

# VERS UNE ALIMENTATION DE PRECISION CHEZ LE POULET DE CHAIR : MODELISATION DES BESOINS EN ENERGIE, LYSINE ET PHOSPHORE A PARTIR DES PERFORMANCES DE CROISSANCE

Méda Bertrand<sup>1</sup>, Talineau Marie<sup>1</sup>, Chéret Candy<sup>1</sup>, Narcy Agnès<sup>1</sup>, Dusart Léonie<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BOA, INRA, Université de Tours, 37380 NOUZILLY, France

<sup>2</sup>Institut Technique de l'Aviculture, Centre INRA Val-de-Loire, 37380 NOUZILLY, France

[bertrand.meda@inra.fr](mailto:bertrand.meda@inra.fr)

## RÉSUMÉ

L'application du concept d'alimentation de précision en élevage de poulet de chair pourrait permettre de réduire le coût alimentaire et les rejets en élevage de poulet de chair. Cependant, afin d'ajuster en dynamique la ration distribuée, il est nécessaire d'évaluer quotidiennement les besoins des animaux en fonction de leurs performances. L'objectif de cette étude était donc de développer un modèle prédisant les besoins quotidiens en énergie métabolisable, en lysine digestible et phosphore disponible à partir de performances de croissance. Pour cela, des allométries prédisant la composition corporelle en fonction du poids vif ont été développées. A partir de ces équations, du poids et du gain de poids des animaux, les dépôts de lipides et de protéines sont estimés, puis les besoins en énergie et en lysine digestible. Une équation de la littérature reliant directement poids vif et gain de poids au besoin journalier en phosphore disponible a également été ajoutée dans le modèle. Le modèle a été validé en comparant les prédictions (Y) à des mesures d'ingestion journalière d'énergie métabolisable, de lysine digestible et de phosphore disponible (X ; n = 325). Pour l'énergie métabolisable, les prédictions sont très proches des données observées ( $Y = 1,04 X$  ;  $R^2 = 96\%$ ) tandis que la qualité de prédiction pour la lysine digestible et le phosphore disponible, est un peu plus faible, mais toujours acceptable ( $Y = 0,93 X + 139$  ;  $R^2 = 75\%$  et  $Y = 0,99 X + 31$  ;  $R^2 = 71\%$  respectivement). Ces résultats permettent d'envisager une utilisation du modèle pour i) calculer les besoins des animaux à croissance rapide dans différents contextes de production (vitesse de croissance, âge à l'abattage) et/ou ii) ajuster en dynamique la composition de la ration, en fonction du niveau de performances réel d'un lot, dans une démarche d'alimentation de précision.

## ABSTRACT

### **Towards precision feeding in broilers: Modelling of energy, lysine and phosphorus requirements using growth performance**

Applying precision feeding in broiler production could help reducing feed cost and nitrogen and phosphorus excretion. However, in order to dynamically adjust feed composition, it is necessary to evaluate the daily requirements of the birds according to their actual performance. The objective of this study was thus to develop a model predicting daily requirements for metabolizable energy, digestible lysine and available phosphorus, with growth performance as inputs. Allometric relationships predicting body composition were developed. From these equations, and using growth performance of the birds, lipid and protein depositions are estimated, from which energy and digestible lysine requirements are then estimated. An equation from the literature, directly linking body weight and body weight gain to daily requirements for available phosphorus was also added to the model. The model was validated by comparing predictions (Y) to measurements of metabolizable energy, digestible lysine and available phosphorus daily intake (X, n = 325). For metabolizable energy, predictions are very close to observed data ( $Y = 1.04 X$ ,  $R^2 = 96\%$ ) while the predictive quality for digestible lysine and available phosphorus is slightly lower but still acceptable ( $Y = 0.93 X + 139$ ,  $R^2 = 75\%$  and  $Y = 0.99 X + 31$ ,  $R^2 = 71\%$  respectively). These results suggest that the model could be used to i) evaluate daily requirements of fast growing birds for different production objectives (growth rate, slaughter age) and / or ii) dynamically adjust feed composition, based on the actual performance of a batch, in a precision feeding approach.

