

COMPARAISON ENTRE UNE METHODE DE BILAN DIGESTIF CLASSIQUE ET UNE METHODE AVEC MARQUEUR CHEZ LE POULET STANDARD : EFFET SUR LA DIGESTIBILITE DES NUTRIMENTS DES ALIMENTS

Métayer Jean Paul¹, Lescoat Philippe², Bastianelli Denis³, Bouvarel Isabelle⁴, Fournis Yann⁵, Vilariño Maria⁶

¹ARVALIS – Institut du végétal, 91720 Boigneville, France

²Unité de Recherches Avicoles, Centre INRA de Tours, 37380 Nouzilly, France

³CIRAD-SELMET, Baillarguet TAC-112/A, 34398 Montpellier Cedex 05, France

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

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

⁶ARVALIS – Institut du végétal, Pouline, 41100 Villerable, France

jp.metayer@arvalisinstitutduvegetal.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de notre étude était de comparer deux méthodes de bilan digestif et d'étudier l'effet du mode de calcul sur la digestibilité fécale des nutriments. Pour cela, chez des poulets Ross PM3 âgés de 21 à 24 jours, une comparaison de la méthode de bilan classique (BiC = collecte totale des excréta avec mise à jeun en début et fin de bilan) et d'une méthode avec marqueur indigestible (BiM = TiO₂ incorporé à 0,5 % dans les aliments) a été effectuée. Les méthodes ont été comparées sur les mêmes excréta (avec mise à jeun). 18 aliments représentant une variabilité importante de profils matières premières (blé, maïs, orge, pois, drêches de blé, tourteaux de colza et de tournesol, huile de soja, huile acide) formulés selon 2 niveaux énergétiques (haut, HE = 3030 kcal/kg et bas, BE = 2735 kcal/kg) ont été étudiés. On n'observe aucune interaction entre les méthodes BiC et BiM et le type d'aliment HE ou BE. Aucune différence significative n'est obtenue entre BiC et BiM sur les paramètres mesurés, avec respectivement, des valeurs moyennes de digestibilités pour l'énergie (EMAn/EB) = 67,6 % vs. 67,0 % (NS), l'amidon = 95,5 vs. 95,9 % (NS), l'azote (digestibilité apparente) = 80,5 % vs. 80,0 % (NS) et la matière grasse = 85,2 % vs. 84,8 % (NS). En conclusion, les deux méthodes de calcul sont comparables quel que soit le type d'aliment testé. La méthode avec marqueur permet de s'affranchir d'une mise à jeun des poulets et de mesures précises des quantités ingérées et excrétées, tout en permettant de mesurer en même temps les performances des animaux.

ABSTRACT

Comparison between a classical method of balance experiment and a method with titanium dioxide as an inert marker: Effect on nutrient digestibility of diets in broiler chickens

The aim of our study was to compare two methods of balance experiment to determine fecal nutrients digestibility of broiler diets. A comparison in male broiler chickens (Ross PM3) 21 to 24 days old, between the classical balance (CB = total excreta collection with a feed deprivation at the beginning and the end of balance) and a method with indigestible marker (IMB: TiO₂ = 0.5% in diet) were performed. The methods were compared on the same excreta (with fasting period). 18 diets with a large range of raw materials (wheat, corn, barley, pea, wheat DDGS, rapeseed and sunflower meal, soybean oil, acid oil) formulated according to two energy levels (high, HE = 12.67 MJ / kg and low, LE = 11.43 MJ / kg) have been studied. There was no interaction between CB and IMB methods and the type of diet HE or LE. No significant difference was obtained between CB and IMB on the measured parameters, with mean values respectively: digestible energy (AMEn/GE) = 67.6% vs. 67.0% (NS), starch digestibility = 95.5 vs. 95.9% (NS), apparent nitrogen digestibility = 80.5% vs. 80.0% (NS) and fat digestibility = 85.2% vs. 84.8% (NS). In conclusion, the two methods are comparable regardless of the type of diets tested. Method with marker can eliminate a fasting period and accurate measurements of feed intake and excreta, as well as to measure performance of the animals.

INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet de recherche « Caractériser la valeur nutritionnelle des aliments par des méthodes innovantes de mesure de la digestibilité pour une agriculture durable » (DigSPIR) financé par le CASDAR. L'objectif de ce premier essai est de comparer la méthode de référence d'un bilan digestif (Bourdillon *et al.* 1990) à une méthode avec marqueur permettant une plus grande gamme de protocoles expérimentaux et cela avec des aliments très différents. Cette large gamme est choisie également pour alimenter les bases de données permettant de prédire la digestibilité des aliments par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) à partir des fientes et des aliments (Coulibaly *et al.*, 2012, communication JRA 2013), but ultime du projet.

