

EFFET DE LA SOURCE PROTEIQUE DE L'ALIMENT SUR LA DIGESTIBILITE DU BLE, DU TRITICALE ET DU MAÏS CHEZ LE POULET DE CHAIR A TROIS ÂGES ET CHEZ LE COQ ADULTE

Métayer Jean Paul¹, Danel Justine², Vilariño Maria²

¹ARVALIS – Institut du végétal, 91720 Boigneville, France

²ARVALIS – Institut du végétal, Pouline, 41100 Villerable, France

m.vilarino@arvalisinstitutduvegetal.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de notre étude était d'évaluer l'effet de la source protéique de l'aliment (tourteau de soja vs. tourteau de colza) sur la digestibilité de l'énergie (CUD E) de trois céréales (blé, triticales, maïs) chez le poulet de chair âgé de 17, 24 ou 31 jours et chez le coq adulte. Chez le poulet, la digestibilité apparente de l'azote (CUDa N) et celle de l'amidon (CUD amidon) ont été évaluées (bilans digestifs sans mise à jeun) et les indices de consommation (IC) calculés de 10 à 31 jours. La céréale à étudier, était mélangée dans un aliment dont la source protéique majoritaire était du tourteau de soja ou du tourteau de colza. La digestibilité des nutriments des céréales a été calculée par différence. Chez le coq, la valeur énergétique des céréales est indépendante de la source protéique de l'aliment. Chez le poulet à J17, seul le CUD amidon du régime à base de triticales est dégradé de 2,8 % ($P < 0,05$) en présence de tourteau de colza. A J24, le CUD E, le CUD amidon et le CUDa N du blé, du triticales et du maïs sont significativement plus faibles ($P < 0,001$) lorsque ces céréales sont incorporées dans des aliments à base de tourteau de colza (respectivement -9,4, -7,3 et -3,8 % pour le CUD E, -6,4, -4,6, -2,1 % pour le CUD amidon et -8,6, -7,7, -14,7 % pour le CUDa N). A J31, le CUD E et le CUD amidon du blé, du triticales et du maïs sont significativement dégradés ($P < 0,001$) en présence de tourteau de colza (respectivement -10,9, -3,3 et -2,8 % pour le CUD E et -10,0, -2,9 et -2,1 % pour le CUD amidon). Chez le poulet, les IC de 10 à 31 jours sont significativement dégradés ($P < 0,001$) avec les aliments à base de tourteau de colza, indépendamment de la céréale incorporée.

En conclusion, chez le poulet en croissance, les nutriments des céréales sont digérés différemment selon la source protéique de l'aliment et de manière plus ou moins importante selon l'âge des poulets et la céréale concernée. Chez le coq, aucun effet de la source protéique sur la valeur énergétique des céréales n'est observé, ce qui interroge sur le choix de ce modèle.

ABSTRACT

Effect of protein source in diet on nutrient digestibility of wheat, triticales and corn in broilers at 3 different stages and roosters

The aim of our study was to evaluate the effect of protein source in the diet (soybean meal (SBM) vs. rapeseed meal (RSM)) on the digestibility of energy (AMEn/GE) of wheat, triticales and corn in broilers of 17, 24 and 31 days of age and in adult cockerel. In broilers, the apparent total tract digestibility of nitrogen (ATTD N) and starch (ATTD starch) were evaluated and feed conversion ratios (FCR) were calculated from 10 to 31 days of age. Each cereal was introduced in a diet whose principal protein source was SBM or RSM. The nutrient ATTD of cereal was calculated by difference with control diet. In adult cockerels, the energy value of cereals is independent of the protein source included in the diet. In broilers, at d17, AMEn/GE, ATTD N and ATTD starch of wheat and corn were not affected by protein source of diet. However, ATTD starch of triticales was 2.8% lower ($P < 0.05$) with RSM. At d24, AMEn/GE, ATTD N and ATTD starch of wheat, triticales and corn were significantly lower ($P < 0.001$) when these cereals were included in RSM based diets (respectively - 9.4, -7.3, and -3.8% for AMEn/GE, -6.4, -4.6, -2.1% for ATTD starch and -8.6, -7.7, -14.7% for ATTD N). At d31, AMEn/GE and ATTD starch of wheat, triticales and corn decreased significantly ($P < 0.001$) in the presence of RSM (-10.9, -3.3 and -2.8 % respectively for AMEn/GE and -10.0, -2.9 and -2.1% for ATTD starch). In broilers, FCR from 10 to 31 days of age decreased ($P < 0.001$) with RSM based diets, regardless of the cereal type.

