

MODÉLISATION DE L'UTILISATION DU PHOSPHORE ALIMENTAIRE CHEZ LE POULET DE CHAIR

Couture Catherine¹, Méda Bertrand², Narcy Agnès², Létourneau-Montminy Marie-Pierre¹

¹UNIVERSITÉ LAVAL - Département des sciences animales - 2425 rue de l'Agriculture - G1V 0A6, QUÉBEC, Canada

²BOA, INRA, Université de Tours, 37380 NOUZILLY, France

marie-pierre.letourneau@fsaa.ulaval.ca

RÉSUMÉ

Dans un contexte de durabilité des productions animales, il est primordial de définir des stratégies alimentaires permettant d'optimiser l'utilisation du phosphore alimentaire par les poulets de chair compte tenu des impacts environnementaux et économiques du phosphore. L'objectif de cette étude était de développer un modèle simulant la réponse des poulets de chair aux apports de phosphore en prenant en compte les principaux facteurs de variation i.e. teneurs en calcium et phytase microbienne de l'aliment. Le modèle comporte deux sous-modules intégrant respectivement la croissance de l'animal, soit la somme des dépôts quotidiens de protéines, d'eau, de lipides et de cendres. Les cendres sont prédites à partir du second module de prédiction du devenir métabolique du phosphore et du calcium. Les dépôts journaliers protéiques (plumes et corps) sont estimés à partir du poids de l'animal (allométries) puis modulés en fonction de l'ingéré quotidien de lysine. Le dépôt lipidique journalier est ensuite quantifié par différence entre l'énergie métabolisable ingérée et les pertes sous forme d'extra chaleur et les dépôts sous forme de protéines. Enfin, le second sous-module prédit le dépôt de cendres qui dépend des apports phosphocalciques dans l'aliment. Dans ce dernier sous-module, des équations d'absorption du phosphore et du calcium ainsi que des teneurs en phosphore et en calcium dans les tissus sont utilisées pour estimer les dépôts de phosphore, de calcium et de cendres dans les os, les tissus mous et les plumes. Ce modèle permet de mieux prédire l'utilisation du phosphore alimentaire ainsi que l'impact du phosphore, du calcium et de la phytase microbienne sur les performances chez le poulet de chair. Dans une perspective d'outil d'aide à la décision, ce modèle permettra de définir des stratégies alimentaires intégrant de nouvelles contraintes environnementales, économiques ou sociétales.

ABSTRACT

Modelling dietary phosphorus utilization by broilers

In a context of sustainability of animal production, it is essential to define feed strategies to optimize the use of dietary phosphorus by broilers given the environmental and economic impacts of phosphorus. The objective of this study was to develop a model simulating the response of broilers to phosphorus intake by taking into account the main factors of variation i.e. levels of calcium and microbial phytase of the feed. The model has two submodules integrating respectively the growth and the metabolic fate of phosphorus and calcium. For the growth aspect, weight gain is calculated as the sum of daily deposits of protein, water, fat and ash. The daily protein deposits (feathers and body) are estimated from the weight of the animal (allometries) and then modulated according to the daily intake of lysine. Daily lipid deposition is then quantified by the difference between ingested energy and losses in the form of heat and deposits in the form of proteins. Finally, the second submodule predicts ash deposition, which depends on P and Ca amounts in the feed. In this last submodule, digestive absorption equations of phosphorus and calcium, as well as phosphorus and calcium levels in tissues are used to estimate phosphorus, calcium and ash depositions in bone, soft tissues and feathers. This model allowed a better prediction of the use of dietary phosphorus and the impact of phosphorus, calcium and microbial phytase on performance in broiler chickens. This model can be used as a decision-making tool while defining food strategies integrating new environmental, economic or social constraints.

