

**BAISSE DE LA TENEUR EN PROTEINES ET DE LA BALANCE
ELECTROLYTIQUE DE L'ALIMENT POUR REDUIRE LES PERTES D'AZOTE
CHEZ LE POULET DE CHAIR**

**Théophane de Rauglaudre^{1,2,3}, Bertrand Méda², Simon Fontaine⁴, William Lambert⁴,
Aude Simongiovanni⁴, Dalila Larios⁵, Stéphane Godbout⁵, Sébastien Fournel³, 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 *Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, G1V0A6, Québec, QC,
Canada,*

⁴ *METEX Animal Nutrition, 75017 Paris, France*

⁵ *Institut de recherche et développement en agroenvironnement, Québec, G1P 3W8, Canada*

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

RÉSUMÉ

La réduction de la teneur en protéines brutes (PB) des aliments des poulets de chair est utilisée pour réduire les rejets d'azote (N) et la dépendance au tourteau de soja. Comme ce dernier est riche en potassium (K), la réduction de la PB induit une baisse de la balance électrolytique (BE). Or la teneur en PB et la BE affectent toutes deux l'humidité de la litière, et par ce biais la volatilisation de l'azote excrété. L'objectif de cette étude était d'étudier l'effet propre de la PB et de la BE sur les quantités et les formes d'azote volatilisées. Douze chambres indépendantes conçues pour mesurer en continu les émissions d'ammoniac (NH₃) et de protoxyde d'azote (N₂O) ont été utilisées. Chaque chambre a hébergé simultanément 37 poulets Ross 308 mâles en deux répétitions de 37 et 35 jours. Quatre régimes expérimentaux ont été distribués aux poulets pendant les périodes de croissance (J11-21) et de finition (J22-abattage). Les régimes consistaient en un régime témoin (T), un régime réduit en PB (BasPB ; -16 gPB/kg en croissance et -30 gPB/kg en finition) et deux régimes BasPB supplémentés en K (BasPB +K) ou en Na (BasPB+Na) pour ramener la BE au niveau du régime T. La réduction de la teneur en PB a diminué l'excrétion d'azote de 30 % (P<0,001) ainsi que la proportion d'azote excrétée émise sous forme de NH₃ d'environ 35 % lorsque la BE était ajustée au niveau de T et de 65 % quand la BE diminuait de 75 mEq/kg. Les régimes expérimentaux n'ont pas affecté la quantité de N₂O émis par poulet. La réduction de la teneur en PB et de la BE permet de réduire les pertes d'azote sous forme de NH₃, tout en augmentant l'efficacité de l'utilisation d'azote à l'échelle de l'animal et du bâtiment d'élevage.

ABSTRACT

Reduction of dietary protein content and electrolyte balance to reduce nitrogen losses in broiler chickens

The reduction of crude protein (CP) content in broiler chicken feed is used to reduce nitrogen (N) emissions and dependence on soybean meal. As the latter is rich in potassium (K), the reduction of CP induces a decrease in the electrolyte balance (EB). However, both CP content and EB affect litter moisture, and thus the volatilisation of excreted N. The aim of this study was to investigate the separate effects of CP and EB on the amounts and forms of volatilised N. Twelve independent chambers, designed to continuously measure ammonia (NH₃) and nitrous oxide (N₂O) emissions, were used. Each chamber simultaneously housed 37 male Ross 308 chickens in two repetitions of 37 and 35 days. Four experimental diets were distributed to the chickens during the growth (11-21 d) and finishing (22 d-slaughter) periods. The diets consisted of a control diet (T), a diet reduced in CP (BasPB; -16 g/kg in grower and -30 g/kg in finisher), and two BasPB diets supplemented with K (BasPB+K) or Na (BasPB +Na) to bring the EB back to the level of the T diet. The reduction in CP content decreased N excretion by 30% (P<0.001), as well as the proportion of excreted N emitted as NH₃ by about 35% when the EB is set at the level of T and by 65% when the EB decreases by 75 mEq/kg. The experimental diets did not affect the amount of N₂O emitted per chicken. The reduction in dietary CP content and EB allows a reduction in N losses under the form of NH₃, while increasing the efficiency of N utilisation at the animal and farm building scale.