In conclusion, in broilers, nutrient digestibility of wheat, triticales and corn depend on the protein source of diet and the effect is more or less important according to the age of the broilers and the cereal. In roosters, no effect of protein source on the energy value of cereals was observed, which wonder if the choice of this model is valid.

INTRODUCTION

En France, environ 40 % des protéines végétales consommées par l'élevage sont importées, sous forme de tourteau de soja (TS) principalement. Aujourd'hui, l'utilisation de sources de protéines métropolitaines reste limitée, malgré des demandes environnementales et sociétales en défaveur du TS importé (Bouvarel *et al.*, 2014). L'utilisation du tourteau de colza (TC) métropolitain dans l'alimentation des volailles est encore faible mais pourrait augmenter dans les années à venir. Or, la plupart des références nutritionnelles des céréales chez les volailles ont été obtenues à partir d'aliments à base de TS. Ces références sont par ailleurs obtenues, soit sur des coqs adultes, soit sur des poulets à un âge précis (21- 23 jours), alors que des travaux récents montrent des différences sur la digestibilité de certains nutriments avec l'âge (Métayer *et al.* 2015 ; Danel *et al.*, 2015).

C'est pourquoi, l'objectif de cette étude était d'évaluer, chez le poulet de chair, l'effet de la source protéique (TS vs. TC) incorporée dans les aliments expérimentaux utilisés pour mesurer la valeur nutritionnelle de trois céréales, blé (B), triticales (T) et maïs (M). L'effet de l'âge des poulets et le modèle coq adulte ont aussi été étudiés.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux et aliments

Les protocoles utilisés pour les essais poulets et coqs ont été évalués favorablement par le Comité d'Ethique n°19 et autorisés par le MESR conformément à la Directive 2010/63/UE relative à l'utilisation d'animaux à des fins scientifiques. Les mêmes aliments ont été testés sur coqs adultes entiers de souche ISABROWN et sur poulets mâles de souche ROSS PM3. Les poulets, élevés en cage individuelle, ont reçu jusqu'à J10 un aliment démarrage (protéines = 22,0 %, EMA = 2850 kcal/kg) avant qu'une mise en lots en fonction du poids corporel ait été effectuée.

Deux aliments dits complémentaires (C/TS et C/TC) ont été fabriqués pour être ensuite mélangés aux céréales à tester et permettre le calcul par différence de leur valeur nutritionnelle (Tableau 1). Ils étaient composés d'un mélange des 3 céréales (15 % de chaque céréale dans C/TS et 13 % dans C/TC), de gluten 60, d'huile de soja, de TS ou de TS+TC et d'un complément minéral vitaminé (AMV).

Les aliments expérimentaux étaient constitués du complémentaire (C/TS ou C/TC), de la céréale à tester et de l'AMV. Chaque couple d'aliment (B/TS et B/TC - T/TS et T/TC - M/TS et M/TC) a été formulé iso-énergie et iso-protéines (tableau 1). Dans les aliments TC, 55 % du TS étaient substitués par du TC.

Du dioxyde de titane (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 et d'enzymes. Les aliments étaient présentés en granulés Ø 2,5 x 35 mm.

1.2. Mesures

Les bilans digestifs chez le poulet ont été effectués à trois âges : J17, J24 et J31. La méthode de bilan digestif avec marqueur (9 répétitions d'un animal par traitement), sans mise à jeun et avec collecte partielle des excréta (Métayer *et al.*, 2013), a été utilisée.

Chez le coq (8 répétitions par traitement), les bilans digestifs ont été effectués selon la méthode de référence décrite par Bourdillon *et al.* (1990). Les excréta des deux essais ont été lyophilisés. Ils ont ensuite été broyés (grille Ø 0,5 mm) puis analysés.

