

VERS UNE MEILLEURE PREDICTION DE LA DIGESTIBILITE DE PHOSPHORE CHEZ LE POULET DE CHAIR

Khaksar Vahid¹, Narcy Agnès¹, Jlali Maamer², Preynat Aurélie², Couture Catherine³, and
Létourneau-Montminy Marie-Pierre³

¹INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 NOUZILLY

²ADISSEO FRANCE S.A.S., Center of Expertise and Research in Nutrition, F-03600

COMMENTRY

³DEPARTEMENT DES SCIENCES ANIMALES, Université Laval, Quebec City, G1V 0A6,
QUEBEC, CANADA

marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca ; agnes.narcy@inrae.fr

RÉSUMÉ

Prédire l'utilisation digestive du phosphore (P) alimentaire en tenant compte de ses principaux facteurs de variation demeure crucial d'un point de vue environnemental et économique. À cet égard, une méta-analyse a été menée pour développer un modèle de prédiction du P digestible (Pdig) pour le poulet de chair en fonction du calcium (Ca), du P phytique (PP), du P non-phytique (PNP) et de la phytase microbienne (PhytM) ainsi que de leurs interactions. Une base de données exhaustive a été construite en s'appuyant sur des publications parues entre 2010 et 2021 et comprenait 292 et 333 traitements pour les âges de 1-21 et 22-42 jours, respectivement. Le Pdig répond de façon linéaire à la teneur de PP avec un effet de PhytM dépendant du niveau de PP ($PP \times PhytM$, $P < 0,05$) chez les poulets de 1-21 jours. Chez les oiseaux plus âgés, PhytM influence le Pdig de façon quasiment similaire quel que soit le niveau de PP ($Ca \times PP \times PhytM$, $P < 0,05$). Aux deux âges, le Pdig est optimisé pour des niveaux de Ca plus faibles. Cet effet est d'autant plus marqué que le PP est élevé chez les poulets plus âgés. De plus, pour des niveaux de Ca élevés, l'effet de la PhytM diminue avec l'augmentation du PNP ($Ca \times PNP \times PhytM$, $P < 0,01$) aux deux âges. Le Pdig explique plus de 92% de la réponse des poulets intra-expérience en termes de performances de croissance et de minéralisation. Ce travail permet donc de disposer d'un outil de prédiction du Pdig en fonction des principaux facteurs de variation alimentaires et ouvre des perspectives intéressantes en termes de détermination des besoins en P chez le poulet de chair.

ABSTRACT

Towards a better prediction of phosphorus digestibility in broilers

Predicting the digestive use of dietary phosphorus (P) considering its main factors of variation remains crucial from an environmental and economic point of view. In this regard, a meta-analysis was conducted to develop a predictive model of digestible P (Pdig) for broilers as a function of calcium (Ca), phytic P (PP), non-phytic P (NPP) and microbial phytase (PhytM) and their interactions. A comprehensive database was built based on publications from 2010 to 2021 and included 292 and 333 treatments for ages 1-21 and 22-42 days, respectively. Pdig responds linearly to PP level with an effect of PhytM dependent on the PP level ($PP \times PhytM$, $P < 0.05$) in 1-21-day-old chickens. In older birds, PhytM influences Pdig in an almost similar manner regardless of the PP level ($Ca \times PP \times PhytM$, $P < 0.05$). At both ages, Pdig is optimized for lower Ca levels. This effect is more pronounced for higher PP levels in older chickens. Furthermore, for higher Ca levels, the effect of PhytM decreases with increasing PNP ($Ca \times PNP \times PhytM$, $P < 0.01$) at both ages. Pdig explained more than 92% of the intra-experimental chicken response in terms of growth performance and mineralization. This work therefore provides a tool for predicting Pdig as a function of the main dietary variation factors and opens interesting perspectives in terms of determining P requirements in broiler chickens.

