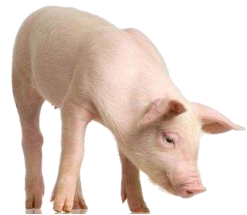




PRÉDIRE L'ÉNERGIE DIGESTIBLE DES ALIMENTS CHEZ LE PORC PAR DES MÉTHODES ALTERNATIVES OU COMPLÉMENTAIRES AUX BILANS DIGESTIFS



La formulation sur l'énergie digestible (ED) ou nette chez les porcs est l'une des contraintes majeures que doit prendre en compte un formulateur. Déterminer pour chaque matière première (MP) la quantité d'énergie qui est réellement utilisée par l'animal est donc indispensable, pour permettre l'adéquation entre besoins et apports au moindre coût. Pour cela, la méthode de référence est le bilan digestif *in vivo*, en appliquant différents protocoles de mesure selon le stade physiologique (porcelet, porc en croissance, truie) et le niveau recherché (énergie digestible, métabolisable ou nette). Ces méthodes de mesure sont néanmoins relativement longues et coûteuses. Les résultats obtenus dans ces essais *in vivo* ont été depuis des années utilisés pour développer des méthodes alternatives comme la digestibilité *in vitro*, ou encore des équations de prédiction. Cette dernière méthode permet de s'affranchir totalement des animaux, en utilisant uniquement la composition chimique des matières premières ou de l'aliment afin de prédire leur valeur d'énergie digestible. L'obtention de telles équations nécessite d'avoir au préalable évalué un nombre conséquent d'aliments ou MP sur animaux. Le Pôle Valorisation Animale d'ARVALIS disposant de nombreux résultats d'essais de digestibilité sur porc, menés depuis plus de trente ans, il a été décidé de reprendre l'ensemble de ces données pour tenter d'établir des équations de prédiction, dans le cadre d'un stage de fin d'études (M. Vanholderbeke). L'ensemble des résultats obtenus sera comparé aux équations de la littérature.



Une base de données reprenant les résultats d'essais de digestibilité fécale de l'énergie sur porcs en croissance, menés de 2003 à 2022, a été créée, avec au départ 110 aliments et 590 porcs mâles castrés. Une sélection a ensuite été effectuée sur les aliments ayant le plus de critères chimiques mesurés au moment de l'essai ou sur la disponibilité des échantillons d'aliment conservés en chambre froide pour compléter certaines analyses. Ainsi, nous avons constitué une base de données finale (BDDf) avec 41 aliments évalués (dont 13 MP différentes) sur 212 porcs mâles castrés de même type génétique. Pour ces aliments, nous disposons des critères suivants : matière sèche (MS), matière azotée totale (MAT), matière grasse (MG), matière minérale (MM), énergie brute (EB), et fibres Van Soest (NDF, ADF et ADL). L'analyse de cette base de données s'est déroulée en deux étapes. Dans un premier temps, une fragmentation de la base en deux jeux de données a été faite de manière aléatoire sur le ratio 80/20 permettant de construire des équations de prédiction (80 % des valeurs), puis de procéder à une validation croisée (20 % des valeurs).

Les équations de prédiction de l'ED ont été construites à l'aide de régressions linéaires multiples par la méthode « pas à pas » (stepwise), avec comme variables prédictives les critères de composition chimique des aliments énumérés ci-dessus.



La meilleure équation obtenue (R^2 le plus élevé), avec le moins de critères est :

ARVALIS_1: $ED = 108,7 - 34,6 * MM - 43,2 * NDF + 3,2 * MS + 0,93 * EB$; $R^2 = 0,84$

avec ED et EB en kcal/kg MS ; MS en % ; MM et NDF en %MS

Cette équation, appliquée au jeu de validation, donne un R^2 encore élevé (0,80 %), ce qui est prévisible car il s'agit d'individus différents mais issus des mêmes essais.