La valeur nutritionnelle du blé, du triticales et du maïs a été calculée par différence avec celle du complémentaire (base TS ou base TC).

Les performances de croissance des poulets (consommation, gain de poids (GMQ) et indice de consommation (IC)) ont été mesurées de J10 à J31.

1.3. Méthodes d'analyses

Les analyses sur les aliments ont été réalisées selon les méthodes suivantes : protéines (N*6,25 - méthode Dumas, NF EN ISO 16634-1), amidon (méthode enzymatique NF V18-121), énergie brute (à l'aide d'un calorimètre isopéribole C2000, NF EN ISO 9831). La composition des excréta (protéines, amidon et EB) a été obtenue à l'aide d'équations de prédiction dans le proche infrarouge (SPIR) développées dans le cadre du projet CASDAR DigSPIR et après validation par les méthodes de références ci-dessus. La méthode de Terpstra et Hart (1974) a été utilisée pour mesurer l'azote protéique des excréta. Les teneurs en TiO₂ ont été mesurées sur les aliments et les excréta selon la méthode décrite par Short *et al.* (1996).

1.4. Analyses statistiques

Les effets et les interactions entre les facteurs étudiés (source de protéines, céréale) ont été analysés par ANOVA séparément à chacun des trois âges. Les comparaisons de moyennes par âge ont été effectuées à l'aide du test de Tukey. Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel Statview Software program, version 5.0 et du logiciel Expé-R v1.2.0.

2. RESULTATS

La teneur en protéines mesurée dans les aliments confirme l'objectif de formulation iso-protéine de chaque couple d'aliments (tableau 1). L'incorporation du TC à des niveaux élevés pour les besoins expérimentaux (23 % dans le C et 12,5 - 13,5 % dans les aliments blé, triticales et maïs) n'a pas généré de problèmes particulier de consommation ou de croissance. Les effets de la source de protéines (TS ou TC) sur la digestibilité des trois céréales à chaque âge sont présentés (tableau 2) par critère : CUD amidon, CUDa N et CUD E.

Tableau 1 : Composition, caractéristiques prévisionnelles et composition chimique mesurée des aliments expérimentaux (%)

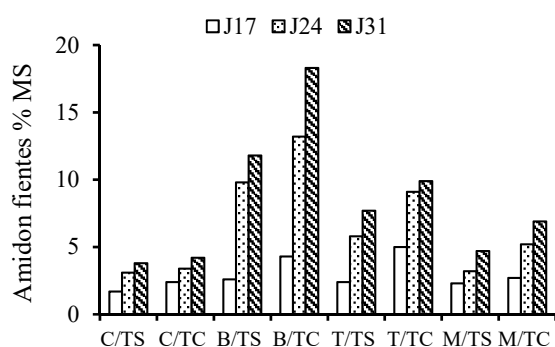
Composition (en %)	C/TS	C/TC	B/TS	B/TC	T/TS	T/TC	M/TS	M/TC
Blé	15,0	13,0	51,3	51,0	8,3	7,0	8,7	7,6
Triticale	15,0	13,0	8,3	7,0	51,3	51,0	8,7	7,6
Maïs	15,0	13,0	8,3	7,0	8,3	7,0	48,7	47,6
T. soja 48	41,5	17,4	22,9	9,4	22,9	9,4	24,2	10,2
T. colza	-	23,0	-	12,5	-	12,5	-	13,4
Gluten 60	3,4	9,5	1,9	5,1	1,9	5,1	1,9	5,5
Huile soja	5,8	7,2	3,2	3,9	3,2	3,9	3,2	4,2
AMV.	3,8	3,5	3,8	3,5	3,8	3,5	3,8	3,5
TiO ₂	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valeurs de formulation (en %)								
Matière sèche	88,6	89,2	88,8	89,3	88,4	88,7	88	88,3
EMAn poulet	2900	2900	2868	2878	2823	2826	2984	2989
Matière Azotée	26,0	26,0	18,7	18,6	18,0	17,9	17,8	17,9
Lysine D	1,4	1,3	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9
Composition chimique (en %MS ou kcal/kg MS)								
Matière Azotée	29,0	28,9	21,1	20,9	20,5	20,4	20,5	20,4
Energie brute	4771	4908	4537	4618	4524	4611	4582	4681
Amidon	30,7	27,5	45,2	44,2	44,8	43,2	46,1	44,2
Matière minérale	7,2	6,7	6,2	5,8	6,4	6,0	6,2	5,9
Matière grasse	6,7	11,0	4,8	5,9	6,5	6,0	7,6	8,7