## INTRODUCTION

Dans les filières poulet de chair, l'alimentation des animaux représente environ 2/3 des coûts de production (Dusart *et al.*, 2016). En pratique, les plans d'alimentation sont aujourd'hui constitués de 3 à 4 aliments successivement distribués au cours de l'élevage. Toutefois, la composition de ces aliments ainsi que les âges des transitions alimentaires sont définis à l'avance et ne peuvent être ajustés en cours de lot en fonction des performances réelles des animaux. Une alimentation avec des changements d'aliments plus fréquents doit en théorie permettre de réduire le coût alimentaire et les rejets d'azote et de phosphore (Hauschild *et al.*, 2015a). En pratique sur le terrain, une telle approche pourrait passer par l'utilisation de deux aliments, mélangés quotidiennement pour reformer une ration complète.

Dans une telle stratégie alimentaire, les performances réelles des animaux ne sont encore pas intégrées. La démarche d'alimentation de précision proposée par Pomar *et al.* (2009) permet d'ajuster quotidiennement la ration distribuée en s'appuyant sur les performances réelles des animaux et sur l'évaluation de leurs besoins. Cette approche a été testée avec succès chez le porc en croissance avec des réductions du coût alimentaire de 5 à 10% et de l'excrétion d'azote d'environ 30% (Pomar *et al.*, 2009 ; Andretta *et al.*, 2016).

En poulet de chair, selon Dusart *et al.* (2019), l'application de cette démarche permettrait une réduction importante du coût alimentaire (-6%) et des rejets d'azote et de phosphore (-11%). Toutefois, sa mise en pratique requiert l'utilisation de modèles permettant de calculer les besoins journaliers en fonction des performances des animaux. L'objectif de cette étude était donc de développer un modèle capable de prédire les besoins quotidiens en énergie métabolisable (EM), en lysine digestible (dLys) et en phosphore disponible (Pdispo), à partir de performances de croissance observées ou attendues.

### 1. DESCRIPTION DU MODELE

La représentation conceptuelle du modèle est présentée dans la Figure 1. Le Tableau 1 regroupe l'ensemble des équations utilisées pour prédire les besoins d'un poulet Ross 308 « tout-venant » (*i.e.* 50% de mâles et 50% femelles mélangés). Le modèle est également paramétré pour simuler les besoins des poulets sexes pour différentes souches à croissance rapide.

#### 1.1. Estimation de la composition corporelle et des dépôts journaliers

Le poids vif vide (PVv) et le gain de poids vif vide (GPv) de l'animal (*i.e.* sans contenus digestifs) sont considérés comme égaux à 95% du poids vif et du gain de poids (Lopez *et al.*, 2007), fournis en entrée du modèle (Figure 1 ; Eqs. 1 et 2). A partir de ces variables, des allométries (paramétrées selon la souche et le sexe) sont utilisées pour déterminer les masses de lipides et de protéines dans l'animal (Figure 1 ; Eqs. 3

à 5). Les coefficients de ces équations ont été estimés à partir de données issues de la littérature (Danisman et Gous, 2011, 2013 ; Silva *et al.*, 2015). Puis les dépôts journaliers de lipides et de protéines sont estimés en dérivant les équations 3 à 5 par rapport au temps (Figure 1 ; Eqs. 6 à 8). La masse d'eau et de cendres est calculée par différence entre le PVv et les masses de lipides et de protéines (Figure 1 ; Eq. 9).

#### 1.2. Estimation des besoins en lysine digestible

Les besoins en lysine digestible sont répartis entre les besoins d'entretien (Figure 1 ; Eqs. 10 et 11) et les besoins pour réaliser les dépôts protéiques dans le corps et les plumes (Figure 1 ; Eqs. 12 et 13) à partir des équations de Hauschild *et al.* (2015b). Le besoin total est ensuite calculé comme la somme des besoins d'entretien et pour les dépôts (Figure 1 ; Eq. 14).