Pour évaluer cette équation, les valeurs prédites ont été confrontées aux valeurs mesurées *in vivo* ainsi qu'aux valeurs d'ED obtenues avec quatre équations de prédiction publiées :

- Noblet et al., 1989, [Eq4 : $ED = 4421 - 104 * MM + 13 * MAT + 37 * MG - 38 * NDF$]
- Noblet et Perez, 1993, [Eq23 : $ED = 4168 - 91 * MM + 19 * MAT + 39 * MG - 36 * NDF$]
- Noblet et Perez, 1993, [Eq30 : $ED = 1007 - 46 * MM + 8 * MAT - 36 * NDF + 0,75 * EB - 50 * ADL$]
- Le Goff et Noblet, 2001, [Eq20 : $ED = 4228 - 81,5 * MM + 17 * MAT + 34,9 * MG - 31,5 * NDF$]

Ces équations ont été choisies selon leurs fiabilités annoncées ($R^2 > 0,90$) et les variables utilisées comparables à celles de notre équation. Cette comparaison a été faite, d'abord avec toutes les valeurs individuelles (donc en intégrant l'effet animal) de la BDDf, puis avec les valeurs moyennes par aliment, ce qui est plus proche d'une utilisation en formulation.

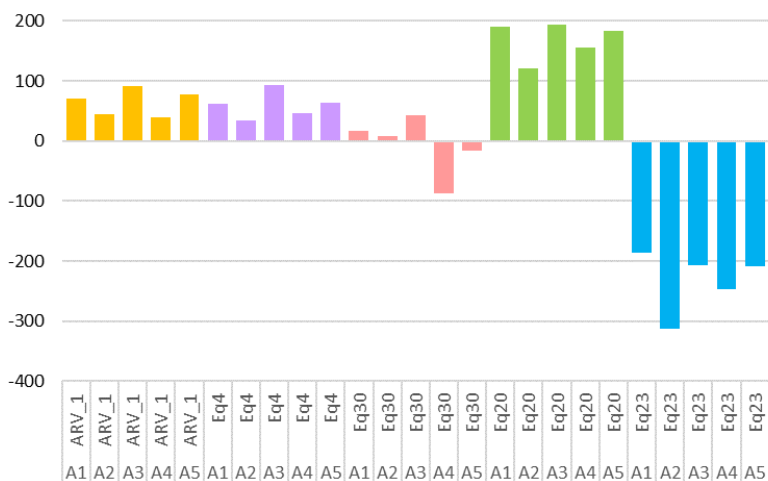
Dans le premier cas, les quatre équations testées donnent des valeurs prédites d'ED avec une corrélation (R^2) de 0,73 à 0,74.

À partir des ED moyennes par aliment ($n=41$), les coefficients sont améliorés, avec un R^2 de 0,91 pour l'équation ARVALIS_1 et de 0,80 à 0,81 pour les autres. Néanmoins, parmi les équations de référence, deux montrent un biais important avec les valeurs de notre BDDf. En fait, les équations de Le Goff et Noblet (2001) et Noblet et Perez (1993 ; Eq30) surestiment ou sous-estiment les valeurs mesurées (figure 1 ; +120 et - 233 kcal/kg MS en moyenne par rapport à l'attendu). Les deux autres équations de référence (Noblet et Perez, 1993 (Eq23) et Noblet et al., 1989) semblent être bien plus précises, avec un écart à la moyenne identique à celui de notre équation.

La figure 1 montre néanmoins une variabilité de l'ED prédite des aliments, non négligeable, sans critère explicatif, à ce stade du travail.