INTRODUCTION

L'amélioration de l'utilisation de l'azote (N) est un enjeu majeur, car l'azote est à la fois indispensable à la production de la majorité des matières premières agricoles et responsable de nombreux impacts environnementaux comme l'eutrophisation et l'acidification, lorsqu'il est émis dans l'environnement (Galloway *et al.*, 2003). Les poulets de chair excrètent environ 45 % de l'azote qu'ils ingèrent et jusqu'à 50 % de l'azote excrété est perdu par volatilisation (Belloir *et al.*, 2017). La réduction de la teneur en protéines brutes (PB) des aliments peut permettre d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'azote à l'échelle de l'animal, en réduisant l'excrétion, et à l'échelle de la ferme, en réduisant les pertes d'azote par volatilisation. Il a, en effet, été montré que diminuer la teneur en PB de 10 g/kg augmente l'efficacité de la rétention azotée de 4 % (de Rauglaudre *et al.*, 2023) et réduit les pertes d'azote par volatilisation d'environ 20 % (Wiedeman *et al.*, 2016 ; Elwinger *et al.*, 1996). Cette réduction de la volatilisation est due à la diminution de l'excrétion d'azote (14,5 % pour 10 g/kg de PB ; Alfonso-Avila *et al.*, 2022) et à la diminution de la volatilité de l'azote excrété (5,8 points de % pour 10 g/kg de PB ; Fontaine *et al.*, 2022). La réduction de la PB s'effectue généralement en réduisant la teneur en tourteau de soja riche en potassium (K) en faveur d'une augmentation des céréales, généralement le maïs, plus pauvre en K. Ainsi, la réduction de la PB diminue généralement la teneur en K de l'aliment, ce qui provoque une baisse de la balance électrolytique (BE ; $= Na + K - Cl$) d'en moyenne 20 mEq/kg pour une baisse de la PB de 10 g/kg (de Rauglaudre *et al.*, 2023). La BE et la PB sont donc corrélées lors de la baisse de la teneur en PB. Or, ces deux variables ont été identifiées comme pouvant moduler la volatilité de l'azote excrété, notamment par leur effet sur la consommation d'eau et donc sur la matière sèche (MS) de la litière. L'objectif de ce projet était de quantifier l'effet de la teneur en PB et de la BE sur la volatilisation de l'azote, en mettant l'accent sur les formes d'azote volatilisé (NH_3 et N_2O), et de déterminer comment les teneurs en PB et en K pourraient être utilisées pour moduler la composition de la litière dans le but de réduire les pertes d'azote par volatilisation.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

Douze chambres indépendantes (2,93 m²), conçues pour mesurer en continu les émissions de gaz (NH_3 et N_2O) des animaux et du fumier ont été utilisées. Deux lots successifs de 432 et 456 poulets Ross 308 mâles ont été élevés sur copeaux de bois jusqu'à 37 ou 35 jours d'âge (répétitions A et B, respectivement). A J0, les poussins ont été répartis aléatoirement à raison de 36 et 38 oiseaux par chambre, respectivement pour les répétitions A et B.

1.2. Aliments

Après un aliment de démarrage commun distribué jusqu'à J10, quatre régimes expérimentaux ont été testés sur les périodes de croissance (J11-J21) et de finition (J22-abattage) : un régime témoin (T), un régime réduit en PB (BasPB) avec une BE diminuée et deux régimes avec le même niveau de PB que BasPB, mais avec la BE ajustée au niveau du régime T, avec un ajout dans l'aliment de carbonate de potassium (BasPB+K) ou de bicarbonate de sodium (BasPB+Na ; Tableau 1). Les aliments et l'eau ont été distribués à volonté pendant tout l'essai.

Les aliments du régime témoin (T) contenaient respectivement 200 g/kg et 195 g/kg de PB en croissance et en finition. Les aliments des autres régimes ont été formulés avec des teneurs en PB réduites de -16 g/kg en croissance et de -30 g/kg en finition (Tableau 1). Les aliments des régimes T, BasPB+Na et BasPB+K avaient une BE de 232 et 224 mEq/kg en période de croissance et de finition, respectivement. En comparaison avec les autres régimes, la BE des aliments BasPB était réduite respectivement à 157 et 145 mEq/kg en croissance et en finition.