#### 1.3. Estimation des besoins en énergie métabolisable

La production de chaleur totale (chaleur liée à l'entretien + extrachaleur liée à la croissance) de l'animal est calculée d'après Sakomura *et al.* (2005) en fonction du poids vif. Les quantités d'énergie déposées sous forme de protéines et d'énergie sont calculées à partir des dépôts protéiques et lipidiques (*cf.* 1.1.) en considérant qu'1 g de protéines et de lipides contiennent respectivement 5,7 et 9,5 kcal (Lopez et Leeson, 2005). Ces trois équations permettent ensuite de calculer le besoin total en énergie métabolisable (Figure 1 ; Eqs. 15 à 18).

#### 1.4. Estimation des besoins en phosphore disponible

Le besoin total en phosphore disponible est calculé en sommant les besoins en phosphore disponible d'entretien et pour la croissance, estimés à partir des équations proposées par Khaksarzareha *et al.* (2017) utilisant respectivement le poids vif et le gain de poids comme prédicteurs (Figure 1 ; Eqs. 19 à 21).

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

### 2.1. Validation du modèle

Les performances de croissance (tout-venant) mesurées quotidiennement entre J1 et J31 lors d'un essai zootechnique comparant deux stratégies alimentaires, ont été utilisées afin de valider le modèle (données moyennes par parquet). Ces données (poids vif et gain de poids) ont été utilisées comme données d'entrée pour prédire les besoins en EM, dLys et Pdispo. Les prédictions ont ensuite été comparées aux quantités journalières réellement ingérées par les animaux (Figure 2).

Pour l'énergie, les prédictions (kcal/j) sont très proches des quantités réellement ingérées par les animaux avec une pente proche de 1 (1,04), une ordonnée à l'origine non significativement différente de 0 et un coefficient de détermination proche de 1 ( $R^2 = 96\%$  ; Figure 2a). Cette qualité de prédiction est en accord avec les données de la littérature puisque le poulet de chair est

capable de réguler sa consommation d'aliment sur la base de l'ingéré énergétique (Bouvarel *et al.*, 2010). Le modèle pourrait donc également servir à prédire l'ingéré journalier si la teneur en énergie métabolisable de l'aliment est par ailleurs connue.

Pour la lysine digestible et le phosphore disponible, la qualité de prédiction est également satisfaisante, avec des coefficients de détermination de 75 et 71% et des pentes de 0,93 et 0,99 respectivement, malgré des ordonnées à l'origine significativement différentes de 0 (+139 et +31 mg/j respectivement ; Figures 2b et 2c). Ces différences de qualité de prédiction, par rapport à l'EM, peuvent s'expliquer par deux hypothèses. D'une part, si les animaux régulent leur ingéré énergétique, les quantités de dLys et de Pdispo ingérées ont donc été « subies » par les animaux. D'autre part, les teneurs en dLys et Pdispo dans les aliments ont été obtenues à partir de teneurs théoriques dans les matières premières (Sauvant *et al.*, 2004). Il est donc probable que les teneurs réelles des aliments diffèrent des teneurs théoriques obtenues lors de la formulation.

## 2.2. Exemple de simulations

La Figure 3 présente les résultats d'une simulation réalisée pour un poulet Ross 308 « tout-venant » entre 0 et 35 jours d'âge. Les données de poids vif et de gain de poids issues du guide sélectionneur (Aviagen, 2014) ont été utilisées en entrée du modèle.

Entre 0 et 35 jours d'âge, le dépôt de protéines représente en moyenne 22% du gain de poids de l'animal (Figure 3a). Cette valeur évolue peu dans le temps, mais la quantité déposée quotidiennement augmente fortement, se traduisant par une accélération de la croissance (<30 g/j en première semaine *vs.* >90 g/j en dernière). Dans le même temps, le dépôt lipidique augmente et représente moins de 5% du gain de poids en début d'élevage contre plus de 10% en fin d'élevage : l'animal s'engraisse. Enfin, le dépôt d'eau et de cendres représente environ 70% du gain de poids.

