

EVALUATION PAR META-ANALYSE DE L'EFFET DE LA TENEUR EN PROTEINES BRUTES DE L'ALIMENT SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET LE DEPOT LIPIDIQUE CHEZ LE POULET DE CHAIR

de Rauglaudre Théophane^{1,2}, Sicot Liza¹, Aude Simongiovanni³, Méda Bertrand²,
Lambert William³, Marie-Pierre Létourneau-Montminy¹

¹ Département des Sciences animales, Université Laval, G1V0A6, Québec, QC, Canada,

² INRAE, Université de Tours, BOA, 37380, Nouzilly, France

³ METEX Animal Nutrition, 75017, Paris, France

marie-pierre.letourneau-montminy.1@ulaval.ca

RÉSUMÉ

Il a été montré dans la littérature qu'en réponse à la réduction de la teneur en protéines brutes (PB) de l'aliment, le dépôt de gras abdominal augmentait chez le poulet, signe d'une inefficience de l'utilisation de l'énergie alimentaire. Une base de données de 11 articles et 29 essais a été construite pour étudier, par méta-analyse, l'effet de la baisse de la teneur en PB sur la rétention énergétique, en testant différentes unités énergétiques alimentaires. Pour être inclus, les essais devaient comparer des régimes iso-énergie et iso-lysine, durer 20±1 jours, étudier des souches à croissance rapide, et ne pas avoir dégradé les performances de croissance. Neuf unités énergétiques différentes ont été étudiées : l'Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul (EMAn) renseignée dans les publications, l'EMAn recalculée avec les tables INRA-AFZ (2018), et enfin l'EMA, l'EMAn, et l'énergie nette (EN) prédites selon Carré *et al.* (2013 et 2014) et Wu *et al.* (2019). Enfin une unité d'EMAn (EMAn-corrigée) a été calculée pour tenir compte de l'augmentation de l'EMAn observée en réponse à la baisse de la teneur en PB. La baisse de la teneur en PB de 10 g/kg a augmenté la quantité de gras corporel de 8,5 g (+3,5 %) et la rétention énergétique de 85 kcal d'EMA (+1,4 %). Seule la quantité d'EMAn-corrigée ingérée a augmenté (+126 kcal ; +1,3 %). Les quantités ingérées des autres unités énergétiques ont soit diminué soit n'ont pas été affectées. Ces résultats montrent que l'augmentation de digestibilité de l'énergie est l'une des causes possibles de l'augmentation de l'engraissement lors d'une baisse de PB, et que les unités énergétiques actuellement utilisées ne permettent pas de prédire cette hausse.

ABSTRACT

Evaluating by meta-analysis the effect of lowering dietary crude protein content on energy intake and lipide deposition in broilers

It has been shown in the literature that, in response to a reduction in dietary crude protein (CP) content, abdominal fat deposition increased in broilers, indicating an inefficient use of dietary energy. A database of 11 articles and 29 trials was constructed to study, by meta-analysis, the effect of lowering CP content on energy retention, testing different dietary energy units. To be included, trials had to be iso-energy, iso-lysine, last 20±1 days, study fast-growing strains, and not have reduced growth performance. Nine different energy units were studied: the Apparent Metabolizable Energy corrected for zero-nitrogen retention (AMEn) given in the publications (AMEn publi), the AMEn recalculated with INRA-AFZ tables (2018), the AME, AMEn, and net energy (EN) predicted according to Carré *et al.* (2013) and Wu *et al.* (2019). Finally, the corrected AMEn (AMEn-corrected) was calculated to account for the increase in AMEn observed in response to the decrease in CP content. Lowering CP content by 10 g/kg increased body fat by 8.5g (+ 3,5%) and energy retention by 85 kcal of AME (+ 1,4%). Only the amount of AMEn-corrected intake increased (+ 126 kcal ; + 1,3%). The intake of other energy units either decreased or remained unaffected. These results show that the increase in energy digestibility is one of the possible causes for the increase in fattening, and that the energy units currently used do not allow the prediction of this increase.