INTRODUCTION

L'utilisation digestive du phosphore (P) alimentaire est influencée par de nombreux facteurs tels que les proportions des différentes formes de P (P Phytique (PP) et P non-phytique (PNP)), la teneur de calcium (Ca) ainsi que l'incorporation de phytase microbienne (PhytM) (Selle et Ravindran, 2007 ; Li et al., 2021). Une bonne prédiction de leurs effets sur la digestibilité de P et leurs interactions éventuelles est nécessaire dans la perspective d'affiner les besoins des animaux. De nombreux travaux basés sur la mesure de la digestibilité iléale apparente de P ont été publiés ces 10 dernières années chez le poulet de chair. Ils permettent ainsi d'envisager de quantifier précisément l'impact des principaux facteurs de variation sur ce paramètre par l'outil de méta-analyse (Sauvant et al., 2008). L'objectif de cette étude était donc d'intégrer les informations quantitatives de la littérature sur la digestibilité iléale apparente de P et de développer un modèle de prédiction des impacts et des interactions des niveaux de Ca et P alimentaires, des formes de P et de l'ajout de phytase microbienne sur ce paramètre.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Collecte et codage des données

Les publications collectées traitaient de l'effet des niveaux de P et de Ca alimentaires et de la supplémentation en phytase microbienne sur la digestibilité iléale apparente de P chez le poulet de chair à croissance rapide élevé entre 1 et 42 jours (j) d'âge. La recherche bibliographique s'est concentrée sur la période 2010 à 2021. La base de données contenait des informations générales (nom de l'auteur, année de publication, type de revue scientifique) ainsi que des données qualitatives (ex : souche, âge, sexe) et quantitatives (ex : teneurs de PP, PNP, Ca, PhytM). Chaque observation représentait la moyenne d'un traitement. La base de données complète utilisée pour la méta-analyse comprenait 625 traitements provenant de 118 expériences et 74 publications. Les publications couvraient les périodes 1-21 et 22-42 j dans les proportions suivantes : 292 et 333 traitements, 55 et 63 expériences, 40 et 49 références, respectivement. Pour évaluer les réponses en termes de performance de croissance (GMQ, gain moyen quotidien ; Consommation moyenne journalière, CMJ ; Indice de consommation, IC) et de minéralisation du tibia, deux sous-bases ont été créées. Elles comprenaient respectivement 405 et 282 traitements provenant de 73 et 48 expériences issues de 48 et 30 publications pour les performances de croissance et la teneur en cendres du tibia. En fonction de la structure des données, d'autres sous-bases de données ont été considérées pour estimer des réponses plus ciblées.

1.2. Calculs et détermination des variables dépendantes et indépendantes

Pour assurer la cohérence globale de la base de données, le Ca total de l'alimentation (Cat), le Ca d'origine végétale, minérale et animale, le P total de l'alimentation (Pt), le PP, le PNP ainsi que le PNP d'origine végétale (PNPv), minérale (PNPm) et animale (PNPa) ont été recalculés en utilisant les données de composition nutritionnelle des ingrédients (Sauvant et al., 2004). Lorsqu'un ingrédient était analysé, ces valeurs étaient préférentiellement considérées. Pour les ingrédients manquants, les données des bases Feedipedia et Feedbase ont été utilisées. Ces recalculs ont été recoupés avec les valeurs mesurées de Cat et Pt présentées dans les publications. Lorsqu'elles étaient disponibles, les valeurs analysées ont été considérées pour développer les modèles. Dans 84% des traitements, les régimes incluaient du phosphate (62% bicalcique, 35% monocalcique et 3% monosodique) et 10% contenaient du PNP sous forme animale. Sur les 625 traitements, 273 ont été supplémentés en PhytM. Les variables indépendantes utilisées dans les modèles statistiques étaient : les concentrations en PP, PNP et Ca alimentaires (g/kg de régime) et l'activité phytasique (FTU/kg de régime). Elles ont été utilisées pour prédire la variable dépendante « P digestible » (P dig ; g/kg de régime).