Les besoins en dLys pour l'entretien augmentent de façon importante avec l'âge de l'animal, et passent de moins de 2% à 1 j à plus de 12% du besoin total en dLys à 35 j. Les besoins pour les autres acides aminés digestibles (dAA) peuvent être déduits du besoin en dLys en utilisant des ratios dAA:dLys (protéine idéale). Les besoins pour le dépôt de protéines dans les plumes restent faibles durant toute la période (<10% du besoin total ; Figure 3b), en lien avec les masses de protéines totales déposées dans les plumes et le corps (20-30% *vs.* 70-80% du dépôt total de protéines ; Figure 3a), et également une plus faible teneur en lysine des protéines des plumes (2% contre 7% ; Hauschild *et al.*, 2015b). Concernant l'énergie, le besoin total en EM des animaux augmente entre moins de 100 kcal/j dans la première semaine de vie et plus de 500 kcal/j dans la dernière semaine d'élevage. Sur toute la période d'élevage, les pertes liées à la production de chaleur représentent environ 55% du besoin total en ME, tandis que les dépôts de lipides et de protéines représentent 21 et 24% du besoin total

(Figure 3c), mais avec une part de l'EM déposée dans les lipides qui augmente au détriment de l'énergie déposée dans les protéines (Figure 3c), en lien avec l'engraissement de l'animal. De plus, ces valeurs sont susceptibles de varier en fonction de la composition de l'aliment (notamment en fonction de la source d'énergie : amidon, lipides...) ainsi que des conditions d'ambiance dans le bâtiment (température, hygrométrie), en lien avec la régulation de l'ingéré énergétique (Bouvarel *et al.*, 2010). Enfin, concernant le Pdispo, les besoins en entretien sont très faibles (5% en moyenne) devant les besoins pour la croissance, (70-400 mg/j ; Figure 3d). Ce besoin est toutefois ici estimé pour un animal au potentiel avec une minéralisation osseuse optimale. Compte-tenu des multiples interactions possibles entre phosphore et calcium, une approche plus mécaniste pourrait être nécessaire (Couture *et al.*, 2019).

## 2.3. Perspectives d'utilisation du modèle : vers une alimentation de précision du poulet de chair

Outre son utilisation pour établir des recommandations nutritionnelles en fonction d'objectifs de performance, ce modèle pourrait servir dans une démarche d'alimentation de précision. En effet, la mesure automatique du poids des animaux est aujourd'hui largement répandue dans les élevages. A partir de cette donnée, et en prédisant le gain de poids « le plus probable » à venir (Figure 1), le modèle présenté ici permettrait alors de réévaluer les besoins d'un lot, et de réajuster la composition de l'aliment. Puis, selon l'approche proposée par Dusart *et al.* (2019), une ration complète pourrait être recomposée à l'aide de plusieurs « pré-mélanges ». Toutefois, à l'inverse du porc, où l'approche a déjà été testée avec succès (Pomar *et al.*, 2009 ; Andretta *et al.*, 2016), l'alimentation de précision nécessite encore des développements méthodologiques et technologiques (pesée/mélange des aliments, algorithmes de pilotage) pour être déployée sur le terrain en poulet de chair.

## CONCLUSIONS

Le modèle présenté ici permet de prédire les besoins en énergie métabolisable, lysine digestible et phosphore disponible chez le poulet de chair à croissance rapide, à partir du poids vif observé et du gain de poids attendu. Il pourra donc être utilisé pour établir des recommandations nutritionnelles en fonction d'objectifs de croissance spécifiques. Par ailleurs, comme les données d'entrées sont facilement mesurables, ce modèle pourrait être utilisé en élevage, dans une approche d'alimentation de précision.