INTRODUCTION

De nombreuses stratégies sont proposées dans la littérature pour aider les filières avicoles à répondre à la demande croissante de viande de volaille tout en réduisant leurs impacts environnementaux. Parmi celles-ci, la réduction de la teneur en protéines brutes (PB) de l'aliment permet de réduire l'excrétion et la volatilisation de l'azote ainsi que d'augmenter l'autonomie protéique des territoires qui importent leurs matières premières protéiques (e.g. Europe, Chine ; de Rauglaudre *et al.*, 2023a). Il est possible de diminuer la teneur en PB des aliments, sans dégrader les performances de croissance, lorsque les apports en acides aminés (AA) indispensables couvrent le besoin de l'animal (de Rauglaudre *et al.*, 2023a).

La diminution de la teneur en PB, de 10 g/kg, s'accompagne cependant d'une augmentation du dépôt de gras abdominal, en moyenne 8,8%, même lorsque les aliments ont été formulés pour être iso-énergie (de Rauglaudre *et al.*, 2023b). La teneur en gras abdominal est généralement utilisée dans les essais zootechniques comme indicateur de l'engraissement total de l'animal, car ils sont fortement corrélés (Hood, 1982). L'augmentation de la proportion de gras de la carcasse en réponse à la baisse de la teneur en PB, est le signe d'une inefficience de l'utilisation de l'énergie alimentaire qui pourrait être préjudiciable économiquement pour la filière. Cette augmentation de l'engraissement pourrait s'expliquer par une réallocation vers les tissus adipeux d'une partie de l'énergie initialement allouée au métabolisme des AA apportés en excès. La PB ayant été identifiée comme un facteur anabolique (Tesseraud *et al.*, 2014), la diminution de sa teneur pourrait diminuer la quantité d'énergie initialement utilisée pour le la synthèse des protéines corporelles, créant ainsi un surplus d'énergie disponible pour le dépôt lipidique. Il a également été montré que malgré une formulation iso-énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul (EMAn), celle-ci augmentait d'environ 34 kcal/kg dans l'aliment, en réponse à une baisse de la PB de 10 g/kg (de Rauglaudre *et al.*, 2023b ; Chrystal *et al.*, 2020a, Hofmann *et al.*, 2019). Cette augmentation qui pourrait participer à expliquer l'engraissement, questionne également la pertinence de l'utilisation de l'EMAn pour mettre en place la réduction de la teneur en PB. De plus, il existe de nombreuses unités énergétiques et méthodes d'estimation qui coexistent dans la littérature sans qu'il n'y ait de consensus sur l'utilisation de l'une ou l'autre (Wu *et al.*, 2019 ; Noblet *et al.*, 2022).

L'objectif de cette étude était donc d'étudier l'effet de la baisse de PB sur l'engraissement du poulet de chair, le dépôt lipidique et la rétention d'énergie, en testant différentes unités énergétiques alimentaires par une approche de méta-analyse.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Construction de la base de données

Une recherche bibliographique a été réalisée pour compléter la base de données utilisée par Cappelaere *et al.* (2022) via *CAB abstract* et *PubMed*. Pour être inclus dans la base de données, les articles devaient avoir étudié l'effet de la baisse de la teneur en PB sur les performances de croissance de poulet de chair, avoir mesuré l'engraissement et avoir présenté l'ensemble de la composition nutritionnelle des aliments. La baisse de la teneur en PB devait être réalisée en maintenant les teneurs en énergie métabolisable et en lysine digestible fixes et étudier des souches à croissance rapide (pour limiter la variabilité génétique). A cette étape, 33 articles et 94 essais ont été sélectionnés. Une première sélection a été réalisée pour harmoniser les durées des essais, en ne gardant que ceux qui ont duré 20±1 jours. Cette durée a été choisie, car c'était la durée avec le plus grand effectif. Enfin, seuls les traitements où la consommation moyenne journalière (CMJ) et le gain moyen quotidien (GMQ) n'ont pas été dégradés de plus de 5%, par rapport au traitement témoin de chaque essai ont été conservés dans la base finale qui contenait 11 articles, 29 essais, 67 traitements.

1.2. Recalcul de la composition corporelle et de l'énergie retenue

Le pourcentage de gras abdominal a été converti en gras total à l'aide d'une base de données comportant 16 essais incluant des données de gras total et de gras abdominal selon l'équation suivante ($P < 0,001$) :

$$\text{gras total (\%)} = 4,64 + 3,23 \times \text{gras abdominal (\%)}$$

La teneur en azote du gain de poids ne variant pas avec la réduction de la teneur en PB (de Rauglaudre *et al.*, 2023a), la quantité de protéines retenues a été recalculée en utilisant une teneur fixe d'azote de 17% (Caldas *et al.*, 2019). L'énergie retenue a été calculée en considérant une teneur en énergie des lipides et des protéines respectivement de 9,37 et 5,66 kcal par g déposé (Znaniacka *et al.*, 1967). L'énergie nécessaire à ce dépôt a été calculée en considérant que les efficacités de dépôt de lipides et de protéines sont de 88 % et 67 % (Carré *et al.*, 2014, Carré *et al.*, 2015, Cérrate *et al.*, 2019).

