

LA COMBINAISON DES INFORMATIONS ISSUES DES ALIMENTS ET DES FIENTES AMELIORE LA PREDICTION PAR SPIR DE LA DIGESTIBILITE CHEZ LE POULET

Coulibaly Ibrahim ^{1,3}, Métayer Jean Paul ², Chartrin Pascal ³, Mahaut Brigitte ²,
Bouvarel Isabelle ⁴, Hogrel Patrick ⁵, Bastianelli Denis ¹

¹CIRAD-SELMET, Baillarguet TA C-112/A, 34398 Montpellier Cedex 05, France

²ARVALIS – Institut du végétal, 91720 Boigneville, France

³INRA, Unité de Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, France

⁴ITAVI, Centre INRA de Tours, 37380 Nouzilly, France

⁵PROVIMI, Parc d'activités de Ferchaud, 35320 Crévin, France

denis.bastianelli@cirad.fr

RÉSUMÉ

La digestion est un processus interactif entre un aliment et un animal. Pour tester la complémentarité entre les informations provenant des aliments et des fientes, une base de données de plus de 1000 échantillons provenant d'essais de digestibilité pour lesquels on disposait à la fois des spectres proche infrarouge des fientes et des aliments a été créée. Les paramètres mesurés étaient l'énergie métabolisable apparente (EMA, 940 données) et les coefficients de digestibilité de la matière sèche (dMS, 974 données), de l'amidon (dAMI, 277 données) et des protéines (dPROT, 545 données). Des équations de calibration ont été élaborées par régression PLS pour prédire les paramètres de digestibilité à partir des spectres d'aliments (SA), de fientes (SF), ou des deux spectres concaténés (SA+F). Pour EMA l'erreur de prédiction (SECV) a été de 127, 117, 57 kcal/kg pour les modèles à partir respectivement des SA, SF et SA+F. Pour dMS, les valeurs ont été de 2,82, 2,26 et 1,35% respectivement. Dans les deux cas, l'erreur a donc été divisée par 2 en utilisant conjointement les deux sources d'information. Pour dAMI et dPROT, au contraire, les modèles obtenus à partir des SF seuls ont presque été aussi performants que ceux résultants de la concaténation (respectivement 0,74 vs 0,68% et 2,50 vs 2,47%). Les modèles de prédiction à partir des SA ont été nettement moins précis (2,76% pour dAMI et 3,47% pour dPROT). En conclusion, les spectres d'aliments et de fientes contiennent de l'information sur la digestibilité, mais celle-ci n'est que partiellement redondante puisque la concaténation des 2 types de spectres conduit à de meilleurs résultats. Cette prise en compte conjointe des informations offre des perspectives intéressantes pour la prédiction de la digestibilité chez le poulet.

ABSTRACT

Combination of information from feeds and feces improves the NIRS prediction of digestibility in broilers
Digestion is an interactive process between a feed and an animal. This study aimed to test the complementarity between the information brought by feed and feces spectra. To achieve this, we collected a database of more than 1000 samples originating from digestibility trials for which we had both feed and feces spectra. The parameters studied were apparent metabolizable energy (EMA, 940 data) and digestibility coefficients of dry matter (dMS, 974 data), starch (dAMI, 277 data) and protein (dPROT, 545 data). Calibration equations were built by PLS regression for the prediction of digestibility parameters from feed spectra, feces spectra, or both spectra concatenated. For EMA the prediction error (SECV) was 127, 117 and 57 kcal/kg for the models based on feeds, feces and concatenated spectra respectively. For dMS the corresponding values were 2.82, 2.26 and 1.35% respectively. In both cases the error was halved by using the two sources of information together. In contrast, for dAMI and dPROT the models obtained with the feces spectra alone were almost as precise as those obtained from concatenated spectra (respectively 0.74 vs 0.68% and 2.50 vs 2.47%). Models based on feed spectra only were far less precise (2.76% for dAMI and 3.47% for dPROT). In conclusion, spectra of feeds and feces contain information on digestibility, but this information is only partially redundant since concatenation of spectra lead to better results. The consideration of both sources of information offers perspectives for the prediction of digestibility in poultry.

