais expérimentaux (voir section 3.2) |

| | | |
|-------------------------------------|------|---|
| Quantité d'aliment servi, kg | 1,0% | <p>Provenance : Valeur provenant des registres d'achat d'aliments ou d'ingrédients dont les quantités proviennent d'une pesée + inventaires en début et en fin de période d'évaluation ou de lot</p> <p>Justification : Sondage auprès des experts dont l'écart-type est en fonction de la précision de la balance de la meunerie et la fréquence des livraisons.</p> |
| Teneur en phosphore de l'aliment, % | 5,0% | <p>Provenance : Valeur inscrite sur l'étiquette</p> <p>Justification : Sondage auprès des experts mentionnant que l'écart-type peut atteindre 5% en se fiant sur une valeur d'étiquette. L'écart-type est moins élevé que pour le porc en engraissement car les ingrédients utilisés dans l'alimentation du porc en engraissement sont plus variables et parfois moins bien caractérisés. Les aliments pour les truies, tout comme pour les porcs en pouponnière, sont beaucoup moins variables, donc l'écart-type est moins important.</p> |

4.3 Résultats et discussion

Le facteur qui influence le plus le P excrété chez le porc en engraissement est la teneur en phosphore de l'aliment (Tableau 4.4), car ce dernier est un facteur multiplicatif qui détermine la quantité de P qui entre dans l'élevage. Il est à noter que le 10% de variabilité utilisée est une valeur maximale pouvant parfois être observée en utilisant seulement la valeur inscrite sur l'étiquette de l'aliment. La valeur de l'étiquette est plus variable car elle représente des teneurs moyennes de l'aliment et non pas une valeur personnalisée en fonction du lot d'aliments récemment fabriqué. Dans le cadre de la réalisation d'un bilan alimentaire, une attention plus particulière doit donc être accordée à ce paramètre, c'est-à-dire que la valeur de P utilisée doit provenir d'analyses de laboratoire récentes et personnalisées en fonction de l'élevage. L'analyse de laboratoire peut être réalisée à partir des aliments ou des ingrédients, ou encore provenir du fournisseur d'aliments ou d'ingrédients qui, de son côté, fait régulièrement des analyses de laboratoire de ses ingrédients et aliments complets. En utilisant des teneurs en P basées sur des analyses de laboratoire dont la variabilité mensuelle est captée par le biais de prélèvements mensuels ou d'analyses de laboratoire mensuels, l'écart-type est alors aisément réduit à 5 % voire moins ($10 \% / \sqrt{12} = 2,88 \%$).

Tableau 4.4 - Résultats de l'analyse de sensibilité pour un élevage de type engraissement

| Paramètres du calcul du bilan alimentaire | Données ferme | Écart-type (± %) | Impact unitaire de l'écart-type | Impact de l'écart-type sur les résultats du bilan alimentaire | |
|---|---------------|------------------|---------------------------------|---|---------------|
| | | | | minimum | maximum |
| Nombre d'animaux entrés | 1000 | 0,5% | 5 | 99,9% | 100,1% |
| Poids moyen entrée, kg | 25 | 5,0% | 1,25 | 99,2% | 100,8% |
| Poids moyen mort, kg | 70 | 30,0% | 21 | 100,6% | 99,4% |
| Nombre animaux sortis, | 970 | 0,1% | 0,485 | 100,04% | 99,96% |
| Poids carcasse fin, kg | 107 | 0,02% | 0,0214 | 99,97% | 100,03% |
| Rendement carcasse* | 81 | 2,0% | 1,62 | 98,2% | 101,8% |
| Rétention en P, g/kg * | 5,1 | 7,8% | 0,3978 | 105,5% | 94,5% |
| Quantité d'aliment servi, kg | 248 000 | 1,0% | 2,48 | 98,3% | 101,7% |
| Teneur en phosphore de l'aliment, % | 0,5 | 10,0% | 0,05 | 88,1% | 111,9% |

* Valeur fixe pour tous les élevages de la même catégorie

La rétention de P varie davantage dans l'analyse de sensibilité en pouponnière qu'en engraissement (Tableau 4.5). Cette grande variation vient du fait que l'apport en phosphore digestible ainsi que son ratio avec le calcium est variable d'un fournisseur d'aliment à l'autre et que cela influence de manière plus importante la rétention des porcs en pouponnière qui n'ont pas beaucoup de réserves osseuses. Ainsi, le facteur qui influence le plus le P excrété en pouponnière est la rétention en P. Il faut également retenir que la rétention du P total servie chez le porcelet de pouponnière est de l'ordre de 60 %, alors que celle des porcs en engraissement se situe davantage autour de 40 à 50 %. Le second critère le plus sensible après la rétention en phosphore est le poids moyen des porcs sortis. Sachant que les poids provenant de pesées sont plus précis que les estimations, l'utilisation de valeurs provenant de pesées est donc recommandée. Finalement, il est également recommandé d'utiliser une teneur en P basée sur des analyses de laboratoire, car ce paramètre est également sensible.