1.3. Recalcul de la teneur en nutriments et en énergie des aliments

La teneur en énergie des aliments a été recalculée dans neuf unités énergétiques différentes, pour déterminer si l'une de ces unités permettait d'expliquer l'augmentation de l'engraissement. Les tables INRA (INRA-AFZ, 2018) ont été utilisées pour recalculer les teneurs en nutriments des aliments ainsi que leurs teneurs en EMAn (EMAn-Inra). À partir de ces teneurs en nutriments, les équations de prédiction de Carré *et al.*, (2013), Carré *et al.*, (2014) et Wu *et al.*, (2019) ont été utilisées pour recalculer des teneurs

en énergie métabolisable apparente (EMA), EMAN et énergie nette (EN). Enfin, la valeur d'EMAN donnée dans les publications (EMAN-publi) a été corrigée (EMAN-corrigée) pour tenir compte de l'augmentation de la teneur en EMAN d'environ 34 kcal/kg pour 10 g de PB, en réponse à la baisse de la teneur en PB montré dans certaines études (de Rauglaudre *et al.*, 2023b ; Chrystal *et al.*, 2020a ; Hofmann *et al.*, 2019).

1.3. Analyse statistique

L'effet de la teneur en PB a été analysé par régression linéaire multiple ($Y_{ij} = \mu + a_i + b_{ij}PB + E_{ji}$) avec l'essai en variable aléatoire à l'aide du logiciel Minitab (2021). La normalité des résidus et l'homogénéité de la variance ont été testées. Les corrélations linéaires entre les différents teneurs en énergie ont été évaluées avec le test de corrélation de Pearson. Une différence a été considérée significative pour $P < 0,05$.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Description du méta-dispositif

Les onze articles sélectionnés provenaient d'Europe (3), d'Amérique du Sud (3), d'Asie (2), d'Océanie (2) et d'Amérique du Nord (1). Les âges médians en début et en fin d'essais étaient de respectivement 21 et 42 jours (Tableau 1). Les aliments témoins contenaient en moyenne 205 ± 11 g/kg de PB, et en moyenne les teneurs en PB ont été diminuées de 24 ± 13 g/kg. Les aliments contenaient en moyenne $10,4 \pm 0,92$ g/kg de lysine digestible. Le GMQ, la CMJ et l'indice de consommation (IC) étaient en moyenne de 80 ± 14 g/j, 147 ± 25 g/j et $1,85 \pm 0,19$ g/g.

2.2. Augmentation de la rétention énergétique

La réduction de la teneur en PB a conduit à une augmentation de la teneur en gras abdominal de 0,11 point de % (+7 %), pour une baisse de 10 g/kg, de PB en accord avec la littérature (Tableau 2 ; Cappeleare *et al.*, 2022 ; de Rauglaudre *et al.*, 2023a). La quantité de gras total retenu a elle augmenté de 8,5 g (par poulet), soit une augmentation de la teneur en gras total d'environ 3,7 % pour une réduction de la PB de 10 g/kg (Tableau 2). Ainsi, pour une même réduction de la teneur en PB (-10 g/kg), la teneur en gras abdominal a augmenté environ deux fois plus que la teneur en gras total. Le poids vif n'ayant pas été affecté par la teneur en PB, l'énergie retenue sous forme de protéines n'a donc pas été affectée. Cependant comme la quantité de lipides déposés a augmenté, l'énergie totale retenue (protéines et lipides), et l'énergie digestible nécessaire à ce dépôt, ont augmenté respectivement de 76 kcal (+ 1,6 %) et de 85 kcal (+ 1,4 %) pour une réduction de la teneur en PB de 10 g/kg.