1.3. Méta-design et analyses statistiques

Six bases de données ont été considérées : deux bases dans lesquelles le P digestible a été systématiquement étudié pour des poulets de 1-21 et 22-42 jours (mesures de digestibilité effectuées en moyenne à 21 et 30 jours respectivement), deux sous-bases limitées aux données pour lesquelles le P digestible, le GMQ, la CMJ et l'IC étaient rapportés pour chacune des phases et les deux dernières limitées aux études dans lesquelles le P digestible et la teneur en cendres du tibia étaient disponibles pour les différents âges. Une analyse du méta-design a été effectuée en examinant la relation entre les variables indépendantes prises deux par deux sous forme de graphique afin d'évaluer l'étendue de la variation dans chaque expérience, d'identifier les valeurs aberrantes et de vérifier les colinéarités entre les différentes variables indépendantes. Les données extraites ont été analysées à l'aide du modèle GLM (Minitab, version 20, State College, PA, USA) en considérant l'expérience comme un effet fixe pour assurer une prédiction correcte des coefficients du modèle et une description précise de l'erreur de prédiction (Sauvant et al., 2008). Des examens graphiques des réponses intra-expérimentales de chaque variable dépendante en fonction de la covariable principale ont ensuite été effectués pour les sous-bases de données du P digestible, des performances de croissance et de la teneur en cendres du tibia. Sur la base des examens

graphiques des réponses intra-expérimentales au PNP, les modèles quadratiques ont été ajustés comme suit : $Y_{ij} = \alpha + \alpha_i + b_1 \text{PNP}_{ij} + b_2 [\text{PNP}_{ij}]^2 + e_{ij}$ Où, Y_{ij} est la valeur de la variable dépendante Y dans l'expérience i avec le niveau j de PNP, α est l'intercept global ; α_i est l'effet de l'expérience i sur l'intercept α avec la condition que la somme de chaque α_i soit égale à 0 ; b_1 et b_2 sont les coefficients linéaires et quadratiques de la réponse globale au PNP alimentaire, respectivement ; et e_{ij} est l'erreur résiduelle. Les paramètres significatifs ($P < 0,05$) et en tendance ($P < 0,10$) ont été inclus dans les modèles finaux (Tableau 1).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Prédiction du phosphore digestible en fonction de la teneur en phosphore phytique, calcium et phytase microbienne

Le phosphore digestible répond de façon linéaire à la teneur de PP (Figure 1). Chez les oiseaux de 1 à 21 j d'âge, la réponse est améliorée avec l'ajout de PhytM, l'amplitude de l'effet étant plus important à mesure que le niveau de PP, son substrat, augmente (PP x PhytM, $P=0,01$; Figure 1). Chez les oiseaux plus âgés, bien que l'interaction soit significative, la PhytM a un effet quasiment identique sur le Pdig quel que soit le niveau de PP (Ca x PP x PhytM, $P=0,02$). A tous les âges, le P digestible est pénalisé par des apports élevés de Ca. Chez les oiseaux plus âgés, cet effet est plus important à mesure que le niveau de PP augmente.

Des apports modérés à faibles de Ca permettent de prévenir la formation de complexes Ca-phytates dans l'intestin améliorant ainsi l'absorption de P (Heaney, 2004). Ils favorisent également l'activité d'enzymes intestinales impliquées dans la dégradation du PP. McGuaig et al. (1972) ont par exemple montré que la diminution du niveau de Ca de 15 à 6 g/kg augmentait l'activité de la phosphatase alcaline intestinale de 52 % et l'activité de la phytase intestinale de 75 %, car le Ca entrerait en compétition au niveau des sites actifs de ces enzymes. Des résultats similaires ont été rapportés par Applegate et al. (2003) qui ont constaté que le Ca alimentaire à des niveaux couramment utilisés dans les régimes pour poulets de chair (9 g/kg) entraînait une réduction de l'activité phytasique intestinale et de l'hydrolyse apparente du PP iléal par rapport à un niveau plus faible de Ca (4 g/kg). Le Ca influence ainsi l'activité des phosphatases et phytases endogènes.

2.2. Prédiction du phosphore digestible en fonction de la teneur en P non-phytique, calcium et phytase microbienne

Aux deux âges, le Pdig répond de façon linéaire à la teneur de PNP (Ca x PNP x PhytM, $P<0,01$; Figure 2) et est optimisé en présence de PhytM et pour des teneurs en Ca plus faibles.