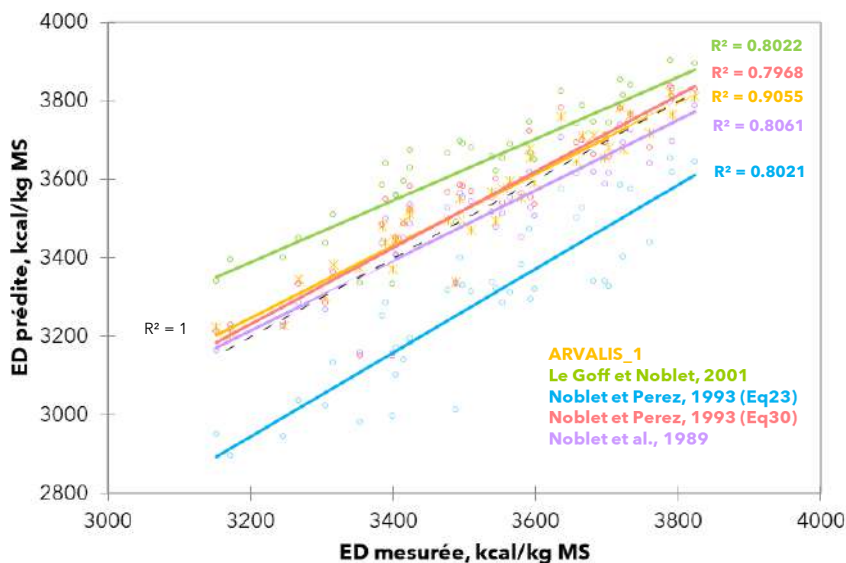
À la suite de ces résultats, nous avons testé ces équations sur les données d'un essai récent et externe à la base de données, dans lequel 5 aliments ont été évalués (A1 : Orge, A2 : Maïs/TS, A3 : Maïs/TC, A4 : Orge/TS, A5 : Orge/TC) sur 5 individus chacun. La figure 2 montre les écarts calculés entre l'ED prédite et l'ED mesurée.

Figure 2 : Ecart d'ED (prédite - mesurée) de 5 aliments selon l'équation de prédiction utilisée



De manière plus synthétique, le calcul de la « somme absolue » des écarts (\sum abs écarts) des 5 aliments pour les trois équations est de 300 et 325 kcal/kg MS pour Noblet *et al.* (1989) et ARVALIS_1 respectivement, mais de seulement 172 kcal/kg MS pour Noblet et Perez (1993 ; Eq30). Pour Le Goff et Noblet (2001), la \sum abs écarts atteint 845 kcal/kg MS et celle de Noblet et Perez (1993 ; Eq23) 1157 kcal/kg MS.

Figure 1 : Comparaison de l'ED moyenne des aliments, prédite avec cinq équations et de l'ED mesurée dans des essais in vivo réalisés par ARVALIS



Les équations ARVALIS_1 et Noblet *et al.* (1989) donnent des résultats pratiquement identiques, avec un R^2 de 0,99 entre la valeur moyenne mesurée par aliment et la valeur prédite pour chacune des équations. Cependant, les deux surestiment les valeurs de + 40 à + 90 kcal/kg MS, avec néanmoins la même hiérarchie pour tous les aliments. L'équation Noblet et Perez (1993 ; Eq30), donne des valeurs très proches des moyennes mais sous-estime la valeur de l'A4 de - 89 kcal/kg MS, ce qui dégrade légèrement le R^2 (0,93).

Pour les deux autres équations, les prédictions ne sont pas acceptables car, comme lors de la comparaison à la BDDf, l'équation Le Goff et Noblet (2001) surestiment l'ED de + 122 à + 190 kcal/kg MS et celle de Noblet et Perez (1993 ; Eq23) les sous-estiment de -186 à -312 kcal/kg MS par rapport à l'ED mesurée.



L'ensemble de ces résultats est plutôt positif bien que notre base de données soit construite avec seulement 41 aliments, contenant 13 MP différentes. Les prédictions sont comparables à celles issues de certaines équations de prédiction de référence, développées à partir de bases de données plus importantes et comportant une plus grande diversité de MP (29 dans l'étude de Noblet et Perez (1993) ; 31 dans celle de Le Goff et Noblet (2001) ; 23 dans l'étude de Noblet et al. (1989)).