INTRODUCTION

La digestion est un processus d'interaction entre un aliment et un animal. L'aliment possède des caractéristiques chimiques et physiques qui lui confèrent une digestibilité potentielle, tandis que l'animal l'utilisera plus ou moins efficacement selon son espèce, son potentiel génétique, son âge etc.

La prédiction de la digestibilité à partir d'informations provenant uniquement des aliments ne peut pas représenter l'ensemble du processus. Or la plupart des équations disponibles pour prédire la valeur énergétique ou la digestibilité se base sur la composition chimique des aliments (par ex. Fisher et MacNab, 1987), ou leur spectre dans le cas des prédictions par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) (par ex. Valdes et Leeson, 1992). Des essais de prédiction de la digestibilité par SPIR à partir des fientes ont été présentés plus récemment (Bastianelli *et al.*, 2007). En effet les fientes sont le résultat du processus de digestion, et contiennent donc des informations sur ce processus. Toutefois on peut se demander si les résidus d'aliments non digérés contenus dans les fientes suffisent à apporter l'information contenue dans l'aliment sur la « digestibilité potentielle » de celui-ci.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet DIGSPIR financé par le CASDAR et qui a pour objectif de « Caractériser la valeur nutritionnelle des aliments par des méthodes innovantes de mesure de la digestibilité pour une agriculture durable ». Son objectif est de tester la complémentarité entre les informations provenant des spectres des aliments et des fientes pour la prédiction de la digestibilité, comme cela a été suggéré par Meineri *et al.* (2009) sur le lapin.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Echantillons et données de digestibilité

La base de données a été constituée à partir de collections d'échantillons de fientes provenant d'essais de digestibilité d'ARVALIS (51 essais), de l'INRA (36 essais) et du CIRAD (22 essais), pour lesquels les échantillons d'aliments correspondants étaient également conservés. Un total de 1015 échantillons de fientes correspondant à 84 aliments a été collecté. A cette base ont été ajoutés 70 échantillons de fientes provenant de 18 régimes très contrastés testés dans le cadre du projet DIGSPIR (Métayer *et al.*, 2013).

Les données de digestibilité sont des données obtenues par bilan classique sur des animaux âgés de 3 semaines (Bourdillon *et al.*, 1990) sur des aliments présentés en farine. Parmi les 1085 échantillons de fientes traités, 974 comportaient une donnée de digestibilité de la matière sèche (dMS), 940 l'énergie métabolisable (EMA), 545 la digestibilité des protéines (dPROT) et 277 la digestibilité de l'amidon (dAMI). Les analyses chimiques ont été obtenues

calorimétrie (EB), méthode de Kjeldahl (protéines) et méthode enzymatique (amidon).

1.2. Analyses SPIR

Les échantillons de fientes lyophilisées et d'aliments des 3 stations ont tous été scannés sur un même spectromètre FOSS 6500 en mode réflectance, sur les échantillons en poudre (broyage = 1mm) présentés dans des coupelles. Chaque échantillon a été passé deux fois et les spectres ont été moyennés. Les longueurs d'onde utilisées dans l'analyse vont de 800 à 2500nm avec un pas de 2nm. Les longueurs d'onde visibles (400-800nm) n'apportaient rien aux modèles et ont donc été écartées. Les spectres ont ensuite été soumis à un prétraitement mathématique (dérivée seconde, normalisation, lissage et correction de la ligne de base). Le même prétraitement a été appliqué à tous les spectres.

Pour chaque spectre de fiente, le spectre de l'aliment correspondant a été associé, pour aboutir à un spectre concaténé comportant les deux signaux l'un après l'autre. Un exemple de spectre concaténé est donné en Figure 1, les 850 premiers points correspondant à la fiente et les 850 suivants correspondant à l'aliment.