INTRODUCTION

La production avicole fait face à d'importants défis pour sa compétitivité dont l'utilisation plus efficace du phosphore (P). La diminution des apports de P permettrait une baisse du coût de l'alimentation et de l'excrétion de l'élément dans l'environnement contribuant à inscrire la production dans un contexte plus durable. Améliorer l'efficacité d'utilisation de P par les poulets est donc essentielle. Le défi est d'autant plus difficile à relever que les mouvements (disponibilité et variation de prix) sur le marché des matières premières sont constants (ex. : phosphate, phytase, drêches). Actuellement, aucun système de formulation ne permet de prédire simultanément les différentes réponses des animaux aux apports phosphocalciques en termes de performances de croissance, de rejets et de rétention corporelle ni de prendre en compte les interactions entre les composés de la matrice alimentaire. Afin d'optimiser l'utilisation de P par les poulets, il est donc important d'améliorer notre capacité à prédire les quantités absorbées et retenues en considérant les principaux facteurs influant sur ces réponses.

Le modèle présenté dans ce travail permet de simuler les performances de croissance et la répartition de P et de Ca entre les différents compartiments à l'échelle de l'animal en fonction des teneurs en P, Ca et phytase microbienne de l'aliment. Il contribuera à définir des stratégies de formulation adaptées en fonction des objectifs de production fixés.

1. MATERIELS ET METHODES

Le modèle a été développé sur le logiciel Vensim (Version 6.4) et paramétré pour des poulets mâles Ross 308.

1.1. Prédiction de la consommation journalière

La consommation journalière théorique d'aliment est un paramètre d'entrée du modèle et renseignée par l'utilisateur. Dans cette étude, les données du sélectionneur Aviagen pour le poulet Ross 308 mâle ont été utilisées. La consommation réelle est ensuite calculée en modulant la consommation théorique en fonction des niveaux en P, Ca et phytase microbienne dans l'aliment selon les travaux de Hedhli *et al.* (2018).

1.2. Prédiction du devenir du phosphore et du calcium ingéré et du dépôt de cendres corporelles

Le présent modèle est un modèle mécaniste à compartiments à l'échelle de l'animal dans lequel le tractus gastro-intestinal, le milieu extracellulaire, les tissus mous (protéines et lipides), les plumes et l'os sont représentés (Figure 1). Les sorties correspondent aux pertes fécales et urinaires de P et de Ca.

1.2.1. Devenir digestif du phosphore et du calcium

L'absorption de P a été obtenue à partir d'une méta-analyse récente (Couture *et al.*, 2019) et dépend principalement des formes et de l'apport de P, du niveau de Ca, de la présence de phytase exogène et des interactions entre P et Ca au niveau digestif. L'absorption de Ca a été estimée à partir des données de la même base lorsque le Ca avait été mesuré également. Pour la phytase exogène pour l'absorption de Ca et de P, les données d'équivalence des matrices de formulation pour les différentes phytases disponibles sur le marché ont été utilisées afin d'ajuster l'effet (les coefficients) de l'enzyme au plus près des produits de dernière génération. Le P et le Ca non absorbés sont excrétés dans les fèces.

1.2.2. Devenir métabolique du phosphore et du calcium

Au niveau corporel, les cendres sont distribuées entre les tissus osseux et mous et les plumes. Les cendres liées à l'os sont la somme du dépôt de Ca, de P et des autres minéraux mineurs ((divers, **Div**). Le dépôt de calcium lorsque l'animal est à son potentiel de dépôt (**CaOsPot**) dans les cendres osseuses a été simulé à l'aide de données de dissection de poulets de 2 à 85 jours d'âge recevant des apports élevés de P et Ca (Angel *et al.*, Hamdi *et al.*, données non publiées) selon l'équation suivante :

$$\text{Dépôt de Ca osseux, g/jour} = -0.005052 + 0.025046 \cdot \text{Âge} - 0.000255 \cdot \text{Âge}^2$$

Le ratio Ca:P a été considéré fixe à 2,0 et est utilisé pour simuler le potentiel de dépôt de P dans l'os. Avec les mêmes données, il a été estimé que les autres minéraux (**Div**) représentent 48% des cendres.