2.3. Comparaison des unités énergétiques

La teneur en EMAN-publi n'était pas corrélée avec la majorité des unités énergétiques, hormis une faible

corrélation avec l'EMAN-Inra (0,26 ; $P < 0,05$) et l'EN-Carré (0,33 ; $P < 0,01$; Tableau 3). En revanche, elle était mieux corrélée (0,63 ; $P < 0,001$) avec l'EMAN-corrigée, ce qui s'explique par le fait que cette dernière a été calculée à partir de la valeur en EMAN-publi. L'EMAN-Inra, et toutes les unités énergétiques recalculées avec des équations de prédictions étaient très bien corrélées entre elles. Ainsi, bien que les teneurs en énergie estimées par les équations de Carré *et al.* (2013) ; Carré *et al.* (2014) et Wu *et al.* (2019) n'utilisent pas les mêmes coefficients et exactement les mêmes prédictors, elles évoluent dans le même sens. Ces multiples corrélations peuvent être expliquées par le fait que les teneurs en nutriments ont été recalculées avec la même matrice (INRA-AFZ, 2018). Ces résultats soulignent donc l'importance de la bonne connaissance de la composition de l'aliment (amidon, matière grasse, fibres, ...) qui semble être plus importante que le choix de l'équation de prédiction.

2.4. Effet de la teneur en protéines sur la teneur en énergie des aliments

Les différentes équations de prédictions, sont basées sur la composition de l'aliment qui varie avec la teneur en PB. La réduction de la teneur en PB, s'effectue généralement en réduisant le niveau de tourteau de soja au profit d'une augmentation de l'inclusion de céréales dans l'aliment (de Rauglaudre *et al.*, 2023a) ce qui conduit à une augmentation de l'amidon. La teneur en fibres insolubles dans les détergents neutres (NDF) n'a pas été affectée par la teneur en PB, alors que la teneur en fibres insolubles dans les détergents acides (ADF), et la teneur en matières grasses ont diminué ($P < 0,001$). La réduction de la teneur en PB a diminué les teneurs des aliments en EMA-Carré de 16 kcal/kg (-0,5 % ; $P < 0,01$), et en EMA-Wu de 10 kcal/kg (-0,3 % ; $P < 0,05$), pour une baisse de la teneur en PB de 10 g/kg. Les teneurs en EMAN-publi et en EMAN-Inra n'ont pas été affectées par la teneur en PB alors qu'une baisse de la teneur en PB de 10 g/kg a réduit les teneurs en EMAN-Carré et EMAN-Wu de respectivement 9,9 kcal/kg (-0,4% ; $P < 0,05$) et 13 kcal/kg (-0,5% ; $P < 0,01$). L'amidon est la seule variable des équations de prédictions qui augmente avec la réduction de la teneur en PB. Comme les équations prédisent ici une diminution de l'énergie, cela montre que pour ces équations, cette augmentation de l'amidon ne suffit pas pour rester iso-énergie. La baisse des teneurs en EN des aliments (EN-Carré et EN-Wu) est liée à leurs recalculs à partir de leurs teneurs en EMAN, qui ont diminué en réponse à la réduction de la teneur en PB.

Hormis pour l'EMAN-corrigée, la réduction ou le maintien des unités énergétiques testées, en réponse à la PB, est en contradiction avec les résultats des essais ayant mesurées l'EMA et l'EMAN par collecte totale des fientes (de Rauglaudre *et al.*, 2023b ; Chrystal *et al.*, 2020a ; Hofmann *et al.*, 2019). Cette augmentation de l'énergie métabolisable apparente

pourrait être expliquée par une diminution des pertes endogènes azotées (Ravindran *et al.*, 2009), et par l'augmentation de la digestibilité iléale apparente de la protéine (Chrystal *et al.*, 2020b). Les différentes unités énergétiques qui ont été testées, hormis l'EMAn-corrigée, ne permettent donc pas de traduire ces possibles modifications de la digestion des AA et de l'énergie en une augmentation de l'énergie métabolisable.