1.3. Performances zootechniques et composition corporelle à l'abattage

La consommation totale d'aliment et d'eau ainsi que la mortalité ont été mesurées par chambre alors que le poids vif l'a été individuellement pour chacune des périodes expérimentales. Pour déterminer la composition corporelle, 3 poulets par chambre (24 poulets/régime) ont été euthanasiés à la fin de chacune des deux répétitions, puis congelés et enfin broyés pour déterminer les teneurs corporelles en N, P, K, Na, cendres, eau et lipides.

1.4. Bilan de masse

La quantité totale d'azote volatilisée a été calculée, pour chacune des chambres, comme la différence entre les flux entrants (poussins + copeaux + aliments) et sortants (fumier + poulets morts et abattus). Pour cela, les litières ont été pesées et analysées au début et à la fin de l'essai. La teneur en azote des poussins est issue de la littérature (Caldas *et al.*, 2019 ; Noy *et al.*, 1999). La quantité d'azote contenue dans les poulets vivants et morts a été recalculée avec les données de composition corporelle (cf. 1.3.).

1.5. Mesure des émissions gazeuses

Chaque chambre était équipée pour mesurer en continu les concentrations en NH_3 et N_2O , ainsi que la température de l'air et l'humidité relative. Pour cela, toutes les 15 minutes, un échantillon d'air a été envoyé, en alternant entre les chambres, à des analyseurs de gaz infrarouges (GFC-7002T Teledyne et Ultramat 6 Siemens) par des tubes en TeflonTM. Les limites de détections étaient de 0-100 ppm pour NH_3 et de 0-5 ppm pour N_2O . La température et l'humidité

relative ont été mesurées par des sondes (CS500 Campbell Scientific) installées dans chaque chambre. Le débit journalier a été recalculé à partir de la méthode du bilan CO₂, pour cela les émissions journalières de CO₂ ont été calculé en fonction du poids vifs des poulets selon la méthodologie du CIGR (2002) et en considérant que les émissions de la litière représentent 20 % des émissions totales (Calvet *et al.*, 2011). L'air entrant dans chaque chambre était conditionné par chauffage électrique pour atteindre la température de consigne. Les concentrations de gaz et le débit d'air ont été utilisés pour calculer les émissions de gaz (E_{gaz} ; mg/min) de J0 à l'abattage, en utilisant l'équation proposée par Fournel *et al.* (2011) :

$$E_{gaz} = Q \times (C_{intérieur} - C_{extérieur}) \times (P_{atm} - P_v) / (T \times R_{spécifique}) \times M_{gaz}/M_{air}$$

où Q , est le débit d'air (m³/min), $C_{intérieur}$ et $C_{extérieur}$ sont les concentrations de gaz (ppm_v) à l'entrée des chambres et au niveau du ventilateur d'extraction. P_{atm} et P_v (Pa) sont la pression atmosphérique (101325 Pa) et la pression de vapeur (*cf.* Fournel *et al.*, 2011 pour le calcul détaillé), T est la température (K), $R_{spécifique}$ est la constante spécifique des gaz pour l'air sec (287 J kg⁻¹ K⁻¹), M_{gaz} est la masse molaire des gaz étudiés (17 g mol⁻¹ pour NH₃ et 44 g mol⁻¹ pour N₂O), et M_{air} est la masse molaire de l'air (29 g mol⁻¹). Les valeurs médianes quotidiennes des concentrations de gaz ont été utilisées plutôt que les valeurs moyennes pour limiter l'influence de valeurs potentiellement aberrantes.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Sur la période expérimentale, la consommation moyenne journalière n'a pas été affectée par les régimes expérimentaux, alors que le gain moyen quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC) des régimes bas en PB ont été dégradés par rapport au régime T (GMQ : -5,7 %, $P < 0,001$; IC +4,7 %, $P < 0,01$; Tableau 2). Malgré une dégradation des performances de croissance, le poids à l'abattage était en moyenne supérieur de 18 % comparativement aux valeurs du guide sélectionneur de la souche Ross 308. Les analyses de la teneur en AA des aliments finition bas en PB ont montré que la teneur en arginine était plus faible qu'attendue ce qui pourrait expliquer la baisse de la croissance.