C : Complémentaire ; B : Blé ; T : Triticale ; M : Maïs ; TS : tourteau soja ; TC : tourteau colza ; AMV : minéraux + prémix + acides aminés ; EMAn : Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul prévisionnelle (kcal/kg)

2.1. CUD amidon chez le poulet

La teneur en amidon des fientes est un bon prédicteur de la digestibilité de l'amidon (Métayer *et al.*, 2015). Cet essai (figure 1) confirme que la proportion d'amidon retrouvé dans les fientes augmente avec l'âge des poulets quel que soit l'aliment.

Figure 1 : Teneur en amidon (% MS) des fientes selon l'âge des poulets et la source protéique



Les plus fortes teneurs en amidon des fientes sont obtenues avec les aliments à base de blé, puis triticale et principalement à J24 et J31 ($P < 0,001$). Les aliments à base de TC augmentent cet effet de manière significative ($P < 0,01$, $< 0,05$ et $< 0,02$ respectivement à J17, J24 et J31) par rapport aux aliments à base de TS.

Le CUD amidon des céréales est affecté de manière significative par la source protéique, quel que soit

l'âge et sans interaction significative avec le type de céréale.

Le CUD amidon des céréales est plus faible en présence de TC qu'en présence de TS. A J17, cet effet est faible (-1.2 points) mais il s'accroît à J17 et J24 (-4.2 et -4.7 points respectivement).

Les CUD amidon des céréales varient selon l'âge. A J17, $M > T$ de seulement 1.9 points, mais à J24 l'écart augmente et $M > T$ et B de plus de 4,7 points.

A J31 les différences entre M et T sont stables mais la valeur de B continue à se dégrader jusqu'à atteindre un écart de -8.8 points par rapport à M .

2.2. CUD apparent de l'azote chez le poulet

Les résultats sur ce critère semblent plus variables d'un âge à l'autre que ceux de l'amidon. A J17, aucun effet significatif de la source protéique n'est mis en évidence, quelle que soit la céréale, le CUDa N du T étant significativement plus faible (-6.6 points en moyenne) que celui du B ou du M .

A J24, le CUDa N est dégradé (-9.1 points) en présence de TC quelle que soit la céréale. A cet âge, comme à J17, le T a le CUDa N le plus faible parmi les trois céréales. A J31, on observe une interaction $CER \times SP$ ($P < 0,05$), qui s'explique par un CUDa N du B et du M dégradé de 3,3 points en présence de TC (NS) alors que pour le T , c'est en présence de TS que le CUDa N est le plus affecté (-6,8 points).

2.3. CUD énergie et EMAn chez le poulet

A J17, le CUD E montre une interaction entre la céréale et la source de protéines qui s'explique par des valeurs plus faibles pour B et T en présence de TC alors qu'elle est plus élevée pour M.

A J24, cette interaction disparaît et les deux facteurs ont des effets significatifs ($P < 0,001$) sur le CUD E, qui est, toutes céréales confondues, 5,2 points plus faible en présence de TC par rapport au TS. La hiérarchie des CUD E des céréales ($M > B > T$) est semblable à celle de J17 mais les différences deviennent significatives.

Ces effets sont similaires à J31 mais la différence entre blé et triticale disparaît.

Ainsi, les valeurs EMAn des céréales sont significativement ($P < 0,001$) plus faibles lorsque celles-ci sont incorporées dans des aliments à base de TC (-230 et -193 kcal/kg MS à J24 et J31 respectivement) par rapport au TS, sauf à J17.