Tableau 4.5 - Résultats de l'analyse de sensibilité pour un élevage de type pouponnière

| Paramètres | Données ferme | Écart-type (± %) | Impact unitaire de l'écart-type | Impact de l'écart-type sur les résultats du bilan alimentaire | |
|-------------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------|---|---------|
| | | | | Minimum | Maximum |
| Nombre d'animaux entrés | 1000,0 | 0,5% | 5,00 | 99,8% | 100,2% |
| Poids moyen entrée, kg | 6,6 | 5,0% | 0,33 | 97,8% | 102,2% |
| Poids moyen mort, kg | 15,0 | 30,0% | 4,50 | 100,9% | 99,1% |
| Nombre animaux sortis, | 970,0 | 0,5% | 4,85 | 100,9% | 99,1% |
| Poids moyen sortis, kg | 28,0 | 5,0% | 1,40 | 109,3% | 90,7% |
| Rétention en P, g/kg * | 5,1 | 10,0% | 0,51 | 114,3% | 85,7% |
| Quantité d'aliment servi, kg | 29800 | 1,0% | 300 | 97,6% | 102,4% |
| Teneur en phosphore de l'aliment, % | 0,6 | 5,0% | 0,03 | 94,7% | 105,3% |

* Valeur fixe pour tous les élevages de la même catégorie

Chez les naisseurs, peu de paramètres sont sensibles (Tableau 4.6). Cela peut s'expliquer par le fait que les valeurs des paramètres sont très bien collectées dans la très grande majorité des élevages naisseurs. Le critère le plus sensible est la teneur en P des aliments tout comme pour l'engraissement. Cela s'explique principalement par le fait que les élevages de type naisseur retiennent au maximum 20 % de ce qu'ils ingèrent. La teneur en P influençant directement le P servi, son écart-type a un plus grand impact sur les résultats du calcul que les paramètres influençant le P retenu. Comme pour l'engraissement, une attention particulière doit être accordée à ce paramètre, c'est-à-dire que la valeur de P utilisée doit provenir d'analyses de laboratoire récentes et personnalisées en fonction de l'élevage comme pour les autres catégories d'élevage.

Tableau 4.6 - Résultats de l'analyse de sensibilité pour un élevage de type naisseur

| Paramètres | Données ferme | Écart-type (± %) | Impact unitaire de l'écart-type | Impact de l'écart-type sur les résultats du bilan alimentaire | |
|--------------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------|---|---------|
| | | | | minimum | maximum |
| Inventaire truie | 400 | 0,5% | 4 | 100,2% | 99,8% |
| Nombre de truies réformées et mortes | 180 | 1,0% | 0,45 | 100,0% | 100,0% |
| Poids cochette entrée (kg) | 100 | 10,0% | 10 | 100,0% | 100,0% |
| Poids saillie cochette | 150 | 15,0% | 22,5 | 98,8% | 101,2% |
| Poids vifs truie réformé | 260 | 15,0% | 39 | 102,0% | 98,0% |
| Mortalité porcelet | 1568 | 5,0% | 80 | 100,0% | 100,0% |
| Poids porcelet morts (kg) | 2 | 20,0% | 0,4 | 100,2% | 99,8% |
| Nombre de porcelets sevrés | 9800 | 0,5% | 0,1225 | 100,1% | 99,9% |
| Poids moyen porcelets sevrés (kg) | 6 | 5,0% | 0,3 | 100,8% | 99,2% |
| Facteur rétention cochette | 5,6 | 8,0% | 0,432 | 100,0% | 100,0% |
| Facteur de rétention truie | 5,6 | 8,0% | 0,432 | 100,5% | 99,5% |
| Facteur rétention porcelet | 5,1 | 8,0% | 0,408 | 101,3% | 98,7% |
| Quantité d'aliment servi, kg | 446391 | 1,0% | 4463,91 | 98,8% | 101,2% |
| Teneur en phosphore de l'aliment, % | 0,5 | 5,0% | 0,025 | 93,9% | 106,1% |

4.4 Conclusion

La fiabilité des résultats du bilan alimentaire s'appuie sur la disponibilité et l'exactitude des données récoltées. La réalisation d'une analyse de sensibilité a permis de mettre en évidence les paramètres plus sensibles du calcul et des exigences minimales sont recommandées en lien avec la provenance des valeurs utilisées pour la réalisation des bilans alimentaires.

Les résultats de cette analyse de sensibilité ont montré que c'est la valeur de teneur en P des aliments qui est le paramètre le plus sensible de tous, et ce, pour toutes les catégories d'élevages exigeant des analyses de laboratoire.

Par la suite, de manière un peu moins sensible mais tout de même importante, les poids d'entrée et de sortie des porcs, particulièrement pour les élevages de type « pouponnière », sont des paramètres dont les valeurs devraient préférablement provenir d'une pesée afin d'améliorer l'exactitude des résultats du bilan alimentaire. De même, mais pour l'ensemble des catégories d'élevages, les quantités d'aliments servis utilisées pour la réalisation du bilan alimentaire devraient être basées sur des pesées.

Les autres paramètres du calcul étant des données déjà amassées de manière systématique par la très grande majorité des éleveurs, peu de changements sont à apporter pour obtenir les valeurs des paramètres nécessaires au calcul.

Bref, les paramètres critiques du calcul du bilan alimentaire sont en ordre d'importance :

1. La teneur en phosphore total des aliments ou des ingrédients;
2. Les poids d'entrée et de sortie des porcs (plus particulièrement chez les élevages de type « pouponnière »);
3. Les quantités d'aliments ou d'ingrédients servis.