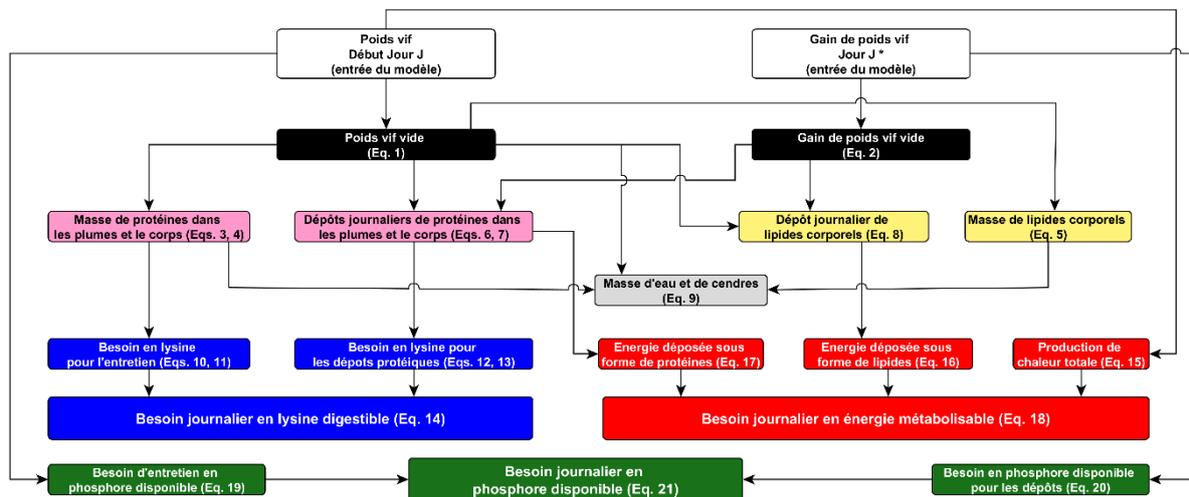
## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier du programme européen pour la recherche et l'innovation H2020 (projet Feed-a-Gene, n°633531). Les auteurs remercient également M. Quentin (INZO°) pour ses conseils durant le développement du modèle.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

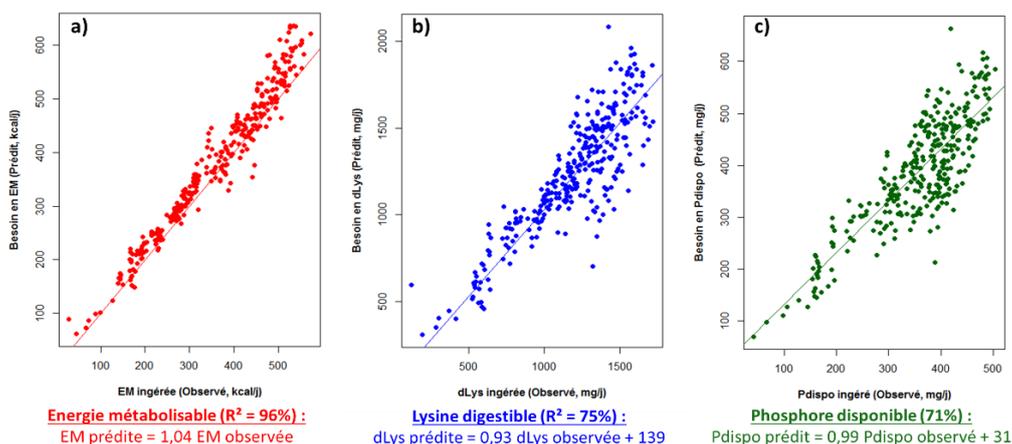
- Andretta I, Pomar C., Rivest J., Pomar J., Radünz J., 2016. *Animal*, (10), 1137-1147.
- Aviagen, 2014. *Ross 308 Broiler : Performance Objectives*. 14 p.
- Bouvarel I., Tesseraud S., Leterrier C., 2010. *INRA Prod. Anim.*, (23), 391-404.
- Couture C., Méda B., Narcy A., Létourneau-Montminy M.-P., 2019. *JRA-JRPFPG*, (13), sous presse.
- Danisman R., Gous R.M., 2011. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, (41), 194-208.
- Danisman R., Gous R.M., 2013. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, (43), 25-37.
- Dusart L., Chenut R., Dezat E., Henninot E., Chevalier D., Bouvarel I., 2016. *Tema*, (37), 11-18.
- Dusart L., Rhoulam Y., Méda B., 2019. *JRA-JRPFPG*, (13), sous presse.
- Hauschild L., Feirerra Delfim Bueno C., Remus A., De Paula Gobi J., Di Giovanni Isola R., Sakomura N.K., 2015a. *Sci. Agric.*, (72), 210-214.
- Hauschild L., Sakomura N. K., Silva E.P., 2015b. In: *Nutritional Modelling for Pigs and Poultry* (Eds. Sakomura, Gous, Kyriazakis et Hauschild). CABI Publishing, Wallingford, 188-207.
- Khaksarzareha, V., Méda, B., Narcy, A., 2017. *Proc. of the 21<sup>th</sup> Europ. Symp. on Poult. Nut. (ESPN)*, 124-129.
- Lopez G., Leeson S., 2005. *Poult. Sci.*, (84), 1069-1076.
- Lopez G., de Lange K., Leeson S., 2007. *Poult. Sci.*, (86), 2162-2171
- Pomar C., Hauschild L., Zhang G.-H., Pomar J., Lovatto P. A. 2009. *Rev. Bras. Zootec.*, (38), 226-237.
- Silva E.P., Sakomura N.K., Marcato S.M, Neme R., 2015. In: *Nutritional Modelling for Pigs and Poultry* (Eds. Sakomura, Gous, Kyriazakis et Hauschild). CABI Publishing, Wallingford, 250-258.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. 2<sup>nd</sup>e édition, INRA ed., Paris, 301 p.