La méthode de référence de bilan digestif utilisée est celle décrite par Bourdillon *et al.* (1990). Cette méthode dite classique (BiC) nécessite une période de mise à jeun des poulets en début et fin de bilan digestif et une collecte totale des excréta. La mise à jeun la rend difficile à conduire à plusieurs âges chez le jeune poulet et elle est inapplicable en conditions d'élevage. Selon Péron *et al.* (2005) la mise à jeun peut avoir un impact sur les valeurs de digestibilité du fait d'une surcharge d'aliment après une période de jeûne qui entraînerait une sous-estimation de la digestibilité. Une méthode alternative (BiM) consiste à utiliser un marqueur indigestible qui reste inchangé au cours du transit intestinal. Cette méthode ne nécessite pas de jeûne des animaux ni de collecte totale des excréta. Elle permet de s'affranchir d'une mesure précise des quantités ingérées et excrétées. Selon Thompson et Wiseman (1999), l'oxyde de Titane (TiO₂) semble bien adaptée aux mesures de digestibilité et quels que soient le type d'animal ou les caractéristiques des aliments testés. Enfin, Short *et al.* (1996) ont décrit une méthode de dosage simple et performante, de l'oxyde de titane comme marqueur dans les études de digestibilité chez les volailles.

L'objectif de notre étude est de comparer sur une grande variété de régimes, les méthodes de bilan digestif classique (BiC) et avec marqueur (BiM) et d'étudier l'effet du mode de calcul sur la digestibilité fécale des nutriments chez le poulet.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux

L'essai a été réalisé sur des poulets mâles de souche ROSS PM3 (4 répétitions par traitement). Les poussins ont été élevés en cage de J1 à J15 (3 poussins par cage) et ont reçu un aliment démarrage (protéines = 22,0 %, EM = 2850 kcal/kg). A J15, une mise en lots (1 poussin par cage) a été effectuée selon un dispositif en blocs sur le critère du poids vif. Les poulets ont reçu leurs aliments *ad libitum*.

1.2. Aliments expérimentaux

18 aliments (tableaux 1 et 2) représentant une variabilité importante de profils matières premières (blé, maïs, orge, pois, drêches de blé, tourteaux de soja, de colza et de tournesol, huile de soja, huile acide) et formulés selon deux niveaux énergétiques (haut, HE : EM = 3030 kcal/kg et protéines = 19,9 % et bas, BE : EM = 2735 kcal/kg et protéines = 17,9 %) ont été étudiés. Du TiO₂ a été introduit au taux de 0,50 % dans les aliments en tant que marqueur indigestible. Il n'a pas été ajouté d'additif anticoccidien. Les matières premières ont été broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux FAO (3000 tr/min, 64 m.s⁻¹ à la grille de diamètre 4 mm ou 6 mm pour le maïs. Les aliments ont été granulés à l'aide d'une presse La Meccanica, type CLM200, filière de 2,5 x 35 mm.

1.3. Digestibilité fécale des nutriments chez le poulet

La méthode avec marqueur a été effectuée dans les mêmes conditions que la méthode classique c'est à dire avec mise à jeun des poulets et collecte totale des excréta. Les deux méthodes (BiC et BiM) ont été testées simultanément sur les mêmes poulets de J21 à J24. Les animaux ont été mis à jeun en début et fin de bilan (17 heures) et ont reçu leurs aliments expérimentaux pendant 55 heures. Une collecte journalière des excréta a été effectuée lors des 72 dernières heures. Les fientes ont ensuite été lyophilisées, broyées puis analysées par poulet.

La valeur nutritionnelle des aliments a été calculée selon les formules suivantes :

Méthode classique

$$EMAn = \frac{EB \text{ ingérée} - (EB \text{ excrétée} + 8,22 \times BN)}{MS \text{ ingérée}}$$

$$BN = \text{bilan azoté} = N \text{ ingéré} - N \text{ excrété}$$

$$CUD = \frac{X \text{ ingérée} - X \text{ excrétée}}{MS \text{ ingérée}} \times 100$$

CUD X = coefficient d'utilisation digestive de l'élément X : EB ; N ; amidon ; matière grasse

Méthode avec marqueur

$$EMAn = EB \text{ alt} - [(EB \text{ exc} \times Ti \text{ alt} / Ti \text{ exc}) + 8,22 \times BN]$$