5. Calcul de l'incertitude sur l'estimation du phosphore excrété

Le calcul du phosphore excrété fait intervenir plusieurs variables disponibles à la ferme et certains paramètres liés à la composition de l'aliment et à la rétention par l'animal. Une estimation de l'incertitude pour chacun de ces termes a été nécessaire pour déterminer l'incertitude sur l'estimation du phosphore excrété, les valeurs d'incertitude correspondant aux écart-types établies à la section 4 du présent rapport. La présente section détaille, pour chaque type de fermes porcines, les variables d'entrée pour le calcul, l'incertitude associée à chacune de ces variables et la méthode d'estimation de l'incertitude sur le phosphore excrété.

5.1 Engraissement

Hormis la rétention en P, toutes les variables nécessaires pour le calcul du phosphore excrété peuvent être calculées ou estimées à la ferme, à l'abattoir ou à la meunerie. Le phosphore excrété et son incertitude sont calculés à partir des variables du Tableau 5.1 et de certaines variables intermédiaires (Tableau 5.2).

L'écart-type relatif (%) ou coefficient de variation sur le phosphore excrété calculé pour un engraissement typique est de 11,0 % (Tableau 5.3). Les éléments suivants sont à considérer :

- Le paramètre le plus sensible est la teneur en phosphore de l'aliment (C_P). Le nombre d'analyses chimiques et de sous-échantillons par analyse chimique est généralement élevé. Pour le pire scénario, où un producteur utilise la valeur de P basée sur une seule analyse chimique provenant

d'un seul lot d'aliments, tel que supposé lors de l'analyse de sensibilité (Tableau 4.1), on obtiendrait un écart-type relatif (%) sur le phosphore excrété de 18,8 %.

- L'incertitude sur la quantité d'aliment servi devrait augmenter si le producteur utilisait ses propres récoltes. Avec un écart-type sur la quantité d'aliment de 5 % (basé sur l'avis d'experts), l'écart-type relatif (%) sur le phosphore excrété serait de 14,0 %.
- Autrement, les écarts-types estimés au Tableau 5.1 étaient soit basés sur des données réelles, soit sur l'avis d'experts. Dans ce dernier cas, les valeurs choisies étaient légèrement surestimées afin de ne pas sous-estimer l'écart-type relatif (%) sur le phosphore excrété.
- Les écarts-types sont estimés pour un lot. Les écarts-types annuels relatifs (%) devraient être plus petits.
- Pour simplifier l'interprétation, les écarts-types relatifs (%) sur les valeurs d'entrée ont été considérés constants. En réalité, il est fort probable que l'écart-type relatif de certaines variables diminue lorsque le nombre d'animaux augmente.
- Il y a possiblement de la corrélation positive pour les couples de variables suivants : nombre d'animaux à l'entrée (N_e) et nombre animaux sortis (N_s), poids carcasse (W_c) et rendement carcasse (R_c), et poids à l'entrée (W_e) et à la sortie (W_s). Comme des différences ou des ratios sont calculés à partir de ces couples (Tableau 5.2), les variances réelles sont possiblement inférieures à celles calculées au Tableau 5.3.

Tableau 5.1 - Variables d'entrée nécessaires pour le calcul du phosphore excrété en engraissement. Les valeurs en entrée sont un exemple pour une ferme donnée et variera d'une ferme à l'autre. L'écart-type intra-lot (%) est considéré fixe d'une ferme à l'autre.

| Variable d'entrée (symbole pour les équations) | Valeur entrée | Écart-type intra-lot | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | % | Valeur absolue |
| Nombre d'animaux à l'entrée (N_e) | 1000 | 0,5 | 5 |
| Poids (kg) moyen à l'entrée (W_e) | 25 | 5,0 | 1,3 |
| Poids (kg) moyen mort/perdu (W_m) | 70 | 30,0 | 21 |
| Nombre animaux sortis (N_s) | 970 | 0,1 | 0,97 |
| Poids (kg) carcasse (W_c) | 107 | 0,2 | 0,21 |
| Rendement carcasse (R_c) | 0,81 | 2,0 | 0,016 |
| Rétention en P (R_p) | $5,1 \times 10^{-3}$ | 7,8 | $4,0 \times 10^{-4}$ |
| Quantité (kg) d'aliment servi au total (Q) | $2,48 \times 10^5$ | 1,0 | 2480 |
| Teneur en phosphore de l'aliment (C_p) | $5,0 \times 10^{-3}$ | 5,0 | $2,5 \times 10^{-4}$ |

Tableau 5.2 - Calcul du phosphore excrété et de son incertitude pour un lot en engraissement.

| Variable calculée (symbole pour les équations) | Valeur estimée | Variance estimée* |
|--|-------------------------------|---|
| Nombre d'animaux morts/perdus (N_m) | $N_e - N_s$ | $\sigma^2(N_e) + \sigma^2(N_s)$ |
| Gain de poids (kg) moyen mort/perdu (G_m) | $W_m - W_e$ | $\sigma^2(W_m) + \sigma^2(W_e)$ |
| Poids (kg) moyen à la sortie (W_s) | W_c/R_c | $\sigma^2(R_c) W_c^2/R_c^4 + \sigma^2(W_c)/R_c^2$ |
| Gain de poids (kg) moyen à la sortie (G_s) | $W_s - W_e$ | $\sigma^2(W_s) + \sigma^2(W_e)$ |
| Gain de poids (kg) total du lot (G_T) | $N_s G_s + N_m G_m$ | $\sigma^2(G_s) N_s^2 + \sigma^2(N_s) G_s^2 + \sigma^2(G_m) N_m^2 + \sigma^2(N_m) G_m^2$ |
| P total (kg) servi (P_i) | $Q C_p$ | $\sigma^2(C_p) Q^2 + \sigma^2(Q) C_p^2$ |
| P total (kg) retenu (P_r) | $G_T R_p$ | $\sigma^2(R_p) G_T^2 + \sigma^2(G_T) R_p^2$ |
| P total (kg) excrété (P_e) | $P_i - P_r$ | $\sigma^2(P_i) + \sigma^2(P_r)$ |