De plus, dans un régime où la teneur en Ca est élevée, la réponse des poulets à la PhytM s'estompe à mesure que le PNP augmente. Par exemple, dans un régime contenant 10 g de Ca/kg, la supplémentation en PhytM (500 FTU/kg) améliore le Pdig à hauteur de 0,54 g/kg pour un faible niveau de PNP (1 g/kg), alors que cet effet est réduit à 0,23 g/kg pour un niveau plus élevé de PNP (5 g/kg) chez les jeunes oiseaux. La même tendance est observée chez les poulets plus âgés : 0,53 contre 0,26 g/kg. Dans ce cas, la déficience en P, creusée par les apports élevés de Ca, stimule la capacité d'absorption du P par l'intestin (Rousseau et al., 2016). Un faible apport en PNP pourrait également induire une augmentation de l'activité des phosphatases alcalines (Liu et al., 2017). Chez les oiseaux plus âgés, la réponse à la PhytM à des niveaux de PNP plus élevés augmente avec des apports de Ca plus faibles. Cette situation étant propice à une déficience calcique, la capacité d'absorption de P est probablement régulée à la hausse expliquant cet effet positif.

2.3. Réponses des poulets au phosphore digestible

Le Pdig de l'aliment explique entre 92 et 98% de la réponse des poulets intra-expérience en termes de gain de poids et de teneur en cendres du tibia (Figure 3) i.e. lorsque seuls les critères « phosphore » sont pris en compte et à partir des données issues des essais choisis pour cette base. Les relations sont majoritairement de type linéaire, excepté pour la teneur en cendres des poulets de 1-21 j qui est légèrement quadratique. La linéarité des réponses montre que le P était limitant dans les expériences de la base de données puisqu'on s'attend à l'atteinte d'un plateau (Létourneau Montminy et al., 2010). En estimant de façon précise le Pdig de l'aliment à partir des analyses chimiques des différents teneurs de P, du Ca et de la PhytM, il sera possible de couvrir au mieux les besoins des animaux.

CONCLUSION

Dans les conditions de la base de données, cette méta-analyse permet de quantifier les effets des principaux facteurs de variation du P digestible. Chez les jeunes oiseaux, l'effet positif de la phytase microbienne sur le Pdig est plus important pour les niveaux les plus élevés de PP. L'augmentation des apports de Ca pénalise le Pdig à tous les âges. Cet effet est d'autant plus marqué à haut PP pour les oiseaux plus âgés. De plus, l'effet positif de la PhytM sur le Pdig s'amenuise à mesure que le PNP augmente, et ce, principalement à haut Ca. Ce travail permet donc de disposer d'un outil de prédiction du Pdig en fonction des principaux facteurs de variation alimentaires et ouvre des perspectives intéressantes en termes de détermination des besoins en P chez le poulet de chair.

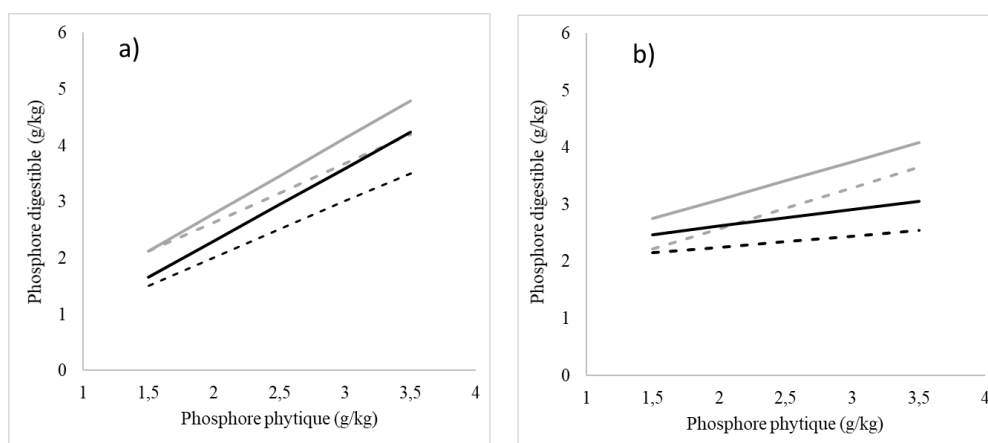
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Applegate, T.J., Joern, B.C., Nussbaum-Wagler, D.L., Angel, R., 2003. Poult.Sci., (82), 1024-1029.
- Heaney, R.P., Nordin, B.E.C., 2002. J.Am.Coll.Nutr. 21, 239-244.
- Letourneau-Montminy, M.P., Narcy, A., Lescoat, P., Bernier, J.F., Magnin, M., Pomar, C., Nys, Y., Sauvant, D., Jondreville, C., 2010. Animal 4, 1844-1853.
- Li, W., Angel, R., Plumstead, P.W., Entingx, H., 2021. Poult.Sci., 100, 900-909.
- Liu, S.B., Liao, X.D., Lu, L., Li, S.F., Wang, L., Zhang, L.Y., Luo, X.G., 2017. Poult.Sci., 96, 151-159.
- McGuaig, L.W., Davies, M.I., Motzok, I., 1972. Poult.Sci., 51, 526-530.
- Rousseau, X., Valable, A.S., Letourneau-Montminy, M.P., Meme, N., Godet, E., Magnin, M., Nys, Y., Duclos, M.J. Narcy, A., 2016. Poult.Sci., 95, 2849-2860.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. In :Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: porcs, volailles, bovines, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. (INRA edit.), Paris, France, pp301.
- Sauvant, D. Schmidely, P., Daudin, J.J., St-Pierre, N., 2008. Animal 2, 1203-1214.
- Selle, P.H. et Ravindran, V., 2007. Anim.Feed Sci.Technol. (135), 1-41.