Comparativement au témoin, le régime BasPB a réduit la consommation d'eau de 19 % et le ratio eau:aliment de 17 % ($P < 0,01$; Tableau 2). L'apport de K a augmenté la consommation d'eau et le ratio eau:aliment à un niveau intermédiaire entre T et BasPB, alors que l'apport de Na n'a pas eu d'effet. Le K a donc davantage affecté la consommation d'eau comparativement au Na, ce qui n'est pas en accord avec les observations de Smith *et al.* (2010) qui avaient observé un effet similaire du K et du Na, en poules pondeuses.

2.2. Composition finale du fumier et flux d'azote

La teneur en MS de la litière, à la fin des deux répétitions, n'a été que numériquement affectée par les régimes alimentaires. En revanche, le pH de la litière a été diminué par la réduction de la BE ($P < 0,05$; Tableau 2). La diminution de la PB a réduit l'ingéré et l'excrétion d'azote par chambre d'en moyenne 16 et 30 % ($P < 0,001$), ce qui correspond à une réduction de l'excrétion d'azote d'environ 11 % pour une réduction de la PB de 10 g/kg, en accord avec les données de la littérature (de Rauglaudre *et al.*, 2023). En réduisant l'excrétion d'azote, la baisse de la teneur en PB a mené, en moyenne pour les répétitions, à une réduction de la teneur en N total ($P < 0,001$) et en N ammoniacal (TAN ; $P < 0,01$) de la litière. Ainsi, à la fin des deux répétitions, dans les litières, l'azote sous forme de TAN représentait en moyenne 8 % de l'azote total dans la litière. En accord avec Brink *et al.* (2022), qui ont montré que l'azote sous forme de TAN et d'acide urique représentaient respectivement 7 % et 25 % de l'azote total dans la litière après 37 jours d'essai. Or, selon les hypothèses couramment admises dans la littérature, 70% de l'azote excrété, l'est sous forme d'acide urique, qui est rapidement dégradé en TAN dans la litière, puis environ 21 % de ce TAN excrété est volatilisé sous forme de NH₃ (EEA, 2019). Selon ces hypothèses, qui négligent les autres formes d'azote volatilisées le TAN devrait donc théoriquement représenter environ 65 % de l'azote dans les fumiers à la sortie du bâtiment, largement supérieur aux 9 % observés (Tableau 2). Les hypothèses actuelles de vitesse de dégradation de l'acide urique en TAN, de proportion de l'azote sous forme d'acide urique dans les fientes, et l'absence des autres formes d'azote volatilisées, mènent donc à surestimer très largement la teneur en TAN du fumier. La diminution de la teneur en PB a réduit la quantité d'azote perdu par volatilisation de 46 % lorsque la BE était contrôlée (BasPB+K et BasPB+Na) et de 62 % lorsque la BE diminuait de 75 mEq/kg (BasPB). Alors que 16 % de l'azote entrant (poussins + copeaux + aliments) dans les chambres a été perdu par volatilisation pour le régime T, cette proportion était de 10 % pour les régimes BasPB+K et BasPB+Na et de 7 % pour le régime BasPB (Tableau 2). Malgré la réduction de la croissance, la baisse de la teneur en PB permet donc d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote à l'échelle du bâtiment d'élevage. La réduction de la quantité de N volatilisé est expliquée statistiquement, pour environ 50 %, par la réduction de la quantité d'azote excrété et pour environ 50 %, par la diminution de la volatilité de l'azote excrété. En moyenne pour le régime T, 35 % de l'azote excrété a été volatilisé, ce qui est en ligne avec la valeur mentionnée dans le CORPEN (32 % ; ITAVI, 2013). La volatilité de l'azote excrété était corrélée au pH (0,44 ; $P < 0,01$) et à l'humidité de la litière (-0,47 ; $P < 0,01$). En effet, le pH, la disponibilité de l'oxygène, la température et la teneur en MS de la litière sont les principaux facteurs faisant varier la volatilité de

l'azote excrété (Méda *et al.*, 2011). Ainsi en modifiant la composition de la litière, les régimes BasPB, BasPB+K et BasPB+Na ont diminué la volatilité de l'azote excrété de respectivement 44, 25 et 24 %, comparativement au régime T.