Ti alt = concentration du TiO₂ dans l'aliment

Ti exc = concentration du TiO₂ dans les excréta

$$BN = N \text{ alt} - (N \text{ exc} \times Ti \text{ alt} / Ti \text{ exc})$$

$$CUD = 100 - \frac{X \text{ alt}}{X \text{ exc}} \times \frac{Ti \text{ exc}}{Ti \text{ alt}} \times 100$$

X alt = concentration du nutriment dans l'aliment

X exc = concentration du nutriment dans les excréta

1.4. Méthodes d'analyses

Les analyses sur les aliments ont été réalisées en double par des méthodes de référence et en simple sur les excréta en utilisant 1) pour la totalité des échantillons, des équations de prédiction dans le proche infrarouge (SPIR) obtenues dans le cadre du projet DigSPIR avec les méthodes décrites par Bastianelli *et al.* (2010), 2) sur 50 % des échantillons, des méthodes de référence. Les teneurs en TiO_2 utilisées dans les calculs de digestibilité ont été mesurées en double sur la totalité des échantillons d'aliments et d'excréta selon la méthode décrite par Short *et al.* (1996).

Les méthodes d'analyses de référence utilisées sont les suivantes : protéines ($\text{N} \times 6,25$) (méthode Kjeldahl, NF EN ISO 5983-1), matières grasses avec hydrolyse (NF EN ISO 11085), amidon (méthode enzymatique NF V18-121). Les teneurs en énergie brute des aliments et des excréta ont été mesurées à l'aide d'un calorimètre isopéribole C2000 (NF EN ISO 9831). L'azote d'origine protéique des excréta a été déterminé selon la méthode de Terpstra et de Hart (1974) et par différence entre l'azote total et l'azote urique déterminé par la méthode décrite par Marquardt *et al.* (1983).

1.5. Analyses statistiques

Afin de disposer de données de nature homogène, les calculs de digestibilité ont été effectués avec les caractéristiques des excréta prédites par SPIR, après avoir vérifié que les résultats issus d'analyses de référence (50% des échantillons) et des analyses SPIR étaient similaires. Les analyses statistiques des résultats de digestibilité (facteurs étudiés = méthode bilan, aliment et interaction méthode x aliment) ont été réalisées par analyse de variance à l'aide du logiciel Statview Software program, version 5.0.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Caractéristiques des aliments et des excréta

La composition des aliments figure dans les tableaux 2 et 3. Les caractéristiques des aliments et des excréta sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des aliments et des excréta (% MS).

Aliments	HE	BE
Protéines	21,9 à 22,9	19,7 à 20,8
Amidon	34,3 à 44,0	30,6 à 47,0
Matière grasse	6,5 à 11,2	3,5 à 11,2
EB (kcal/kg MS)	4550 à 4849	4397 à 4855
Excréta	HE	BE
N total	3,9 à 6,0	3,2 à 7,2
N tot - N urique	1,7 à 2,4	1,5 à 2,2
N Terpstra	1,1 à 2,4	1,4 à 2,0
Amidon	3,7 à 11,7	1,9 à 9,7
Matière grasse	2,1 à 5,3	2,3 à 6,0
EB (kcal/kg MS)	3786 à 4192	3932 à 4403

Ces résultats confirment la variabilité importante de nos régimes autant pour la composition des aliments que celle des excréta. En moyenne, la teneur en protéines fécales, estimée d'après l'N non urique, est supérieure de 10 % à celle estimée par la méthode de Terpstra (respectivement 2,0 et 1,8 % MS).

Le taux de recouvrement du TiO_2 (g TiO_2 exc/g TiO_2 alt) est en moyenne de 98 %, voisin de celui rapporté par Short *et al.* (1996). Il varie de 96 à 102 %. Cette variabilité est indépendante du profil matières premières des aliments. Ces résultats sont en accord avec ceux de Thompson et Wiseman (1998).