1.3. Statistiques

Les modèles de calibration ont été développés par régression PLS (Partial Least Square) à l'aide du logiciel statistique R (packages PLS et Chemometrics). Le choix du nombre de composantes du modèle a été fait par validation croisée sur 4 groupes, en répétant 100 fois le tirage aléatoire des groupes. Ceci permet d'éviter le surparamétrage du modèle.

Les statistiques décrivant la calibration sont le R^2 et l'erreur type de calibration (SEC), puis l'erreur moyenne calculée lors de la validation croisée donnée sous la forme de l'erreur type de validation croisée (SECV).

Certains individus aberrants ont été écartés : d'une part les échantillons dont les spectres étaient éloignés de la base de calibration (distance $H > 3$), et ceux dont le résidu de prédiction était extrême, suggérant une erreur analytique (Test $T > 2,5$).

Les modèles de calibration ont été développés d'une part sur les spectres de fientes seuls ou d'aliments seuls, puis sur les deux spectres concaténés

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Calibrations basées sur les spectres des aliments ou les fientes seuls

Le tableau 1 présente les résultats des calibrations.

Les calibrations basées sur les spectres des aliments ont des R^2 variant entre 0,33 et 0,76. L'erreur de validation croisée obtenue pour la digestibilité de la MS est de 2,82% tandis que celle sur l'EMA est de 127kcal/kg. Même tenant compte du fait qu'il s'agit de valeurs individuelles (moins précises que des

valeurs moyennes de digestibilité habituellement présentées), la précision de la prédiction est donc faible. Il en est de même pour la digestibilité de l'amidon et des protéines dont les erreurs (2,76% et 3,47%) sont très élevées et les R^2 (0,33 et 0,50 respectivement) très faibles. Pour ces paramètres l'information sur la digestibilité n'est clairement pas présente dans l'aliment, ou pour le moins dans le spectre PIR de celui-ci, malgré la relative variabilité de la base de calibration.

Les calibrations basées sur les spectres des fientes sont sensiblement meilleures pour DMS et EMA mais les erreurs restent toutefois élevées pour ces paramètres (2,26% et 117kcal/kg respectivement). Au contraire, les performances de la calibration de dAMI sont très bonnes, avec un SECV de 0,74% seulement correspondant à un R^2 de 0,96. Ceci signifie que les spectres des fientes contiennent beaucoup d'information sur la digestibilité de l'amidon. Ce résultat n'est pas surprenant car l'amidon retrouvé dans les fientes vient seulement de l'amidon non digéré (contrairement à l'azote ou à l'énergie qui proviennent également des apports endogènes et métaboliques) et que la calibration de dAMI correspond donc à une détection de la teneur en amidon, qui est notoirement bonne (Bastianelli *et al.*, 2010). La calibration de la digestibilité des protéines est meilleure avec les spectres des fientes qu'avec ceux de l'aliment, mais reste peu précise avec une erreur SECV de 2,47%. Les spectres de fientes contiennent donc relativement peu d'information sur cette variable.

2.2. Calibrations basées sur les spectres concaténés

Les calibrations de DMS et EMA basées sur les spectres concaténés ont des erreurs SECV réduites de moitié par rapport aux calibrations basées seulement sur les fientes ou les aliments. La précision atteinte est de 1,35% de DMS et de 57kcal/kg d'EMA. La Figure 2 illustre ce résultat, montrant la qualité de l'ajustement pour les prédictions de l'EMA par les spectres des fientes, des aliments ou de leur concaténation respectivement. Ce résultat montre que les informations apportées par l'aliment d'une part et les fientes d'autre part ne sont pas redondantes, et qu'elles se complètent pour décrire la digestibilité. Il confirme que la seule description de l'aliment ne peut rendre compte des variations du niveau énergétique, mais que le processus de digestion induit des variations en interaction avec l'aliment. La qualité de la prédiction de l'EMA, compte tenu du fait qu'il s'agit ici de données individuelles, suggère que la prise en compte conjointe des informations spectrales permet ici une bonne description de la digestion.