Par ailleurs, il a été considéré dans le modèle que le dépôt de P dans les tissus mous et les plumes était prioritaire par rapport à celui dans l'os, en accord avec la littérature (Feaster *et al.*, 1953; Brautbar *et al.*, 1979). De plus, la concentration de P par unité de protéine et de lipide dans les tissus mous a été déterminée à partir des mêmes données de dissection (Hamdi *et al.*, données non publiées) alors que celle des plumes provient de Narcy *et al.* (données non publiées). Enfin, les pertes urinaires de P et de Ca correspondent aux pertes obligatoires et à la part absorbée qui n'est pas retenue en raison soit d'un excès par rapport au potentiel de dépôt corporel soit d'un déséquilibre entre Ca et P au niveau osseux. Les pertes obligatoires ont été calculées comme étant l'excrétion urinaire de Ca et de P les plus faibles (Manangi *et al.*, 2018) et sont de 0,768 mg/kg PV et de 0,874 mg/kg PV, respectivement. Les pertes obligatoires de P et de Ca dans les fèces sont estimées

selon le poids vif (Khaksarzareha *et al.*, 2017) et selon la consommation de matière sèche (Anwar *et al.*, 2016, 2017, 2018 ; Anwar et Ravindran, 2016), respectivement.

1.3. Prédiction des dépôts protéiques et lipidiques et calcul du gain de poids journalier

Selon une approche similaire à celle utilisée dans le modèle InraPorc (van Milgen *et al.*, 2008), le poids vif vide est considéré comme la somme de l'Eau, des cendres, des protéines (**Prot**) et des lipides (**Lip**). Les cendres sont prédites indépendamment de la protéine et dépendent des apports phosphocalciques (Létourneau-Montminy *et al.*, 2015 ; section 1.2.2). Les dépôts protéiques sont divisés en deux compartiments: les protéines corporelles (**Protc**) et les protéines des plumes (**Protp**) (Figure 1). Les dépôts protéiques réels sont calculés en deux temps. Tout d'abord, les dépôts protéiques potentiels (plumes et corporels, **ProtPot**) sont estimés en fonction du poids vif vide à partir des données de Silva *et al.* (2015). À partir de ces dépôts protéiques potentiels quotidiens, un besoin théorique journalier en lysine digestible pour la croissance (dépôt) des plumes et des protéines corporelles est estimé en considérant le coefficient d'efficacité d'utilisation de la lysine proposé par Sakomura *et al.* (2015) et la teneur en lysine dans 1g de protéine corporelle (Stillborn *et al.*, 2010) et des plumes (Stillborn *et al.*, 1997). Le besoin d'entretien quotidien des plumes et des protéines corporelles est également estimé selon la masse protéique des plumes et du corps (Hauschild *et al.*, 2015). La somme des besoins théoriques pour l'entretien et la croissance constitue alors l'ingéré théorique quotidien de lysine digestible.

Enfin, l'ingéré réel de lysine digestible (consommation réelle x teneur en lysine digestible de l'aliment) est comparé à l'ingéré théorique décrit précédemment. Lorsque que l'ingéré réel est inférieur au théorique, les dépôts protéiques théoriques dans les plumes et le corps sont pondérés par le ratio entre l'ingéré réel et théorique. Dans le cas inverse, les dépôts réels sont égaux aux dépôts théoriques. Le dépôt d'eau dans le corps est calculé en fonction du dépôt protéique corporel (Silva *et al.*, 2015). Enfin, le dépôt lipidique est calculé par différence entre l'énergie ingérée et l'énergie déposée dans les protéines (Znaniacka, 1967) et perdue sous forme de chaleur (Sakomura *et al.*, 2005). Avec ces données, la perte de chaleur en bas âge était surestimée. Pour y pallier, un coefficient a été estimé pour les oiseaux de 10 jours et moins basé sur la perte de chaleur estimée par Sakomura *et al.* (2005) et sur la balance énergétique. La balance énergétique est définie comme l'ingéré d'énergie métabolisable moins l'énergie déposée dans les protéines et les lipides et a été estimé à partir des dépôts protéiques (plumes et corporel) et lipidique de Silva *et al.* (2015).