**Figure 1.** Diagramme conceptuel du modèle permettant d'estimer les besoins en lysine digestible, énergie métabolisable et phosphore disponible chez le poulet de chair Ross 308 « tout-venant » en croissance.

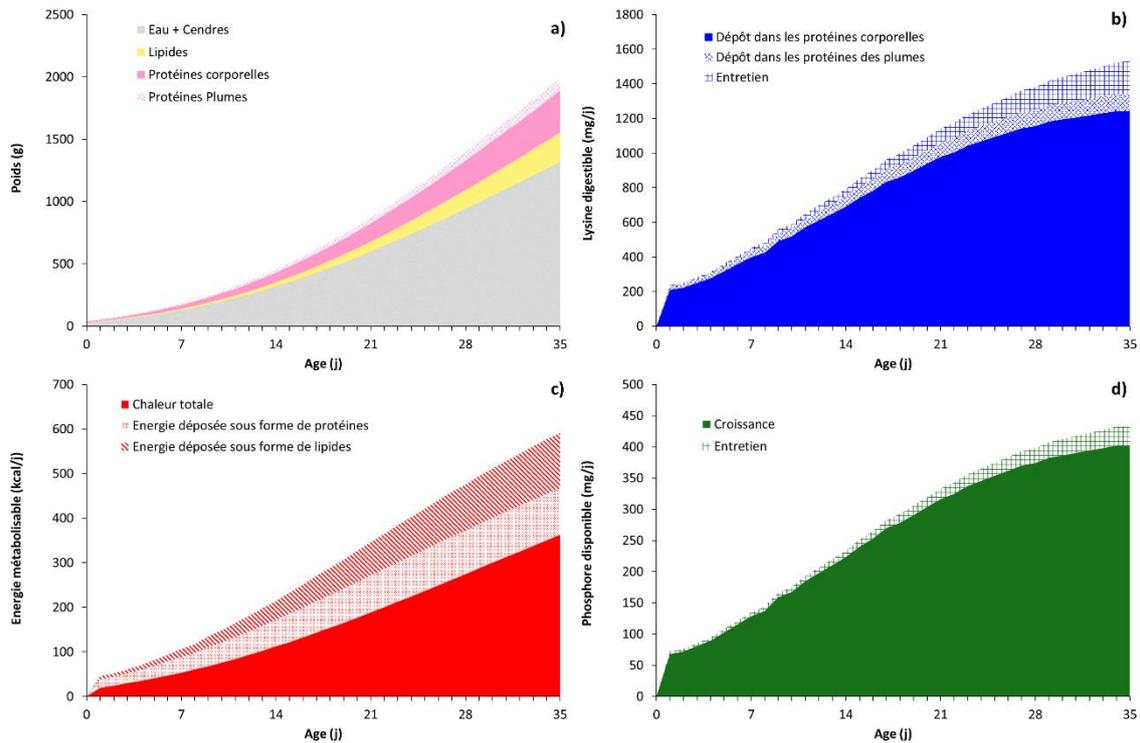


\* Gain de poids au jour J : i) différence entre les poids vif des jours J+1 et J dans le cas d'une évaluation des besoins à partir d'une courbe de poids ou ii) gain de poids « le plus probable » estimé sur la base des performances des jours précédents, dans le cas d'une évaluation au jour le jour des besoins (alimentation de précision).