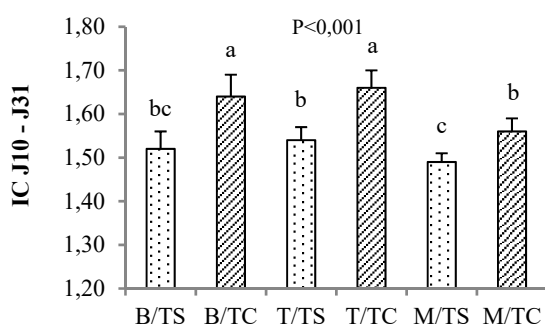
Cet effet diffère selon la céréale. A J24, la diminution de la valeur d'EMAn mesurée lorsqu'elle est incorporée dans un aliment avec TC, est de -149 pour B, -224 pour T et -320 kcal/kg MS pour M.

2.5. Performances de croissance des poulets

La consommation et le GMQ les plus élevés sont obtenus avec l'aliment M/TS et les plus faibles avec l'aliment M/TC ($P < 0,01$) (données non présentées). L'IC est dégradé avec les aliments TC (figure 2), quelle que soit la céréale ($P < 0,001$). Or, chaque couple d'aliments (blé, triticale, maïs), avec TS ou TC, a été formulé iso-énergie, iso-protéines et iso-Lys digestible. Seule la teneur en Arg digestible était plus faible dans les aliments TC (0,9 vs 1,1 % pour les aliments TC et TS).

De J10 à J31, l'IC est corrélé négativement avec le CUDa N ($R = -0,64$; $P < 0,001$) et le CUD E ($R = -0,61$; $P < 0,001$) des aliments contenant le TC.

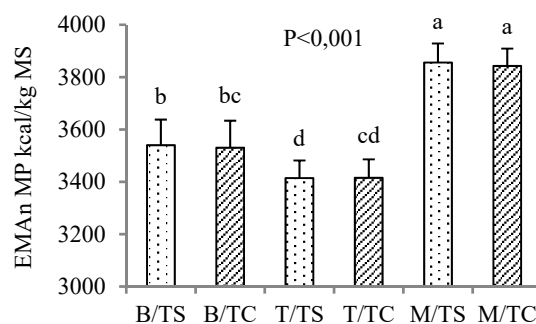
Figure 2 – Effet de la source protéique sur l'IC des poulets de J10 à J31.



2.6. Effet de la source de protéines sur la valeur énergétique des céréales chez le coq adulte

Chez le coq, contrairement au poulet, l'EMAn des céréales n'est pas dégradée lorsqu'elles sont incorporées dans un aliment à base de TC (figure 3).

Figure 3 – Effet de la source protéique sur la valeur énergétique des céréales chez le coq adulte



3. DISCUSSION

Ces résultats montrent un effet de la source de protéines sur la valeur nutritionnelle des céréales chez le poulet, effet non observé chez le coq adulte. Globalement, la digestibilité des nutriments, en particulier des céréales à paille B et T, diminue en présence de TC, et ces effets s'intensifient avec l'âge. Ces résultats sont en accord avec ceux de Gopinger *et al.* (2014) qui ont observé chez le poulet, une dégradation linéaire de la digestibilité de la matière sèche, des protéines et de l'extractif non azoté avec l'augmentation de l'incorporation de tourteau de canola au-delà de 16 % dans les aliments.

Les résultats sur le CUD amidon confirment l'hypothèse de la dégradation, plus ou moins importante selon la céréale, de la digestibilité de l'amidon avec l'âge (Métayer *et al.*, 2015).

Chez le poulet, la dégradation de la digestibilité des nutriments en présence de TC pourrait s'expliquer par le niveau plus important de fibres insolubles en comparaison à un aliment/TS, ces fibres pouvant favoriser une accélération du transit intestinal et entraîner ainsi une moins bonne digestibilité. La présence de ces fibres peut également avoir un impact sur la paroi intestinale et réduire l'absorption des nutriments (Qaisrani *et al.*, 2014).

Cet effet est plus marqué pour les céréales à paille, dont la matrice protéine/amidon serait moins accessible aux enzymes digestives que celle du maïs. Avec l'âge, les poulets consomment davantage d'aliment, ce qui peut diminuer encore la capacité des enzymes digestives à « couper » la matrice amidon/protéines, augmentant ainsi l'excrétion de ces nutriments.

Une autre hypothèse envisageable est l'augmentation de l'excrétion endogène (tissus, microorganismes,...) qui diminuerait les CUD apparents de la protéine et de l'énergie en présence de fibres, comme c'est le cas chez le porc. Par contre, cette hypothèse ne s'applique pas au CUD de l'amidon, dont l'unique source est l'aliment.