En ce qui concerne la digestibilité de l'amidon, l'amélioration de la prédiction par les spectres concaténés est marginale. Les spectres de fientes seuls permettaient déjà une très bonne prédiction de dAMI. Ceci confirme que l'information concernant la digestibilité de l'amidon se trouve essentiellement

dans les fientes et que l'information provenant de l'aliment n'y ajoute quasiment rien.

La prédiction de la digestibilité des protéines n'est pas non plus améliorée par la prise en compte conjointe de l'information spectrale de l'aliment et des fientes. La performance obtenue reste modeste (2,5%) ce qui signifie soit que les spectres des fientes et des aliments contiennent peu d'information sur dPROT, soit que la mesure est plus imprécise que les autres paramètres de digestibilité, et donc moins calibrable. Cette hypothèse est étayée par la prédictibilité médiocre de la teneur en protéines fécales mesurées comme ici par la différence entre l'azote total et l'azote urique (Bastianelli *et al.*, 2010).

L'utilisation conjointe des spectres d'aliments et de fientes a été utilisée chez les ruminants, mais la seule étude comparable à celle-ci sur des monogastriques a été publiée par Meineri *et al.* (2009) et était effectuée chez le lapin. Bien que restreinte (60 échantillons, 12 aliments), cette expérimentation aboutissait à des conclusions comparables à la présente étude, montrant que pour la plupart des paramètres la quantité d'information était supérieure dans les spectres de fèces que dans ceux de l'aliment, et soulignant dans ce cas l'intérêt de l'interprétation conjointe des spectres.

CONCLUSION

Cette étude montre qu'il est possible de prédire la digestibilité des nutriments par SPIR avec une précision intéressante pour la digestibilité de l'amidon à partir des spectres des fientes, et pour l'énergie métabolisable à partir des spectres des fientes et des aliments utilisés conjointement. Au-delà de ce résultat pratique, ce type d'approche peut permettre de mieux comprendre la digestibilité elle-même, et de hiérarchiser les déterminants de sa variabilité. La mise en évidence de l'importance de l'information fécale est un résultat particulièrement intéressant et suggère d'envisager l'analyse fécale comme outil pratique d'évaluation de l'efficacité alimentaire en élevage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les laboratoires d'ARVALIS, du CIRAD et de l'INRA UR83 pour la réalisation des analyses ainsi que le programme CASDAR du Ministère de l'Agriculture pour sa participation financière au projet DigSPIR.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bastianelli D., Carré B., Mignon-Grasteau S., Bonnal L., Davrieux F., 2007. Proc. 12th Int. Conf. NIRS. Auckland (New Zealand), 9th-15th april 2005. NZ NIRS Soc. Inc., Hamilton (NZ), 626-629.
- Bastianelli D., Bonnal L., Juin H., Mignon-Grasteau S., Davrieux F., Carré B., 2010. J. Near Infrared Spectrosc. 18:69-77.
- Bourdillon A., Carré B., Conan L., Francesch M., Fuentes M., Huyghebaert G., Janssen W. M. M. A., Leclercq B., Lessire M., McNab J., Rigoni M., Wiseman J. 1990. Brit. Poult. Sci., 31: 567-576.
- Fisher C., McNab J.M., 1987. In Recent Advances In Animal Nutrition. Haresign W. et Cole D.J.A. Eds. Butterworth (London, UK), 3-18.
- Meineri G., Peiretti P.G., Masoero G., 2009. Ital. J. Anim. Sci., 8, 75-82
- Métayer J.P., Lescoat P., Bastianelli D., Bouvarel I., Fournis Y., Vilarinho M., 2013. 10èmes Journ. Rech. Avicole, La Rochelle, 26-28 mars 2013.
- Valdes E.V., Leeson S., 1992. Poult. Sci. 71, 1179-1187