*La variance a été estimée par un développement limité de premier ordre en supposant l'indépendance entre les variables utilisées dans le calcul de la valeur estimée. Le terme $\sigma^2(X)$ réfère à la variance **absolue**, soit le carré de l'écart-type **absolu**, de la variable X .

Tableau 5.3 - Exemple de calcul du phosphore excrété pour un lot en engraissement basé sur les valeurs d'entrée du Tableau 5.1.

| Variable calculée (symbole pour les équations) | Valeur estimée | Variance estimée | Coefficient de variation (%) |
|--|--|---|------------------------------|
| Nombre d'animaux morts/perdus (N_m) | $1000 - 970 = 30$ | $5^2 + 0,97^2 = 25,2$ | 16,7 |
| Gain de poids (kg) moyen mort/perdu (G_m) | $70 - 25 = 45$ | $21,0^2 + 1,3^2 = 442,6$ | 46,7 |
| Poids (kg) moyen à la sortie (W_s) | $107/0,81 = 132,1$ | $0,016^2 \cdot 107^2/0,81^4 + 0,21^2/0,81^2 = 7,0$ | 2,0 |
| Gain de poids (kg) moyen à la sortie (G_s) | $132,1 - 25 = 107,1$ | $7,0 + 1,3^2 = 8,6$ | 2,7 |
| Gain de poids (kg) total du lot (G_T) | $970 \cdot 107,1 + 30 \cdot 45 = 1,05 \times 10^5$ | $8,6 \cdot 970^2 + 0,97^2 \cdot 107,1^2 + 442,6 \cdot 30^2 + 25,2 \cdot 45^2 = 8,6 \times 10^6$ | 2,8 |
| P total (kg) servi (P_i) | $2,48 \times 10^5 \cdot 5,0 \times 10^{-3} = 1240$ | $(2,5 \times 10^{-4})^2 \cdot (2,48 \times 10^5)^2 + 2480^2 \cdot (5,0 \times 10^{-3})^2 = 3998$ | 5,1 |
| P total (kg) retenu (P_r) | $1,05 \times 10^5 \cdot 5,1 \times 10^{-3} = 537$ | $(4,0 \times 10^{-4})^2 \cdot (1,05 \times 10^5)^2 + 8,6 \times 10^6 \cdot (5,1 \times 10^{-3})^2 = 1975$ | 8,3 |
| P total (kg) excrété (P_e) | $1240 - 537 = 703$ | $3998 + 1975 = 5973$ | 11,0 |

5.2 Pouponnière

La même approche est utilisée pour une pouponnière. La principale différence par rapport à l'engraissement est que le poids à la sortie de la pouponnière est spécifié en entrée (Tableau 5.4). Une pesée des porcelets sera exigée. Les équations pour le calcul du phosphore excrété en pouponnière et son incertitude sont les mêmes que pour l'engraissement (Tableau 5.2) à l'exception du poids à la sortie (W_s) qui n'a plus à être calculé puisqu'il est spécifié en variable d'entrée.

Tableau 5.4 - Variables d'entrée nécessaires pour le calcul du phosphore excrété en pouponnière. Les valeurs en entrée sont un exemple pour une ferme donnée et variera d'une ferme à l'autre. Les écarts-types intra-lots (%) différents de ceux de l'engraissement sont en gras. Les justifications pour l'écart-type intra-lot (%) sont les mêmes que pour l'engraissement (Tableau 5.1).

| Variable d'entrée (symbole pour les équations) | Valeur entrée | Écart-type intra-lot | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | % | Valeur absolue |
| Nombre d'animaux à l'entrée (N_e) | 400 | 0,5 | 2 |
| Poids (kg) moyen à l'entrée (W_e) | 6.6 | 5,0 | 0,33 |
| Poids (kg) moyen mort/perdu (W_m) | 15 | 30,0 | 4,5 |
| Nombre animaux sortis (N_s) | 388 | 0,5 | 1,94 |
| Poids (kg) moyen à la sortie (W_s) | 28,0 | 5,0 | 1,4 |
| Rétention en P (R_p) | $5,1 \times 10^{-3}$ | 10,0 | $5,1 \times 10^{-4}$ |
| Quantité (kg) d'aliment servi au total (Q) | $1,2 \times 10^4$ | 1,0 | 120 |
| Teneur en phosphore de l'aliment (C_p) | $6,3 \times 10^{-3}$ | 5,0 | $3,2 \times 10^{-4}$ |

Tableau 5.5 - Exemple de calcul du phosphore excrété pour un lot en pouponnière basé sur les valeurs d'entrée du Tableau 5.4.