Le coq étant un animal adulte, avec des capacités digestives plus développées et qui consomme une moindre quantité d'aliment, proportionnellement à

son poids, ne serait pas affecté de la même manière. Il est néanmoins possible qu'une partie des nutriments non digérés au niveau intestinal, soit utilisée par les microorganismes contenus dans les caeca, beaucoup plus développés que chez le poulet, lissant ainsi des éventuelles différences.

La digestibilité de l'azote des céréales est plus difficile à analyser que celle de l'amidon car plus variable et ne semble pas avoir un comportement linéaire avec l'âge. Dans la littérature, les résultats sont parfois aussi contradictoires. D'une part, Perić *et al.* (2015) n'ont pas observé de dégradation de la digestibilité des protéines d'un aliment contenant jusqu'à 15 % de TC, en comparaison à un aliment base maïs/TS. Cependant Saki *et al.* (2008) ont observé une baisse de la digestibilité des protéines des aliments contenant 30 % de TC. Par ailleurs, Métayer *et al.* (2015) ont observé chez des poulets en croissance une amélioration du CUDa N des céréales lorsque la part de TS dans l'aliment augmente en proportion des autres sources de protéines.

Dans cet essai, la valeur énergétique, qui synthétise finalement la valeur nutritionnelle de chaque nutriment, est cohérente avec les résultats de digestibilité de l'azote et de l'amidon ainsi qu'avec les performances des animaux, qui confortent l'ensemble des résultats.

Néanmoins, il ne faut pas oublier que la variabilité individuelle est importante, ce qui renforce les hypothèses reliant les caractéristiques spécifiques aux matières premières et celles physiologiques intrinsèques à l'animal.

Enfin, l'idée souvent acceptée, en partie par un manque de données, d'une faible digestibilité des nutriments chez le tout jeune poulet (moins de 20 jours), est remise en cause dans ces résultats et d'autres récemment publiés (Métayer *et al.*, 2015,

Danel *et al.*, 2015), à l'exception de la digestibilité des matières grasses.

Les résultats sur l'effet négatif de l'incorporation de TC sont en accord avec ceux rapportés par Stanačev *et al.* (2013) et Qaisrani *et al.* (2014), qui ont observé une baisse du GMQ significative et une dégradation de l'IC avec l'introduction de TC en substitution au TS dans l'aliment.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que la mesure de la valeur nutritionnelle du blé, du triticale et du maïs peut donner des résultats différents en fonction de la source protéique incorporée dans l'aliment, mais aussi de l'âge des poulets.

Bien que la méthode de calcul par différence reste valable lorsque les céréales à évaluer sont complémentées avec une même source protéique, il serait important d'approfondir sur les effets synergiques ou antagonistes entre matières premières, d'autant plus que d'autres sources protéiques que le tourteau de soja sont amenées à rentrer de plus en plus dans les formules.

Le coq reste un modèle intéressant dans certaines conditions d'essai, maîtrisées, mais ne permet pas la transposition simple vers des valeurs poulet, encore moins à différents âges.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Patricia Thiercelin de la station expérimentale d'ARVALIS – Institut du végétal à Villerable (41) pour la réalisation des essais sur animaux, Jean-Yves Moreau pour la fabrication des aliments expérimentaux et le personnel du pôle analytique d'ARVALIS pour la réalisation des analyses.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bourdillon A., Carre B., Conan L., Duperray J., Huyghebaert G., Leclercq L., Lessire M., McNab J., Wiseman J., 1990. *Brit. Poult. Sci.*, 31:557-565.
- Bouvarel I., Lessire M., Narcy A., Duval E., Grasteau S., Quinsac A., Peyronnet C., Tran G., Heuze V., 2014. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*. 21 (4), D405.
- Danel J., Métayer J.P., Vilariño M., 2015. 11^{èmes} Journ. Rech. Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 25 et 26 mars 2015.
- Gopinger E., Xavier E.G., Elias M.C., Catalan A.A., Castro M.L., 2014. *Poult. Sci.*, 93(5), 1130-1136.
- Métayer J.P., Lescoat P., Bastianelli D., Bouvarel I., Fournis Y., Vilariño M., 2015. 11^{èmes} Journ. Rech. Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 25-26 mars, 504-508.
- Perić L., Ivković M., Žikić D., Jajić I. 2015. *Scientific paper : Animal Science and Biotechnologies*, 48 (1).
- Qaisrani S.N., Moquet P.C.A., Krimpen M.M. van, Kwakkel R.P., Verstegen M.W.A., Hendriks W.H. 2014., *Poult. Sci.*, 93(12), 3053-3064.
- Saki A.A., Mahmoudi H., Tabatabaci M.M., Ahmadi A., 2008. *Asian-Aust. Journ. Anim. Sci.*, 21, 11, 1624-1628.
- Short F.J., Gorton P., Wiseman J., Boorman K.N., 1996. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 59, 215-221.
- Stanačev V., Milić D., Marjanović Jeromela A., Stanačev V., Milosevic N., Puvaca N. 2013. *Maced. Journ. Anim. Sci.*, 3(1) 69–73.
- Terpstra K., De Hart N., 1974. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermitteikd.*, 32, 306-320.