**Figure 2.** Validation du modèle pour la prédiction des besoins journaliers en a) énergie métabolisable (EM), b) lysine digestible (dLys) et c) phosphore disponible (Pdispo).



**Figure 3.** Evolution a) de la composition corporelle et des besoins journaliers en b) lysine digestible, c) énergie métabolisable et d) phosphore disponible chez un poulet Ross 308 « tout-venant » entre 0 et 35 jours d'âge.



**Tableau 1.** Equations du modèle permettant d'estimer les besoins en lysine digestible (dLys), énergie métabolisable et phosphore disponible chez le poulet de chair Ross 308 « tout-venant » en croissance. Les deux entrées du modèle sont le poids vif de l'animal (PV, g) et son gain de poids attendu (GP, g).

Variable	Unité	Equation
Poids vif vide	$PVv$ g	(1) $PVv = 0,95 \times PV$
Gain de poids vif vide	$GPv$ g/j	(2) $GPv = 0,95 \times GP$
Poids de protéines (corps)	$Pc$ g	(3) $Pc = 0,169 PVv^{0,999}$
Poids de protéines (plumes)	$Pp$ g	(4) $Pp = 0,086 \times PVv^{0,928}$
Poids de lipides (corps)	$Lc$ g	(5) $Lc = 0,011 \times PVv^{1,316}$
Dépôt de protéines (corps)	$DPc$ g/j	(6) $DPc = 0,169 \times PVv^{-0,001} \times GPv$
Dépôt de protéines (plumes)	$DPp$ g/j	(7) $DPp = 0,080 \times PVv^{-0,072} \times GPv$
Dépôt de lipides (corps)	$DLC$ g/j	(8) $DLC = 0,014 \times PVv^{0,316} \times GPv$
Dépôts d'eau et de cendres	$EC$ g/j	(9) $EC = PVv - (Pc + Pp + Lc)$
Besoin en dLys pour l'entretien (corps)	$dLys_{ec}$ mg/j	(10) $dLys_{ec} = 0,537 \times Pc$
Besoin en dLys pour l'entretien (plumes)	$dLys_{ep}$ mg/j	(11) $dLys_{ep} = 0,197 \times Pp$
Besoin en dLys pour le dépôt protéique (corps)	$dLys_{dc}$ mg/j	(12) $dLys_{dc} = 85,9 \times DPc$
Besoin en dLys pour le dépôt protéique (plumes)	$dLys_{dp}$ mg/j	(13) $dLys_{dp} = 24,6 \times DPp$
Besoin total en lysine digestible	$dLys$ mg/j	(14) $dLys = (dLys_{ec} + dLys_{ep}) + (dLys_{dc} + dLys_{dp})$
Production de chaleur totale	$C_{tot}$ kcal/j	(15) $C_{tot} = 212 \times PVv^{0,75}$
Energie déposée sous forme de lipides	$E_L$ kcal/j	(16) $E_L = 9,5 \times DLC$
Energie déposée sous forme de protéines	$E_p$ kcal/j	(17) $E_p = 5,7 \times (DPc + DPp)$
Besoin total en énergie métabolisable	$EM$ kcal/j	(18) $EM = C_{tot} + E_L + E_p$
Besoin en phosphore disponible pour l'entretien	$Pdispo_e$ mg/j	(19) $Pdispo_e = 3,4 + 0,0185 \times PV - 2,1 \cdot 10^{-9} \times PV^2$
Besoin en phosphore disponible pour les dépôts	$Pdispo_d$ mg/j	(20) $Pdispo_d = 4,68 \times GP$
Besoin total en phosphore disponible	$Pdispo$ mg/j	(21) $Pdispo = Pdispo_e + Pdispo_d$

Les références bibliographiques associées aux différentes équations sont précisées dans la section 1 de l'article.