| Variable calculée (symbole pour les équations) | Valeur estimée | Variance estimée | Coefficient de variation (%) |
|---|---|--|---|
| Nombre d'animaux morts/perdus (N_m) | $400 - 388 = 12$ | $2^2 + 1,94^2 = 7,8$ | 23,2 |
| Gain de poids (kg) moyen mort/perdu (G_m) | $15,0 - 6,6 = 8,4$ | $4,5^2 + 0,33^2 = 20,4$ | 53,7 |
| Gain de poids (kg) moyen à la sortie (G_s) | $28,0 - 6,6 = 21,4$ | $1,4^2 + 0,33^2 = 2,1$ | 6,7 |
| Gain de poids (kg) total du lot (G_T) | $388 \cdot 21,4 +$ $12 \cdot 8,4 =$ 8404 | $2,1 \cdot 388^2 + 1,4^2 \cdot 21,4^2$ $+ 20,4 \cdot 12^2 + 7,8 \cdot 8,4^2$ $= 3,2 \times 10^5$ | 6,7 |
| P total (kg) servi (P_i) | $1,2 \times 10^4 \cdot$ $6,3 \times 10^{-3} =$ 75,6 | $(3,2 \times 10^{-4})^2 \cdot (1,2 \times 10^4)^2$ $+ 120^2 \cdot (6,3 \times 10^{-3})^2 =$ 14,9 | 5,1 |
| P total (kg) retenu (P_r) | $8404 \cdot$ $5,1 \times 10^{-3} =$ 42,9 | $(5,1 \times 10^{-4})^2 \cdot 8404^2 + 3,2$ $\times 10^5 \cdot (5,1 \times 10^{-3})^2 = 26,6$ | 12,0 |
| P total (kg) excrété (P_e) | $75,6 - 42,9 = 32,7$ | $14,9 + 26,6 = 41,5$ | 19,7 |

L'écart-type relatif (%) sur le phosphore excrété calculé pour une pouponnière typique est de 19,7 % (Tableau 5.5). Il est plus grand en relatif (%) que celui pour un engraissement (11,0 %; Tableau 5.3) puisque l'écart-type sur le gain de poids et sur la rétention en P, utilisés pour le calcul du phosphore retenu, est plus grand (en %) pour la pouponnière. Il est cependant important de noter que la valeur de phosphore excrété en pouponnière et son écart-type relatifs (%) absolues sont nettement inférieurs à ceux pour un engraissement. Les éléments à considérer pour l'engraissement mentionnés plus haut s'appliquent aussi à la pouponnière. En particulier, comme le nombre de lots par année est encore plus important en pouponnière, la réduction des écarts-types annuels relatifs (%) devraient être plus importantes que pour l'engraissement.

5.3 Naisseur

À partir des variables d'entrée pour une maternité (Tableau 5.6) et des équations du Tableau 5.7, l'écart-type relatif (%) sur le phosphore excrété annuellement dans une maternité typique est estimée à 7,1 % (Tableau 5.8). L'ensemble des éléments à considérer pour l'engraissement s'appliquent aussi pour une maternité, à l'exception que les écarts-types ont déjà été calculés sur une base annuelle pour la maternité.

Tableau 5.6 - Variables d'entrée nécessaires pour le calcul du phosphore excrété en maternité. Les valeurs en entrée sont un exemple pour une ferme donnée et variera d'une ferme à l'autre. Les justifications pour l'écart-type (%) sont les mêmes que pour l'engraissement (Tableau 5.1) pour les variables communes aux deux types de production. Autrement, l'écart-type est basé sur l'avis d'experts.

| Variable d'entrée (symbole pour les équations) | Valeur entrée | Écart-type intra-annuel | |
|---|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | | % | Valeur absolue |
| Nombre de truies en inventaire (N_e) | 400 | 0,5 | 2,0 |
| Nombre de truies réformées/mortes (N_r) | 180 | 1,0 | 1,8 |
| Poids (kg) moyen cochette à l'entrée (W_e) | 100 | 10,0 | 10,0 |
| Poids (kg) moyen truie réformée/morte (W_r) | 260 | 15,0 | 39,0 |
| Nombre de porcelets sevrés par année (N_s) | 9800 | 0,5 | 49,0 |
| Poids (kg) moyen porcelet sevré (W_s) | 6,0 | 5,0 | 0,3 |
| Nombre de porcelets morts (N_m) | 1568 | 5,0 | 78,4 |
| Poids (kg) moyen mort/perdu (W_m) | 2,0 | 20,0 | 0,4 |
| Rétention en P truie (R_{PT}) | $5,6 \times 10^{-3}$ | 8,0 | $4,5 \times 10^{-4}$ |
| Rétention en P porcelet (R_{PP}) | $5,1 \times 10^{-3}$ | 8,0 | $4,1 \times 10^{-4}$ |
| Quantité (kg) d'aliment servi au total (Q) | $4,46 \times 10^5$ | 1,0 | 4460 |
| Teneur en phosphore de l'aliment (C_P) | $5,0 \times 10^{-3}$ | 5,0 | $2,5 \times 10^{-4}$ |