Tableau 1. Prédiction du phosphore digestible de l'aliment (g/kg) en fonction de la teneur en calcium (g/kg), phosphore phytique (g/kg), phosphore non-phytique (g/kg) et phytase microbienne chez le poulet en croissance et finition.

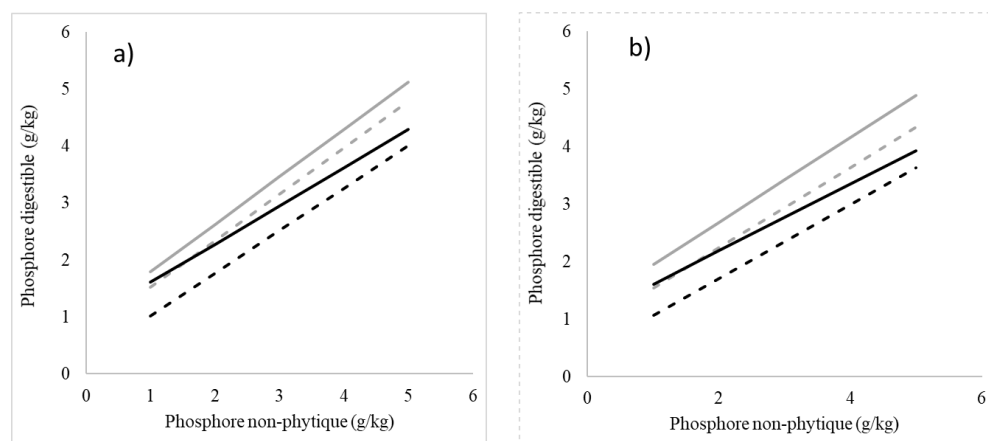
Paramètres	P digestible					
	1-21 jours			22-42 jours		
	Coefficient	s.e.	P-value	Coefficient	s.e.	P-value
Intercepte	-0,29	1,690	0,866	-1,142	0,891	0,201
Ca	-0,376	0,159	0,019	-0,0849	0,0920	0,357
PP	1,101	0,724	0,13	1,508	0,401	0,000
PNP	0,917	0,162	0,000	0,7787	0,0974	0,000
PhytM	-2,47	1,020	0,017	1,568	0,779	0,045
Ca × Ca	0,0182	0,00672	0,007	0,01916	0,00399	0,000
PhytM × PhytM	0,447	0,338	0,188	-0,2661	0,0378	0,000
Ca × PP	-0,0105	0,0608	0,863	-0,1314	0,0403	0,001
Ca × PNP	-0,0168	0,0147	0,257	-0,01347	0,00990	0,175
Ca × PhytM	0,2287	0,0708	0,001	-0,0697	0,0818	0,395
PP × PhytM	0,707	0,277	0,011	-0,563	0,329	0,088
PNP × PhytM	0,279	0,150	0,064	0,379	0,136	0,006
Ca × PP × PhytM				0,0761	0,0324	0,02
Ca × PNP × PhytM	-0,0471	0,0165	0,005	-0,0511	0,0142	0,000
Ca × PhytM × PhytM	-0,0382	0,0174	0,029			
PP × PhytM × PhytM	-0,224	0,121	0,065			
PNP × PhytM × PhytM	0,0767	0,0456	0,094			
Nb Expériences		55			63	
Nb Traitements		292			333	
R ² (%)		95,20			93,07	
RMSE		0,341			0,236	