2.3. Emissions de NH₃ et de N₂O

Pour le régime T, 28 % de l'azote volatilisé a été émis sous forme de NH₃, en accord avec les valeurs observées dans la littérature : entre 29 et 38 % (Méda *et al.*, 2015 ; Wiedeman *et al.*, 2016). Comme les émissions de N₂O et NO_x sont généralement faibles, le reste de l'azote a sans doute été émis sous forme de N₂, un gaz inerte pour l'environnement (Neysari *et al.*, 2023). Les émissions de NH₃ ont été diminuées de 72 % par la diminution simultanée de la PB et de la BE (T vs. BasPB ; P<0,001; Tableau 2), où 75 % de cette baisse est imputable à la PB et 25 % à la BE. Lorsque la BE est contrôlée (*i.e.*, apport de K ou de Na), les émissions de NH₃ sont diminuées de 48 % pour BasPB+K et de 58 % pour BasPB+Na (P<0,001 ; Tableau 2). En moyenne pour le régime T, 10 % de l'azote excrété a été volatilisé sous forme de NH₃, ce qui est cohérent avec le facteur d'émission de l'European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), qui est de 15 % de l'azote excrété (EEA, 2019). La diminution de la PB a diminué le facteur d'émission du NH₃ de 65 %, lorsque la BE diminuait simultanément de 75 mEq/kg, et de 28 et 41 % lorsque la BE était ajustée avec du K ou du Na. Comme dans l'essai de Wiedeman *et al.* (2016), les émissions de N₂O par poulet n'ont pas été affectées par la réduction de la teneur en PB, et ont été en

moyenne de 4,56 g par chambre, ce qui est dans l'ordre de grandeur des valeurs de la littérature (Méda *et al.*, 2011 ; Pereira *et al.*, 2018). Malgré une augmentation de la proportion de l'azote volatilisé sous forme de N₂O, lorsque les émissions totales d'azote ont diminué, cette proportion est restée faible (entre 0,4 et 2,7 % de l'azote volatilisé).

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que la diminution de la teneur en PB et de la BE, réduisent la quantité d'eau ingérée et le pH de la litière, et donc la volatilité de l'azote excrété. La synergie entre réduction de l'excrétion et réduction de la volatilité a permis de réduire les pertes par volatilisation d'en moyenne 62 % pour l'azote et d'en moyenne 72 % pour le NH₃. L'apport de K et de Na pour contrôler la BE ont limité la baisse de la volatilité de l'azote. Cela montre l'effet bénéfique d'un point de vue environnemental de réduire également la BE. Comme la PB a réduit à la fois la quantité d'azote volatilisable et la volatilité de l'azote excrété sous forme de NH₃, environ 75 % de la baisse des émissions de NH₃ est directement imputable à la réduction de PB.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier d'Agriscience (Canada, bourse ASP-136) et de Metex Animal Nutrition (France). Les auteurs remercient également les personnels de l'Université Laval (QC, Canada) et de l'IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alfonso-Avila A. R., Cirot O., Lambert W., Létourneau-Montminy M. P., 2022. *Animal*, (16), 100458.
- Belloir P., Méda B., Lambert W., Corrent E., Juin H., Lessire M., Tesseraud S., 2017. *Animal*, (11), 1881- 1889
- Brink M., Janssens G. P., Delezie E. 2022. *Livest Sci*, 265, 105-109.
- Caldas J. V., Boonsinchai N., Wang J., England J. A., Coon C. N., 2019. *Poultry Sci.*, (98), 866-877.
- Calvet, S., Estellés, F., Cambra-López, M., Torres, A. G., Weghe, H. F. A. 2011. *Poultry Sci*, (90), 2449-2458.
- Itavi, 2013. In : Éditions ITAVI, 63.
- de Rauglaudre T., Méda B., Fontaine S., Lambert W., Fournel S., Létourneau-Montminy M. P., 2023. *Front. Anim. Sci.*, (4):1214076.
- Elwinger K., Svensson L. 1996. *J Agr Eng Res*, 64, 197-208.
- European environment agency, 2019, EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 Report No 13/2019.
- Fontaine S., Le Cour Grandmaison J., Lambert W., 2022. *Proc. World. Poult. Cong.* (26) 111
- Fournel S., 2011. Diss. Université Laval
- Galloway J. N., Aber, J. D., Erisman J. W., Seitzinger S. P., Howarth R. W., Cowling E. B., Cosby B. J., 2003. *Bioscience*, (53), 341-356.
- Neysari, P., De Vries, J. W., Ogink, N. W., Amon, B., & Koerkamp, P. W. G. 2023. *Biosyst Eng.* (229) 179-199.
- Méda B., Hassouna M., Aubert C., Robin P., Dourmad J. Y. 2011. *World Poultry Sci J*, (67), 441-456.
- Méda B., Hassouna M., Lecomte M., Germain K., Dourmad J. Y., Robin, P. 2015. *Biosyst Eng.* (139), 35-47.
- Noy Y. A. E. L., Sklan D, 1999. *Poultry Sci*, 78(12), 1750-1756.
- Pereira J. L., Ferreira S., Pinheiro V., Trindade H., 2018. *Water Air Soil Poll.* (229), 1-14.
- Smith A., Rose S. P., Wells R. G., Pirgozliev V., 2000. *Brit Poultry Sci*, (41), 598-607.
- Wiedemann S. G., Phillips F. A., Naylor T. A., McGahan E. J., Keane O. B., Warren B. R., Murphy C. M., 2016. *Anim Prod Sci*, (56), 1404-1417.