Tableau 5.7 - Calcul du phosphore excrété annuel et de son incertitude pour une maternité

| Variable calculée (symbole pour les équations) | Valeur estimée | Variance estimée* |
|--|---|---|
| Gain de poids (kg) moyen truie (G_r) | $W_r - W_e$ | $\sigma^2(W_r) + \sigma^2(W_e)$ |
| Gain de poids (kg) total annuel des truies (G_{TT}) | $N_r G_r$ | $\sigma^2(G_r) N_r^2 + \sigma^2(N_r) G_r^2$ |
| Gain de poids (kg) total annuel des porcelets (G_{TP}) | $N_s W_s + N_m W_m$ | $\sigma^2(W_s) N_s^2 + \sigma^2(N_s) W_s^2 + \sigma^2(W_m) N_m^2 + \sigma^2(N_m) W_m^2$ |
| P total (kg) servi (P) | $Q C_P$ | $\sigma^2(C_P) Q^2 + \sigma^2(Q) C_P^2$ |
| P total (kg) retenu truies (P_{rT}) | $G_{TT} R_{PT}$ | $\sigma^2(R_{PT}) G_{TT}^2 + \sigma^2(G_{TT}) R_{PT}^2$ |
| P total (kg) retenu porcelets (P_{rP}) | $G_{TP} R_{PP}$ | $\sigma^2(R_{PP}) G_{TP}^2 + \sigma^2(G_{TP}) R_{PP}^2$ |
| P total (kg) excrété (P_e) | $P_i - P_{rT} - P_{rP}$ | $\sigma^2(P_i) + \sigma^2(P_{rT}) + \sigma^2(P_{rP})$ |

*La variance a été estimée par un développement limité de premier ordre en supposant l'indépendance entre les variables utilisées dans le calcul de la valeur estimée. Le terme $\sigma^2(X)$ réfère à la variance **absolue**, soit le carré de l'écart-type **absolu**, de la variable X.

Tableau 5.8 - Exemple de calcul du phosphore excrété annuellement en maternité basé sur les valeurs d'entrée du Tableau 5.7

| Variable calculée (symbole pour les équations) | Valeur estimée | Variance estimée | Coefficient de variation (%) |
|--|---|--|------------------------------|
| Gain de poids (kg) moyen truie (G_T) | $260 - 100 = 160$ | $39,0^2 + 10,0^2 = 1621$ | 25,2 |
| Gain de poids (kg) total annuel des truies (G_{TT}) | $180 \cdot 160 = 2,9 \times 10^4$ | $1621 \cdot 180^2 + 1,8^2 \cdot 160^2 = 5,3 \times 10^7$ | 25,2 |
| Gain de poids (kg) total annuel des porcelets (G_{TP}) | $9800 \cdot 6,0 + 1568 \cdot 2,0 = 6,2 \times 10^4$ | $0,3^2 \cdot 9800^2 + 49^2 \cdot 6,0^2 + 0,4^2 \cdot 1568^2 + 78,4^2 \cdot 2,0^2 = 9,1 \times 10^6$ | 4,9 |
| P total (kg) servi (P_i) | $4,46 \times 10^5 \cdot 5,0 \times 10^{-3} = 2230$ | $(2,5 \times 10^{-4})^2 \cdot (4,46 \times 10^5)^2 + 4460^2 \cdot (5,0 \times 10^{-3})^2 = 1,3 \times 10^4$ | 5,1 |
| P total (kg) retenu truies (P_{TT}) | $2,9 \times 10^4 \cdot 5,6 \times 10^{-3} = 161$ | $(4,5 \times 10^{-4})^2 \cdot (2,9 \times 10^4)^2 + (5,3 \times 10^7)^2 \cdot (5,6 \times 10^{-3})^2 = 1816$ | 26,4 |
| P total (kg) retenu porcelets (P_{TP}) | $6,2 \times 10^4 \cdot 5,1 \times 10^{-3} = 316$ | $(4,1 \times 10^{-4})^2 \cdot (6,2 \times 10^4)^2 + (9,1 \times 10^6)^2 \cdot (5,1 \times 10^{-3})^2 = 877$ | 9,4 |
| P total (kg) excrété (P_e) | $2230 - 161 - 316 = 1753$ | $1,3 \times 10^4 + 1816 + 877 = 1,6 \times 10^4$ | 7,1 |

6. Coefficient de rétention maximal

Afin de permettre aux utilisateurs du bilan alimentaire de valider les résultats du calcul, un critère de validation a été établi : il s'agit du coefficient de rétention maximal.

Le coefficient de rétention est le rapport entre les deux éléments de l'équation de base du calcul du bilan alimentaire qui, en rappel, est la suivante :

$$P \text{ servi} - P \text{ retenu} = P \text{ excrété}$$

Le coefficient de rétention se définit donc comme étant :

$$= P \text{ retenu} / P \text{ servis} \cdot 100$$

Le coefficient de rétention maximal représente la capacité maximale d'un élevage à retenir le phosphore servi. Pour établir les coefficients de rétention maximale, des calculs basés sur une base de données d'essais expérimentaux de rétention où les animaux étaient gardés en cage métabolique et où les fèces, urines, aliments consommés et gaspillés étaient précisément contrôlés ont tout d'abord été effectués. Les valeurs alors établies étaient de 75 % pour les porcelets de pouponnière et d'engraissement, de 65 % pour les truies de remplacement et de 30 % pour les truies en gestation et lactation (Létourneau-Montminy *et al.*, 2012, 2015).

Cependant, le coefficient de rétention maximal sera utilisé pour valider des bilans alimentaires réalisés sur des élevages et non pas des individus et ces élevages sont généralement en milieu commercial et non en milieu expérimental donc il faut considérer notamment qu'il y a des pertes par le gaspillage d'aliment. Sachant que le gaspillage d'aliment peut représenter près de 10 % des quantités totales distribuées, cela signifie que les valeurs de rétention établies par le biais de la littérature devaient être abaissées de l'ordre de 10% minimalement.