Le gain de poids journalier de l'animal est finalement calculé comme la somme des dépôts corporels (cendres, protéines, eau, lipides) et de la croissance des plumes, calculée à partir du dépôt protéique dans les plumes et en considérant que les protéines représentent 84% du poids des plumes (Silva *et al.*, 2015).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Comportement du modèle

Un poulet de 21 jours nourri au niveau de ses besoins, journaliers dans tous les nutriments à l'exception de ceux de Ca et de P, a été simulé pour évaluer le comportement du modèle.

2.1.1. Dépôt corporel de calcium et de phosphore

Chez un poulet alimenté au besoin en P et qui reçoit des doses croissantes de Ca (Figure 2a), on observe une amélioration de la rétention globale du Ca à 5,0 g/kg Ca dans l'aliment qui est plus faible qu'à 10 g/kg de Ca dans l'aliment du fait de l'augmentation des quantités de Ca absorbé. La rétention de Ca diminue, cependant, pour un apport de Ca de 12,5 g/kg. Cette diminution est due à la baisse de consommation liée aux hauts niveaux de Ca (Hedhli *et al.*, 2018). Le Ca est majoritairement déposé dans l'os (95%) puis dans la protéine corporelle (4%). Lorsque le poulet reçoit un apport adéquat de Ca et que l'apport de P non-phytique (PNP) varie de 1 à 5 g/kg (fig 2b), on peut observer une augmentation du dépôt de P dans le compartiment osseux : présence d'un dépôt très faible à bas P en raison d'un manque de substrat pour la trame minérale de l'os. Notons toutefois qu'à 1 g de PNP, équivalent au PNP d'origine végétale présent dans un aliment sans phosphate, il n'y a aucun dépôt osseux alors que la concentration en P dans les autres tissus n'est pas modifiée (Figure 2b) qui démontre une priorité des tissus mous et des plumes par rapport à l'os tel que précédemment discuté. Dans l'aliment apportant 5 g de PNP/kg, 62% du P est déposé dans l'os, 33% dans la protéine corporelle, 3% associés aux lipides et 2% dans la protéine des plumes.

2.1.2. Effets de déséquilibres des apports phosphocalciques

En accord avec les hypothèses du modèle, une augmentation de l'apport de PNP accompagnée d'un apport adéquat de Ca se traduit par une rétention de Ca accrue. Ceci s'explique par le fait que le Ca est déposé selon un ratio constant avec le P (Figure 3a). En parallèle, les pertes urinaires de Ca sont réduites en raison d'un meilleur dépôt dans l'os. Les pertes fécales sont quant à elles peu modifiées. Dans un régime bien pourvu en P, l'augmentation de l'apport de Ca de 5,0 à 10 g/kg se traduit par une amélioration

de P retenu avec une réduction des pertes urinaires (Figure 3b). Cependant, lors d'un apport élevé de Ca (12,5 g/kg), la consommation de P est diminuée entraînant une diminution de la quantité de P retenu (par rapport à l'aliment apportant 10 g/kg. Ceci est cohérent avec les résultats d'excrétion urinaire de Manangi et al. (2018) obtenus à la suite de colostomies.

CONCLUSION

Bien qu'il soit un nutriment vital pour l'animal, le P, apporté en excès, peut engendrer des problèmes environnementaux. Son métabolisme est complexe,