Tableau 1. Composition et caractéristiques nutritionnelles (g/kg) des aliments expérimentaux.

	Croissance (J10-J21)				Finition (J22-abattage)			
	T	BasPB	BasPB +K	BAsPB +Na	T	BasPB	BasPB +K	BAsPB +Na
Maïs	527,9	574,2	574,5	564,1	472,5	539,0	552,6	525,6
Blé	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Tourteau de canola	-	178,0	152,0	177,0	-	160,0	85,0	166,0
Tourteau de soja	280,0	30,0	51,0	32,0	277,0	28,0	91,0	24,0
Drêches de maïs	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Matière grasse	5,0	15,0	14,0	18,0	40,0	46,0	40,0	51,0
Minéraux	28,6	24,7	31,0	30,9	23,6	22,9	29,1	29,3
Acides aminés	5,3	24,9	24,3	24,8	3,4	20,6	18,7	20,6
Enzymes, vitamines, prémix et céliste	3,2	3,2	3,2	3,2	33,5	33,5	33,5	33,5
Protéines brutes, calculé	200	160	160	160	190	150	150	150
Protéines brutes, analysé	200	182	186	183	205	175	173	173
EMAn ¹ (kcal/kg)	2935	2935	2935	2935	3050	3050	3050	3050
Lysine digestible	10,5	10,5	10,5	10,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Balance électrolytique (mEq/kg)	232	157	232	230	224	145	220	219
Potassium total	8,8	5,6	9,0	6,0	8,4	5,2	8,5	5,4
Phosphore total	5,4	5,7	6,2	6,2	4,9	5,1	5,3	5,4
Sodium total	1,2	1,4	1,8	4,0	1,2	1,3	1,8	3,3

¹Energie métabolisable à bilan azoté nul**Tableau 2.** Effets des régimes expérimentaux sur les performances zootechniques, la composition de la litière, les flux d'azote et les émissions de NH₃ et N₂O.