2.2. Effet de la méthode de calcul de la digestibilité sur la valeur nutritionnelle des aliments.

On n'observe aucune interaction entre les digestibilités des nutriments obtenues avec les méthodes BiC et BiM et le type d'aliment HE ou BE. Aucune différence significative n'est observée entre BiC et BiM sur les paramètres mesurés (tableau 4). La valeur énergétique (EMAN) des aliments est en moyenne de 3148 et 3118 kcal/kg MS (NS) respectivement pour BiC et BiM. La digestibilité de l'énergie (ratio EMAN/EB) est en moyenne de 67,6 % et 67,0 % (NS) pour BiC et BiM. Les écarts d'EMAN et du ratio EMAN/EB entre les aliments HE et BE sont similaires entre les méthodes d'estimation de la digestibilité. La digestibilité de l'amidon (CUD amidon) est en moyenne de 95,5 et 95,9 % (NS), pour BiC et BiM. Les écarts de CUD amidon entre les aliments HE et BE sont similaires entre les méthodes de bilan. La digestibilité apparente de l'azote (CUDa N non urique) est en moyenne de 80,5 et 80,0 % (NS) pour BiC et BiM. La digestibilité apparente de l'azote (CUDa N Terpstra) est en moyenne de 82,7 et 82,3 % (NS) pour BiC et BiM. Les plus faibles valeurs du CUDa N non urique s'expliquent par les plus fortes teneurs en protéines fécales obtenues par la méthode de dosage de l'azote urique. Les écarts de CUDa N entre les aliments HE et BE sont similaires entre les méthodes de bilan et quelle que soit la méthode de dosage de l'azote protéique fécal. La digestibilité de la matière grasse (CUD MG) est en moyenne de 85,2 et 84,8 % (NS). Les écarts de CUD MG entre les aliments HE et BE sont similaires entre les méthodes de bilan.

La comparaison entre les résultats de digestibilité obtenus par les deux méthodes de calcul (figure 1), effectuée sur l'ensemble des données individuelles des excréta ($n=70$), montre des corrélations élevées et significatives ($P < 0,001$ quel que soit le critère de digestibilité mesuré) : $R^2 = 0,88, 0,99, 0,92, 0,98$ respectivement pour l'EMAN, le CUD amidon, le CUDa N et le CUD MG. Les meilleurs résultats sont obtenus avec le CUD amidon quels que soient les aliments testés. Ces résultats sont en accord avec ceux de Thompson et Wiseman (1998) qui ont observé chez le porc, des digestibilités comparables entre les

méthodes de collecte totale et avec du TiO₂ comme marqueur. Rodrigues *et al.* (2005) ont obtenu des résultats de digestibilité de l'énergie similaires entre les méthodes avec collecte totale ou partielle chez le coq adulte avec de l'oxyde de chrome comme marqueur.

L'ensemble de ces résultats montrent la cohérence entre les deux méthodes de calcul, classique ou avec marqueur, quels que soient la composition et le niveau énergétique des aliments. De plus, la méthode de bilan avec marqueur et collecte partielle des excréta permet de s'affranchir d'une mise à jeun des poulets et de mesures précises des quantités ingérées et excrétées, ce qui rend possible la mesure conjointe des performances des animaux. De plus, elle permet de réaliser chez les poulets plusieurs bilans digestifs successifs à des âges différents sans perturber leur croissance.

CONCLUSION

Cette étude montre que les deux méthodes de calcul de digestibilité, classique ou avec marqueur, donnent des résultats de digestibilité comparables pour tous les nutriments évalués et ceci quels que soit la composition des aliments et leurs niveaux énergétiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel de l'unité de fabrication d'aliment à Boigneville (91) et de la station expérimentale à Villerable (41) d'ARVALIS pour la réalisation de l'essai, des laboratoires d'ARVALIS, du CIRAD et de l'INRA UR83 pour la réalisation des analyses ainsi que le compte d'affectation spécial « Développement agricole et rural » du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire pour sa participation financière au projet DigSPIR.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bastianelli D., Bonnal L., Juin H., Mignon-Grasteau S., Davrieux F., Carré B., 2010. J. Near Infrared Spectrosc. (18), 69-77.
- Bourdillon A., Carre 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. Poul. Sci., 31: 567-576.
- Coulibaly I., Métayer J.P., Chartrin P., Mahaut B., Bouvarel I., Hogrel P., Bastianelli D. 2013. 10èmes Journ. Rech. Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, 26-28 mars 2013.
- Marquardt R.R., 1983. Poul. Sci. 62 (12) : 2106-2108.
- Péron A., Bastianelli D., Oury F.X., Gomez J., Carré B., 2005. Brit. Poultry Sci. (46), 223-230.
- Rodrigues P.B., De Souza Martinez R., Fonseca de Freitas R.T., Bertechini A.G., Fialho E.T., 2005. R. Bras. Zootec. (34), 882-889.
- Short F.J., Gorton P., Wiseman J., Boorman K.N., 1996. Anim. Feed Sci. Tech., 59, 215-221.
- Terpstra K., De Hart N., 1974. Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermitteikd., (32), 306-320.
- Thompson J.E., Wiseman J., 1998. Proceedings of the British Society of Animal Science. Abst, 157.