Figure 1. Spectres moyens des fientes et des aliments de l'expérimentation. Chaque spectre comprend 850 points correspondant aux absorbances entre 800 et 2500nm par pas de 2nm

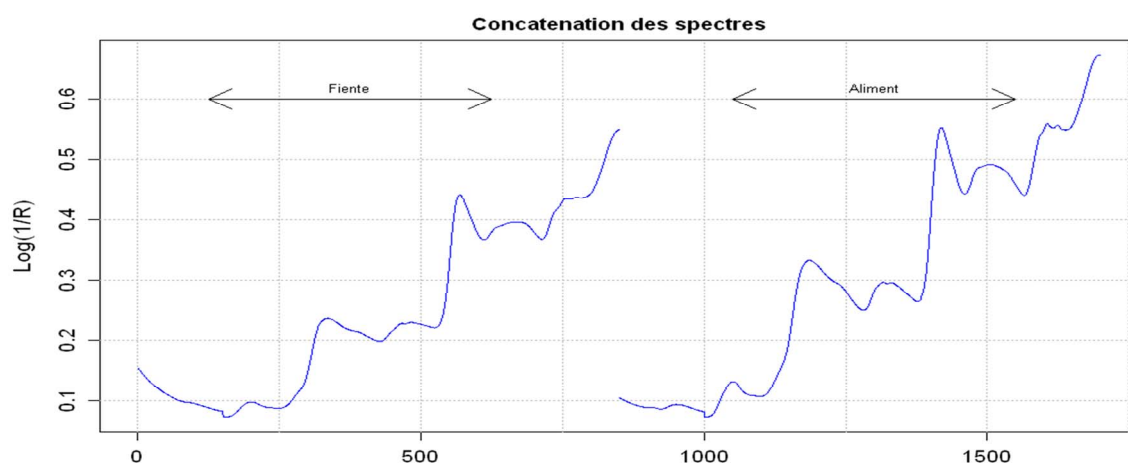


Tableau 1. Statistiques de calibration et de validation croisée pour les modèles construits à partir des spectres des aliments, des fientes, ou leur concaténation

	Spectres	N	Moy.	E-T	Min	Max	N. comp.	SEC	R ²	SECV
dMS (%)	Aliments	931	65,6	5,5	33.1	79.0	8	2,69	0,76	2,82
	Fientes	934	65,7	5,5	33.1	79.0	15	2,00	0,87	2,26
	Concaténation	937	65,6	5,6	33.1	79.0	13	1,29	0,95	1,35
EMA (kcal/kgMS)	Aliments	916	3323	239	1741	3946	8	122	0,74	127
	Fientes	891	3316	238	1741	3946	13	108	0,80	117
	Concaténation	882	3322	240	1741	3946	13	52	0,95	57
dAMI (%)	Aliments	267	95,3	3,4	79.0	99.1	2	2,75	0,33	2,76
	Fientes	260	95,6	3,0	79.0	99.1	10	0,60	0,96	0,74
	Concaténation	270	94,9	4,1	79.0	99.1	12	0,56	0,98	0,68
dPROT (%)	Aliments	519	76,3	4,7	39.1	94.1	6	3,41	0,50	3,47
	Fientes	513	76,4	4,7	39.1	94.1	7	2,42	0,73	2,47
	Concaténation	525	76,4	4,7	39.1	94.1	9	2,33	0,75	2,50

N : Nombre d'échantillons dans le modèle; Moy, E.T., Min, Max: moyenne, écart type, minimum et maximum de la population d'étalonnage ; N. comp : nombre de composantes ou facteurs PLS retenus pour le modèle, SEC : erreur type de calibration, R² : coefficient de détermination de la calibration ; SECV : erreur type de validation croisée ;

Figure 2. Ajustement entre valeurs d'EMA (kcal/kg MS) mesurées et prédites par les modèles basés sur les spectres des fientes, des aliments ou leur concaténation