Afin de valider si ces valeurs abaissées sont près des valeurs réelles maximales pouvant être observées sur des élevages commerciaux, les partenaires du projet ont été sollicités pour valider quels étaient les

coefficients de rétention des élevages les plus performants de leurs entreprises. La consultation des partenaires a donc permis de confirmer les coefficients de rétention maximale (Tableau 6.1).

Tableau 6.1 - Pourcentage de rétention maximale par catégorie d'élevage

| Catégories d'élevages | Rétention maximale (P retenu/P servi) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Naisseur | 20 % |
| Pouponnière | 65 % |
| Engraissement | 55 % |
| Élevage de truies de remplacement | 55 % |

Ces valeurs signifient qu'un élevage de type naisseur, par exemple, retient seulement jusqu'à 20 % du phosphore servi, le reste étant soit excrété par les animaux ou gaspillé. À l'opposé, un élevage de type pouponnière retient jusqu'à 65 % du P servi, représentant le type d'élevage le plus efficace à retenir le phosphore servi. Les élevages de types engraissement et truies de remplacement ont des efficacités de rétention intermédiaires avec une rétention maximale de 55 %.

Tel que mentionné précédemment, ces valeurs représentent des maximums signifiant donc que la majorité des élevages se situeront en dessous de ces valeurs maximales, soit de l'ordre de 5 à 15 % de moins que la valeur maximale. Pour certains élevages, le coefficient de rétention peut même être en deçà de 15 % de la valeur maximale, d'où l'absence de valeurs minimales. En effet, une grande variabilité existe dont, entre autres, sur les apports en P total dans les aliments, qui tel que constaté précédemment, influence directement la rétention. Par exemple, si un élevage utilise des sources peu digestibles de phosphore dans ces aliments alors qu'un autre élevage utilise des ingrédients plus digestibles, le premier élevage inclura de plus grande quantité de P dans ses aliments pour répondre au besoin en P digestible des porcs. À l'opposé, le second élevage aura à inclure moins de phosphore dans ses aliments pour fournir la même quantité de P digestible. Ainsi, la première ferme aura un coefficient de rétention beaucoup plus faible que le second élevage.

Pour les élevages se situant aux valeurs de rétention maximale ou très près, cela signifie que ces élevages sont très performants soit d'un point de vue performance des animaux ou apport alimentaire. Pour les élevages ayant des coefficients supérieurs à ces coefficients maximaux, il sera important de bien valider les données utilisées et d'expliquer pourquoi cet élevage a un coefficient de rétention aussi élevé. Les critères à valider pour comprendre une rétention élevée sont : la gestion de l'alimentation pour une réduction du gaspillage (à quel point l'élevage est efficace à réduire le gaspillage), la composition nutritionnelle des aliments utilisé (apport en P total bas causé par une utilisation judicieuse d'ingrédients dont le phosphore est plus digestible et par l'utilisation de phytase et apport en Ca permettant une bonne rétention) et les performances zootechniques des animaux (si l'élevage se situe dans les meilleurs pour ce qui est de la conversion alimentaire par exemple).

7. Conclusion

L'objectif de ce projet était de valider la méthode du bilan alimentaire pour estimer les rejets de phosphore des élevages porcins. Plus spécifiquement, les principaux objectifs étaient 1) de valider les facteurs de rétention pour le porc en engraissement, le porcelet de pouponnière, le porcelet sous la mère et la truie, 2) d'affiner la méthode de calcul pour les élevages de type naisseur, 3) d'estimer l'incertitude de la méthode et 4) d'établir des critères de validation des résultats pour les utilisateurs.

Les résultats montrent un facteur de rétention des porcs en engraissement de 5,1 g/kg de gain de poids et peu de variation entre les élevages québécois. Pour le porcelet de pouponnière, le facteur de rétention était plus variable passant de 4,6 à 5,8 g/kg de gain. Dans le cadre de la réalisation des bilans alimentaires, il est recommandé d'utiliser une valeur de 5,1 g/kg correspondant au facteur de rétention du porcelet sous la mère. Le facteur de rétention de la truie a été validé par le biais des données provenant de la littérature et de bases de données de performance de truies québécoises et ce facteur a été établi à 5,6 g P/kg de gain.

En ce qui concerne l'estimation de l'erreur de la méthode, une analyse de sensibilité et un calcul de l'incertitude de l'estimation du phosphore excrété ont été réalisés. L'analyse de sensibilité a permis de mettre en évidence la sensibilité de la teneur en phosphore des aliments, critère nécessitant donc d'être basé sur des analyses de laboratoire. Le poids moyen des porcelets à la sortie de la pouponnière ainsi que les quantités d'aliments servis sont également des critères sensibles, i.e. des critères qui doivent être basés sur des valeurs provenant de pesées et non estimés visuellement. L'incertitude sur l'estimation du phosphore excrété est plus grande pour la pouponnière avec une valeur de 18 %, l'engraissement étant à 11 % et la maternité à 9 %. L'incertitude en pouponnière vient majoritairement de variabilité observée sur le facteur de rétention.