Tableau 2. Composition des aliments « Haute Energie » (%)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Blé	59,60	2,00	-	-	17,10	-	5,50	34,73	34,74
Maïs	3,60	59,57	14,60	34,30	34,83	47,63	44,74	15,60	18,30
Orge	-	-	44,73	-	-	-	-	-	-
Son fin	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Drêche de blé	-	-	-	-	-	-	24,90	5,00	5,00
Pois	-	-	-	39,80	-	-	-	-	-
Tourteau colza	2,00	2,00	2,00	2,00	19,9	-	-	5,00	5,00
Tourteau soja	25,70	29,70	27,80	16,80	17,70	23,10	15,30	18,20	21,10
Tourteau tournesol	-	-	-	-	-	17,90	-	9,60	4,00
Huile soja	5,19	2,85	7,05	3,26	6,81	7,47	5,27	7,96	-
Huile acide	-	-	-	-	-	-	-	-	7,96
Phosphate bicalcique	1,54	1,85	1,64	1,79	1,61	1,76	1,55	1,54	1,57
PX 3211	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L-Lysine	0,30	0,21	0,22	0,03	0,30	0,32	0,56	0,41	0,36
DL-Méthionine	0,24	0,23	0,25	0,32	0,17	0,21	0,27	0,21	0,22
L-Thréonine	0,09	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,16	0,10	0,09
Carbonate de calcium	0,20	-	0,10	0,10	-	-	0,25	0,10	0,10
Sel	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05
TiO ₂	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tableau 3. Composition des aliments « Basse Energie » (%)

	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
Blé	59,68	-	10,00	10,00	19,90	11,40	10,00	34,71	34,81
Maïs	9,70	59,67	10,00	24,60	34,76	48,82	44,62	6,10	10,40
Orge	-	-	49,61	-	-	-	-	-	-
Son fin	4,30	11,10	1,00	10,00	8,80	-	7,30	15,40	9,70
Drêche de blé	-	-	-	-	-	-	24,90	5,00	5,00
Pois	-	-	-	39,63	-	-	-	-	-
Tourteau colza	4,00	4,00	3,8	4,00	19,90	-	-	5,00	5,00
Tourteau soja	17,30	20,80	19,20	6,90	9,60	15,90	7,40	6,90	8,20
Tourteau tournesol	-	-	-	-	-	17,90	-	14,90	14,90
Huile soja	0,99	0,50	2,66	0,99	3,45	2,08	1,56	7,96	-
Huile acide	-	-	-	-	-	-	-	-	7,96
Phosphate bicalcique	1,42	1,61	1,50	1,54	1,42	1,67	1,37	1,23	1,32
PX 3211	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L-Lysine	0,34	0,26	0,28	0,10	0,35	0,37	0,62	0,51	0,49
DL-Méthionine	0,18	0,18	0,120	0,27	0,12	0,16	0,22	0,17	0,16
L-Thréonine	0,08	0,04	0,06	0,07	0,05	0,06	0,17	0,12	0,11
Carbonate de calcium	0,45	0,30	0,15	0,35	0,10	0,10	0,35	0,45	0,4
Sel	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05
TiO ₂	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tableau 4. Effet du type d'aliment et de la méthode de calcul de la digestibilité des nutriments

Méthode	BiC		BiM		Effet type aliment	Effet méthode	Type aliment x méthode	ETR
	HE	BE	HE	BE				
EMAn (kcal/kg MS)	3267	3029	3247	2989	<0,001	NS	NS	88
EMAn/EB (%)	69,0	66,2	68,6	65,4	<0,001	NS	NS	2,7
CUDa N ¹ (%)	81,3	79,7	81,0	79,1	<0,001	NS	NS	3,0
CUDa N ² (%)	83,7	81,7	83,4	81,1	<0,001	NS	NS	3,0
CUD amidon (%)	94,6	96,4	94,5	96,3	<0,001	NS	NS	2,4
CUD MG (%)	88,3	82,1	88,1	81,6	<0,001	NS	NS	2,7

¹ : N = N total – N urique ; ² : N = N Terprstra

BiC = bilan classique ; BiM = bilan avec marqueur

HE = aliments Haute Energie ; BE = aliments Basse Energie

NS : P>0,05

Figure 1. Comparaison entre les méthodes de calcul, classique et avec marqueur, et effet sur les valeurs de digestibilité des nutriments chez le poulet de chair.