Figure 1. Réponse du phosphore digestible (Pdig) aux concentrations alimentaires de phosphore phytique (PP) en fonction de la phytase microbienne et du calcium (Ca) chez les poulets de 1-21 (a) et 22-42 jours (b)*



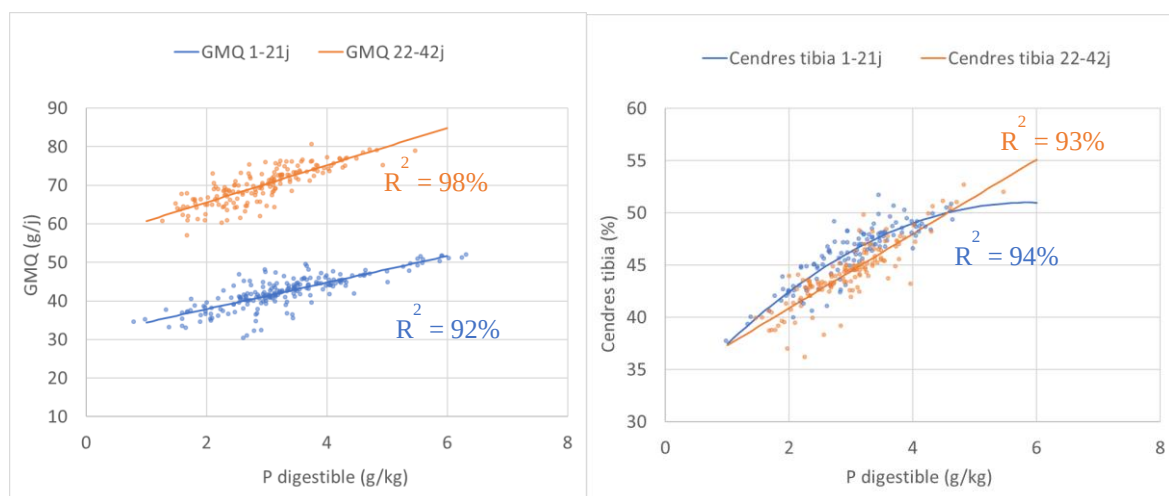
*Les lignes noires et grises représentent des régimes contenant respectivement 10 et 6 g de Ca/kg. Les lignes pleines et pointillées représentent respectivement 500 et 0 FTU de phytase microbienne/kg (PNP=3 g/kg).

Figure 2. Réponse du phosphore digestible (Pdig) aux concentrations alimentaires de P non-phytique (PNP) en fonction de la phytase microbienne et du calcium (Ca) chez les poulets de 1-21 (a) et 22-42 jours (b)*



*Les lignes noires et grises représentent des régimes contenant respectivement 10 et 6 g de Ca/kg. Les lignes pleines et pointillées représentent respectivement 500 et 0 FTU de phytase microbienne/kg (PP=2,5 g/kg).

Figure 3. Prédiction ajustée du gain moyen quotidien (GMQ) et des cendres tibiales (%) en fonction du phosphore digestible (g/kg)*



*GMQ 0-21= $3,44 \times \text{Pdig} + 31$ ($P < 0,0001$) ; GMQ 22-42= $4,83 \times \text{Pdig} + 56$ ($P < 0,0001$) ; cendres tibiales 0-21= $31,3 + 6,7 \times \text{Pdig}$ ($P < 0,0001$)- $0,57 \times \text{Pdig}^2$ ($P < 0,022$) ; cendres tibiales 22-42= $33,7 + 3,56 \times \text{Pdig}$ ($P < 0,0001$).