2.5. Evolution de la quantité d'énergie ingérée

Comme les essais ont été sélectionnés sur des critères de performances, la CMJ n'a pas été significativement affectée par la teneur en PB. Ceci est conforme aux résultats de Rauglaudre *et al.* (2023a) qui avaient montré, avec une méta-analyse étudiant l'effet de la PB sur les performances de croissance, que la réduction de la teneur en PB ne dégradait pas la CMJ et le GMQ lorsque l'apport en AA essentiels couvrait les besoins des animaux. Les quantités ingérées d'EMAn-publi, d'EMAn-Inra, d'EMA-Carré, d'EMAn-Carré, d'EMA-Wu, d'EMAn-Wu et d'EN-Wu n'ont pas été affectées par la teneur en PB. Sur toute la durée des essais, la quantité de kcal d'EN-Carré ingérée a diminué de 1 % (-86 kcal). A l'inverse, la quantité de kcal d'EMAn-corrigée ingérée a augmenté de 126 kcal (+1,3 %). L'augmentation de la quantité d'énergie nécessaire à la rétention énergétique est du même ordre de grandeur que l'augmentation de la quantité d'énergie d'EMAn-corrigée ingérée (85 vs. 126 kcal). Ceci suggère donc que l'augmentation de l'engraissement pourrait être expliquée par l'augmentation de la quantité d'énergie métabolisable ingérée. Quelques essais ont testé la réduction de l'apport en énergie métabolisable en même temps que la teneur en PB,

pour limiter l'engraissement. Les premiers résultats montrent que la baisse de la teneur en énergie métabolisable ne doit pas être trop importante pour ne pas pénaliser les performances de croissance (Chrystal *et al.*, 2020b ; Strifler *et al.*, 2023). Strifler *et al.* (2023) ont par exemple montré que la réduction simultanée de la PB (-15 g/kg) et de la teneur en EMAn (-47 kcal/kg), entre 0 et 41 jours, n'augmentait pas la teneur en gras abdominal et ne dégradait ni la CMJ, ni l'IC mais dégradait le gain de poids d'environ 6 %. D'autres études sont nécessaires pour préciser la diminution de l'énergie, qui limiterait l'engraissement sans dégrader la croissance.

CONCLUSION

De toutes les unités énergétiques testées dans cette étude, seule l'augmentation de la quantité d'EMAn-corrigé ingérée est du même ordre de grandeur que l'augmentation de la rétention énergétique. Comme la consommation ne fluctuait pas significativement dans cette étude, cela suggère donc que l'augmentation de la rétention lipidique est principalement dû à une augmentation de la teneur en énergie de l'aliment en réponse à la baisse de la teneur en protéine. Peu de données sont disponibles pour expliquer l'augmentation de la teneur en énergie de l'aliment, il est néanmoins possible qu'elle soit causée en partie par une diminution des pertes endogènes.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier d'Agriscience (Canada, bourse ASP-136) et de Metex animal nutrition (France).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Caldas J. V., Boonsinchai N., Wang J., England, J. A., Coon C. N., 2019. Poultry sci, (98), 866-877.
- Cappelaere L., de Rauglaudre T., Gonzalo E., Lambert W., Simongiovanni A., Noblet J., Letourneau-Montminy M. P., 2022. Animal-Science Proceedings, (13), 241-510.
- Carré B., Lessire M., Juin H., 2013. Animal, (7), 1246-1258.
- Carré B., Lessire M., Juin H., 2014. Animal, (8), 1395-1401.
- Carré B., Juin H., 2015. Poultry Sci, (94), 1287-1297.
- Cerrate S., Ekmar R., England J. A., Coon C., 2019. Poultry sci, (98), 3994-4007.
- Chrystal P. V., Moss A. F., Yin D., Khoddami A., Naranjo V. D., Selle P. H., Liu S. Y., 2020a. Anim Feed Sci Tech, (261), 114387.
- Chrystal P. V., Moss A. F., Khoddami A., Naranjo V. D., Selle P. H., Liu S. Y., 2020b. Poultry Sci, (99), 1421-1431.
- INRAE-CIRAD-AFZ tables, 2018. en ligne. <https://feedtables.com>
- Rauglaudre T., Méda B., Fontaine S., Lambert W., Fournel S., Letourneau-Montminy M. P., 2023. Front. Anim. Sci., (4), 1214076.
- Rauglaudre T., Méda B., Fontaine S., Lambert W., Letourneau-Montminy M. P., 2023b. In ESPN Proceedings p206
- Hofmann P., Siegert W., Kenéz Á., Naranjo V. D., Rodehutsord M., 2019. J Nutr, (149), 1122-1132.
- Noblet J., Wu S. B., Choct M., 2022. Animal Nutrition, (8), 185-203.
- Ravindran V., Morel P. C., Rutherford S. M., Thomas D. V., 2008. Brit J Nutr, (101), 822-828.
- Strifler P., Horváth B., Such N., Farkas V., Wágner L., Dublec K., Pál, L., 2023. Animals, (13), 1476.
- Tesseraud S., Bouvarel I., Frayssé P., Coustard S. M., Collin A., Lessire M., Berri C., 2014. INRA Prod Anim, (27), 337-346.
- Wu S. B., Swick R. A., Noblet J., Rodgers N., Cadogan D., Choct M., 2019. Poultry Sci, (98), 1222-1234.
- Znaniacka G., 1967. In EAAP Proceedings, pp. 407-408

Tableau 1. Description du méta-dispositif.