Il est évident que la bonne correspondance des résultats de l'essai de validation avec la prédiction de notre équation profite en partie de l'origine de résultats (même laboratoire, même méthode), mais cela permet de vérifier que certaines équations plus anciennes restent relativement précises lorsqu'elles sont comparées à des valeurs *in vivo* récentes.

CONCLUSION : L'équation de prédiction ARVALIS_1 semble, *a priori*, prometteuse bien qu'elle ne soit pas plus précise que certaines équations de référence lorsqu'elle est appliquée à des aliments simplifiés. Ce travail a permis néanmoins de valider la possibilité d'utiliser notre base pour développer des équations robustes et ainsi pouvoir l'enrichir avec des données des essais à venir, avec des aliments contenant des matières premières « nouvelles » et en particulier des coproduits issus de nouveaux procédés de fabrication. Le développement de ces méthodes, alternatives ou complémentaires aux essais sur animaux, est important dans un souci d'optimisation des ressources, mais aussi d'agilité dans la caractérisation de matières premières, bien que les valeurs de référence mesurées *in vivo* restent nécessaires au maintien et aux évolutions de ces équations.

Utiliser le coq comme modèle de prédiction de l'ED porc ?

L'usage du « modèle coq » pour prédire ou comparer la digestibilité des nutriments ou de l'énergie chez le porc a déjà fait l'objet d'études comparatives, mais elles sont peu nombreuses et avec des conclusions mitigées et variables (Smith *et al.*, 1988 ; Sibbald *et al.*, 1990 ; Wiseman *et al.*, 1998). L'intérêt est la relative facilité de mesure chez le coq par rapport au porc.

Le Pôle Valorisation Animale ayant réalisé des essais évaluant les mêmes aliments (15 aliments) chez le coq et le porc, les résultats ont été comparés, puis des critères chimiques ont été intégrés afin d'évaluer la possibilité d'établir des équations de prédiction de l'ED du porc à partir de l'EMAn du coq.

Pour cela, une régression linéaire multiple a permis d'établir une première équation de prédiction :

$ED\ porc = EMAn\ coq + 35 * MAT\ aliment - 150$, ($R^2=0,98$, $P<0,001$), avec MAT en % MS, ED et EMAn en kcal/kg MS.

Bien que cette première base de données ne soit pas suffisamment importante, nous avons souhaité évaluer la fiabilité de cette équation avec les résultats obtenus lors d'un essai récent n'ayant pas été pris en compte pour l'établissement des équations. Dans cet essai, 3 aliments ont été évalués à base de maïs, de blé ou d'orge. Les prédictions semblent bien s'approcher des valeurs mesurées pour les aliments à base de maïs (écart de 49 kcal/kg MS) et relativement correctes pour les aliments à base de blé (75 kcal/kg MS). Pour l'aliment à base d'orge, la prédiction n'est pas fiable (279 kcal/kg MS), sûrement par la différence d'utilisation des fibres dans ces deux espèces. Bien qu'encourageant en l'état, il n'y a pas encore assez de données pour attester de la fiabilité du modèle coq pour estimer l'ED des porcs. Ces études vont se poursuivre pour enrichir nos bases de données et tenter d'affiner les conditions du modèle (niveau de mesure : EM vs. ED, type de matière première, ...) afin de valider ou invalider cette alternative.



Références

- Le Goff G. Noblet J., 2001. 33ème Journées de la Recherche Porcine, 211-220.
- Noblet J., Fortune H., Dubois S., Henry Y. 1989. Nouvelles bases d'estimation des teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette pour le porc. INRA Editions.
- Noblet J. Perez J., 1993. Journal of animal science 71, 3389-3398.
- Sibbald I.R., Hall D.D., Wolynetz M.S., Fernández J.A., Jorgensen H., 1990. Animal Feed Science and Technology 30, 131-142.
- Smith W.C., Moughan P.J., Pearson G., 1988. Animal Feed Science and Technology 19, 105-110.
- Wiseman J., Powles J., Salvador F., 1998. Animal Feed Science and Technology 71, 1-9.