Tableau 2 : Coefficients d'utilisation digestive et valeur énergétique des céréales chez le poulet (% ou kcal/kg MS)

	Moyennes par céréale et source protéique ⁽²⁾						Analyse factorielle ⁽¹⁾			Moyennes par céréale ⁽²⁾			Moyennes par source protéique ⁽²⁾	
	B/TS	B/TC	T/TS	T/TC	M/TS	M/TC	CER x SP	CER	SP	B	T	M	TS	TC
J17														
CUD amidon (%)	98,4	97,6	98,6	95,8	99,0	99,2	NS	*	*	98,0 xy	97,2 y	99,1 x	98,7 x	97,5 y
CUDa N (%)	80,6	81,9	76,4	73,2	80,1	82,9	NS	**	NS	81,2 x	74,8 y	81,5 x	79,0	79,3
CUD E (%)	75,1 b	73,5 bc	72,4 bc	68,9 c	81,0 a	83,1 a	*	***	NS	74,3	70,6	82,1	76,2	75,2
EMAn (kcal/kgMS)	3331 b	3261 bc	3203 bc	3049 c	3685 a	3779 a	*	***	NS	3296	3126	3732	3406	3363
J24														
CUD amidon (%)	95,8	89,7	95,7	91,3	99,3	97,2	NS	***	***	92,8 y	93,5 y	98,2 x	96,9 x	92,7 y
CUDa N (%)	88,2	80,6	78,4	72,4	91,3	77,9	NS	***	***	84,4 x	75,3 y	84,6 x	86,0 x	76,9 y
CUD E (%)	76,3	69,1	70,3	65,2	84,3	81,1	NS	***	***	72,7 y	67,8 z	82,7 x	77,0 x	71,8 y
EMAn (kcal/kgMS)	3386	3066	3112	2888	3835	3686	NS	***	***	3226 y	3000 z	3761 x	3444 x	3213 y
J31														
CUD amidon (%)	93,1	83,8	94,0	91,3	98,4	96,3	NS	***	***	88,5 z	92,6 y	97,3 x	95,2 x	90,5 y
CUDa N (%)	81,4 ab	78,1 ab	73,2 b	80,0 ab	86,3 a	83,0 a	*	***	NS	79,8	76,6	84,7	80,3	80,4
CUD E (%)	75,1	66,9	72,0	69,6	85,8	83,4	NS	***	***	71,0 y	70,8 y	84,6 x	77,6 x	73,3 y
EMAn (kcal/kgMS)	3333	2966	3185	3079	3902	3795	NS	***	***	3149 y	3132 y	3849 x	3473 x	3280 y

⁽¹⁾ NS : $P > 0,05$; * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$; CER : effet de la céréale ; SP : effet de la source de protéines ; CER * SP : effet de l'interaction Céréales * Source de protéines

⁽²⁾ Groupes homogènes selon le test de Tukey (seuil de 5 %) lorsqu'une interaction entre les facteurs est significative, par traitement (a, b, c) ou par céréale ou source de protéines (x, y, z)