	Moyenne	Ecart-type	Minimum-Maximum	Médiane
Age début (j)	19,9	3,2	14 - 23	21,00
Age fin (j)	40,5	3,0	35 - 43	42,00
Age moyen (j)	30,2	3,1	24 - 33	31,50
Protéines brutes dans le témoin (g/kg)	205,0	11,1	169 - 224	200,8
Réduction de la teneur en protéines (g/kg)	24,3	13,4	5,31 – 51,7	21,8
Lysine digestible (g/kg)	10,41	0,92	7,4 - 11,4	10,77
Gain moyen quotidien (g/j)	80,1	14,0	58,4 - 102,4	79,6
Consommation moyenne journalière (g/j)	146,7	24,6	108,4 - 201,7	147,5
Indice de consommation (g/g)	1,846	0,194	1,505 - 2,129	1,842

Tableau 2. Effet de la teneur en protéines brutes (PB) de l'aliment sur les performances de croissance, la composition corporelle, et la quantité d'énergie ingérée chez le poulet de chair.

		P-value		ETM	-10 g de PB/kg
Équation		Constante	PB		
Croissance et composition corporelle					
Poids vif (g)		P<0,001	NS		
Consommation moyenne journalière (g/j)		P<0,001	NS		
Gain moyen quotidien (g/j)		P<0,001	NS		
Indice de consommation (g/g)	= 1,99 - 0,01 × PB	P<0,001	P<0,05	0,04	0,37%
Gras abdominal (%)	= 3,84 - 0,11 × PB	P<0,001	P<0,001	0,15	6,9%
Gras total (%)	= 17,03 - 0,37 × PB	P<0,001	P<0,001	0,48	3,7%
Gras total (g)	= 406,3 - 8,53 × PB	P<0,001	P<0,001	13,66	3,5%
EN retenu (kcal)	= 6082,9 - 76,21 × PB	P<0,001	P<0,001	140,52	1,6%
EMA retenu (kcal)	= 7699,55 - 85,13 × PB	P<0,001	P<0,001	165,42	1,4%
Quantité d'énergie ingérée (kca/ 20±1 jours)					
EMAn-publi		P<0,001	NS		
EMAn-Inra		P<0,001	NS		
EMA-Carré		P<0,001	NS		
EMAn-Carré		P<0,001	NS		
EN-Carré	= 6670,42 + 85,98 × PB	P<0,001	P<0,001	187,9	-1,0%
EMA-Wu		P<0,001	NS		
EMAn-Wu		P<0,001	NS		
EN-Wu		P<0,001	NS		
EMAn-corrigée	= 12111,4 -126 × PB	P<0,001	P<0,001	198,6	1,3%

ETM : erreur type de la moyenne ; EMA : énergie métabolisable apparente ; EMAn : énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul ; EN : énergie nette ; NS : non significatif.

Tableau 3. Corrélation entre les neuf unités énergétique évaluées.

	EMAn publi	EMAn Inra	EMA Carré	EMAn Carré	EN Carré	EMA Wu	EMAn Wu	EN Wu
EMAn-Inra	0.259*							
EMA-Carré	0.210	0.944***						
EMAn-Carré	0.202	0.947***	0.998***					
EN-Carré	0.333**	0.586***	0.767***	0.738***				
EMA-Wu	0.065	0.944***	0.948***	0.943***	0.593***			
EMAn-Wu	0.079	0.939***	0.945***	0.936***	0.613***	0.998***		
EN-Wu	0.090	0.938***	0.933***	0.923***	0.588***	0.993***	0.997***	
EMAn-corrigée	0.633***	0.263*	0.127	0.158	-0.156	0.098	0.080	0.105

EMA : énergie métabolisable apparente ; EMAn : énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul ; EN : énergie nette ; *** : P <0,001; ** : P <0,01 ; * : P <0,05 ; NS : non significatif.