Finalement, des coefficients de rétention maximale, soit le rapport entre le phosphore retenu et le phosphore servi, ont été établis comme critère de validation du calcul. Le coefficient de rétention maximale pour le naisseur est de 20 %, pour la pouponnière de 65 % et pour l'engraissement et les élevages de reproducteurs de 55 %.

En conclusion, le bilan alimentaire est une méthode fiable pour établir la production de phosphore d'un lieu d'élevage porcin. Les facteurs de rétention étant maintenant validés, il est impératif de bien établir la teneur en phosphore des aliments pour assurer une valeur de rejets en phosphore la plus exacte possible.

8. Références

- Blair, R., Diack, J.R.B. et R.M. Macpherson. 1963. Bone development in suckled piglets. *British Journal of Nutrition*, 17 : 19-29.
- Cloutier, L. et M. Lemelin. 2017. Le bilan alimentaire comme outil de performance agronomique pour estimer le phosphore produit dans un lieu d'élevage porcin. Québec : CDPQ, 41 p.
- Dourmad J.Y., Levasseur, P., Daumer, M., Hassouna, M., Landrain, B., Lemaire, N., Loussouarn, A., Salaün, Y. et S. Espagnol. 2015. Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. Paris : RMT Élevages et Environnement, 26 pages.
- Gonzalo, E., Létourneau-Montminy, M.P., Narcy, A. et C. Pomar. 2014. Optimisation des apports de phosphore et calcium pour maximiser leur utilisation chez le porc en croissance dans un contexte de durabilité. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 46 : 113-118.
- Jondreville, C. et J.Y. Dourmad. 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. *Productions Animales*, 18(3) : 183-192.
- Jongbloed, A.W., Everts, H., Kemme, P.A. et Z. Mroz. 1999. Quantification of absorbability and requirements of macroelements. Dans: *A quantitative biology of the pigs*. Wallingford, UK: Cab International, p. 275-298.
- Langlois, J., Pomar, C. et M.P. Létourneau-Montminy. 2016a. Estimation des besoins de phosphore et calcium chez le porc de 25 à 50 kilogrammes de poids vif. *Journées de la Recherche Porcine*, 48 : 163-164.
- Langlois, J., Pomar, C. et M.P. Létourneau-Montminy. 2016b. Impact de déséquilibres phosphocalciques sur les performances zootechniques et la minéralisation osseuse chez le porc en finition. *Journées de la Recherche Porcine*, 48 : 109-114.
- Létourneau-Montminy, M.P., Narcy, A., Crenshaw, T.D., Dourmad, J.Y. et C. Pomar. 2015. Modeling the metabolic fate of dietary phosphorus and calcium in growing pigs and the dynamics of body ash. *Journal of Animal Science*, 93(3) :1200-1217.
- Létourneau-Montminy, M.P., Lovatto, P.A. et C. Pomar. 2014. Apparent total tract digestibility of dietary calcium and phosphorus and their efficiency in bone mineral retention are affected by body mineral status in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 92 : 3914-3924.
- Létourneau-Montminy, M.P., Jondreville, C., Sauvant, D. et A. Narcy. 2012. Meta-analysis of phosphorus utilisation by pigs: influence of dietary calcium and microbial phytase. *Animal*, 6(10) :1590-1600.
- Mahan, D.C. et R.G. Shields. 1998. Macro- and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *Journal of animal science*, 76(2) : 506-512.
- Nordin, B.E.C., Chatterton, B.E. et C.G. Schultz. 1996. Regional Bone Mineral Density Interrelationships in Normal and Osteoporotic Postmenopausal Women. *Journal of Bone and Mineral Research*, 11(6) : 849-856.
- NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. Washington, D.C.: National Academy Press, 400 p.
- Pomar, C., Jondreville, C., Dourmad, J.Y. et J.F. Bernier. 2006. Influence du niveau de phosphore des aliments sur les performances zootechniques et la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer et zinc chez le porc de 20 à 100 kg de poids vif. *Journées de la Recherche Porcine*, 38 : 209-216.
- Roch, G. et L. Maltais. 2006. *Bilan alimentaire en production porcine*. Guide technique. FPPQ, 66 p.
- Rousseau, X. 2013. *Optimisation de l'utilisation de phosphore alimentaire chez le porc et le poulet en croissance*. Thèse de doctorat. Tours, France : Université François-Rabelais.

Ryan, W.F., Lynch, P.B. et J.V.O' Doherty. 2011. Effect of dietary phosphorus on the development of bone mineral density of pigs assessed using dual energy x-ray absorptiometry. *Livestock Science*, 137(1-3) : 101-107.

Seydoux, S., Côté, D. et M.O. Gasser. 2008. Caractérisation des lisiers de porcs - I. Volumes, teneurs et charges fertilisantes. *Agrosolutions*, 19 : 39-48.

Seydoux, S., Côté, D. et M. Grenier. 2005. Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des déjections animales liquides en Chaudière-Appalaches. IRDA. [En ligne]. <http://www.irda.qc.ca/documents/Results/110.pdf>

The Hague/Heerlen. 2012. Standardised calculation methods for animal manure and nutrients. Standard data 1990-2008. The Netherlands: Statistic Netherlands, 82 p.



Centre de développement du porc du Québec inc.
Place de la Cité, tour Belle Cour
2590, boulevard Laurier, bureau 450
Québec (Québec) G1V 4M6

☎ 418 650-2440 • 📠 418 650-1626

cdpq@cdpq.ca • www.cdpq.ca

 @cdpqinc