notamment en raison de ses interactions avec le Ca dans les sphères digestives et métaboliques. Aussi, seule une approche de modélisation permet de prendre en compte simultanément les principaux mécanismes impliqués et de prédire l'effet de déséquilibres phosphocalciques. De plus, cette approche permet de rendre compte de différents objectifs de production tels que les performances de croissance, la qualité des produits et l'environnement. Cette démarche est particulièrement utile pour l'évaluation de stratégies alimentaires visant la formulation d'aliments à hautes performances économique et environnementale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anwar M.N., Ravindran V., 2016. In : Phytate destruction – consequences for precision animal nutrition (eds C.L. Walk, I. Kühn, H.H. Stein, M.T. Kidd, M. Rodehutscord), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, p.191-205.
- Anwar M.N., Ravindran V., Morel P.C.H., Ravindran G., Cowieson A.J., 2016. *Poult. Sci.*, (95), 70-76.
- Anwar M.N., Ravindran V., Morel P.C.H., Ravindran G., Cowieson A.J., 2017. *Anim. Feed Sci. Technol.*, (224), 39-45.
- Anwar M.N., Ravindran V., Morel P.C.H., Ravindran G., Cowieson A.J., 2018. *Anim. Feed Sci. Technol.*, (237), 118-128.
- Brautbar N., Lee D.N., Coburn J.W., Kleeman C.R., 1979. *Am. J. Physiol.*, (236), E283-E288.
- Couture C., Narcy A., Létourneau-Montminy M.-P., 2019. Journées de la Recherche avicole et Palmipèdes à foie gras, (13), sous presse.
- Feaster J.P., Shirley R.L., McCall J.T., Davis J.K., 1953. *J. Nutr.*, (51), 381-392.
- Hauschild L., Sakomura N.K., Silva E.P., 2015 In: *Nutritional Modelling for Pigs and Poultry* (eds Sakomura N.K., Gous R., Kyriazakis I., Hauschild L.) CABI Publishing, Oxfordshire, 188-208.
- Hedhli A. 2018. Effet des apports de Phosphore (P) et calcium (Ca) sur les performances de croissance chez le poulet: Approche par méta-analyse. Mémoire de maîtrise, Université de Tours, Tours, France.
- Létourneau-Montminy M.-P., Narcy A., Dourmad J.Y., Crenshaw T.D., Pomar C., 2015. *J. Anim. Sci.*, (93), 1200-1217.
- Khaksarzareha V., Méda B., Narcy A., 2017. In: *Proceedings of the 21st European Symposium on Poultry Nutrition*, p.124-129
- Manangi K.M., Maharjan P., Coon C.N., 2018. *Poult. Sci.*, (97), 522-530.
- Sakomura N.K., Longo F.A., Oviedo-Rondon E.O., Boa-Viagem C., Ferraudo A., 2005. *Poult. Sci.*, (84), 1363-1369.
- Sakomura N.K., Silva E.P., Dorigam J.C.P., Gous R.M., St-Pierre N., 2015. *J. Appl. Poult. Res.*, (24), 267-282.
- Silva E.P., Sakomura N.K., Marcato S.M., Neme R., 2015 In: *Nutritional Modelling for Pigs and Poultry* (eds Sakomura N.K., Gous R., Kyriazakis I., Hauschild L.) CABI Publishing, Oxfordshire, 188-208.
- Stillborn H.L., Moran E.T., Gous R.M., Harrison M.D., 1997. *J. Appl. Poult. Res.*, (6), 269-304.
- Stillborn H.L., Moran E.T., Gous R.M., Harrison M.D., 2010. *J. Appl. Poult. Res.*, (19), 13-23.
- van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.-Y., Sève B., Noblet J., 2008. *Anim. Feed Sci. Technol.*, (143), 387-405.
- Znanięcka, G. 1967. In *Proc. 4th EAAP Symp. Energy Metab. Farm Anim.* (eds K. L. Blaxter, J. Kielanowski, G. Thorbek), UK. Eur. Assoc. Anim. Prod., Rome, p.407-408.

Figure 1. Schéma général du modèle du devenir de calcium et de phosphore et de la croissance des différents tissus. .

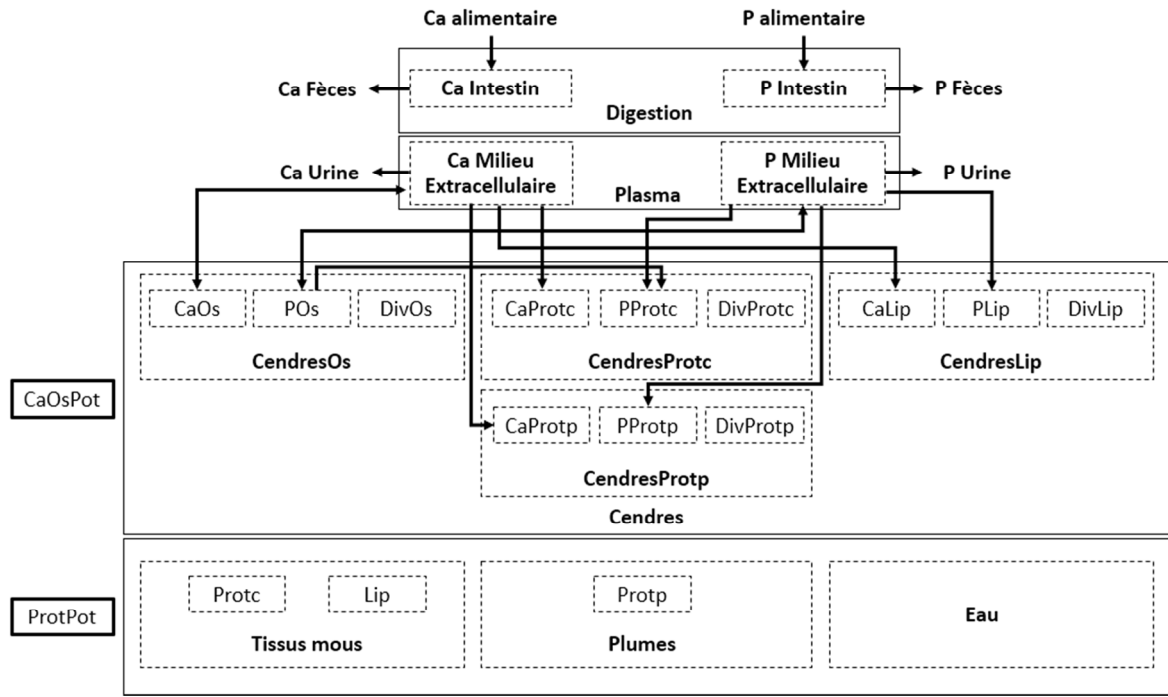


Figure 2. Dépôt corporel de calcium (a) et de phosphore (b) en fonction des apports phosphocalciques.

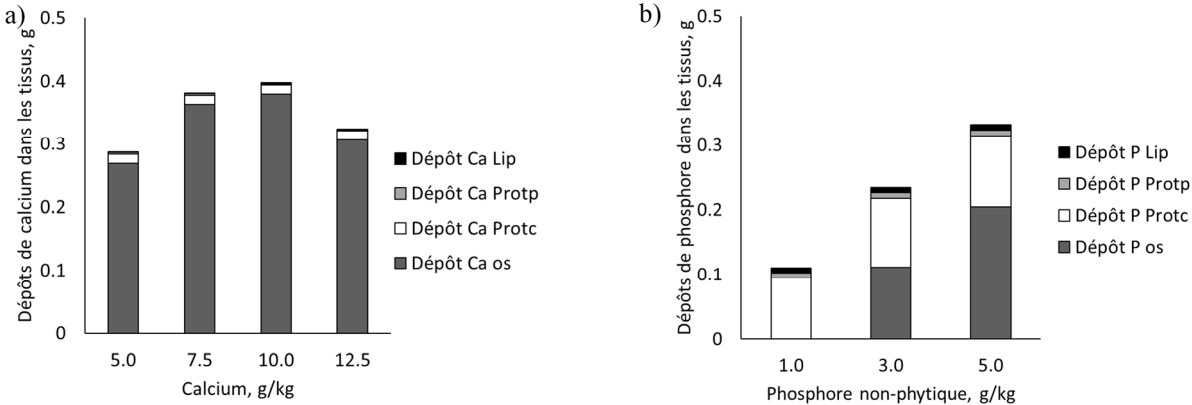


Figure 3. Bilan de calcium (a) et de phosphore (b) en fonction des apports phosphocalciques.