	Régimes				P-value		
	T	BasPB	BasPB +K	BasPB +Na	Reg ²	Rep ¹	Reg ² × Rep
Performances zootechniques (J10-abattage)							
Gain moyen quotidien (g/j)	108 ± 4,1 ^a	103 ± 4,2 ^b	102 ± 1,9 ^b	101 ± 3,9 ^b	<0,001	<0,001	NS
Masse moyenne à l'abattage (g)	3130 ± 230,8 ^a	2982 ± 197,4 ^b	2982 ± 167,3 ^b	2940 ± 207,5 ^b	<0,001	<0,001	NS
Consommation moyenne journalière (g/j)	170 ± 6,2	170 ± 4,4	169 ± 5,4	168 ± 8,1	NS	<0,001	NS
Indice de consommation (g/g)	1,573 ± 0,032 ^b	1,634 ± 0,027 ^a	1,648 ± 0,04 ^a	1,661 ± 0,027 ^a	<0,01	NS	NS
Eau ingérée (ml/j)	272 ± 27,7 ^a	220 ± 15,4 ^b	245 ± 16 ^{a,b}	228 ± 8,8 ^b	<0,01	NS	NS
Eau:aliment (ml/g)	1,738 ± 0,194 ^a	1,442 ± 0,092 ^b	1,601 ± 0,116 ^{a,b}	1,513 ± 0,077 ^b	<0,01	NS	NS
Composition de la litière (abattage)							
pH	8,76 ± 0,41 ^a	8,08 ± 0,48 ^b	8,61 ± 0,35 ^a	8,57 ± 0,29 ^{a,b}	<0,05	<0,001	NS
Matière sèche (g/kg)	696 ± 63,8	756 ± 42,4	725 ± 52,5	717 ± 46,8	NS	<0,05	NS
Azote (g/kg)	23,3 ± 1,85 ^a	20,7 ± 1,475 ^b	19,7 ± 1,267 ^b	19,4 ± 1,531 ^b	<0,001	<0,05	0,053
TAN ³ (g/kg)	2,02 ± 0,762 ^a	1,43 ± 0,304 ^b	1,46 ± 0,513 ^b	1,41 ± 0,356 ^b	<0,01	<0,001	<0,05
TAN/N ⁴ ratio (%)	8,9 ± 3,95	6,9 ± 1,36	7,5 ± 2,98	7,4 ± 2,34	NS	<0,001	0,059
Flux d'azote (J0-abattage)							
N ingéré (kg/chambre)	4,44 ± 0,147 ^a	3,71 ± 0,097 ^b	3,74 ± 0,228 ^b	3,7 ± 0,163 ^b	<0,001	NS	NS
Efficience azotée (%)	55 ± 1,5 ^a	63 ± 1,7 ^c	61 ± 1,2 ^b	61 ± 0,9 ^{bc}	<0,001	NS	<0,05
N excrété (kg/chambre)	2,01 ± 0,111 ^a	1,37 ± 0,094 ^b	1,45 ± 0,07 ^b	1,43 ± 0,072 ^b	<0,001	NS	<0,05
N fumier (kg/chambre)	1,3 ± 0,074 ^a	1,1 ± 0,129 ^b	1,07 ± 0,068 ^b	1,04 ± 0,077 ^b	<0,001	NS	<0,05
N volatilisé (kg/chambre)	0,71 ± 0,087 ^a	0,27 ± 0,067 ^b	0,38 ± 0,075 ^b	0,39 ± 0,073 ^b	<0,001	NS	NS
N volatilisé (% N excrété)	35,4 ± 3,07 ^a	19,9 ± 5,43 ^b	26,4 ± 4,43 ^b	27 ± 4,76 ^b	<0,001	NS	NS
N volatilisé (% N entrant ⁵)	15,9 ± 1,6 ^a	7,2 ± 1,84 ^b	10,2 ± 1,77 ^b	10,3 ± 1,72 ^b	<0,001	NS	NS
Emissions de NH₃ et de N₂O (J0-abattage)							
N-NH ₃ (g/chambre)	202 ± 73,3 ^a	56 ± 28 ^b	105 ± 36,9 ^b	86 ± 27,1 ^b	<0,001	<0,01	NS
N-N ₂ O (g/chambre)	4,3 ± 1,39	4 ± 0,58	5,2 ± 1,2	4,8 ± 1,02	NS	NS	NS
N-NH ₃ (% N excrété)	10,1 ± 3,79 ^a	3,6 ± 0,84 ^b	7,2 ± 2,42 ^{ab}	6 ± 1,87 ^{ab}	<0,01	<0,05	NS
N-N ₂ O (% N excrété)	0,21 ± 0,001 ^b	0,31 ± 0,00 ^{ab}	0,36 ± 0,001 ^a	0,34 ± 0,001 ^a	NS	<0,001	NS
N-NH ₃ (% N volatilisé)	28,4 ± 10,19	19,1 ± 6,19	27,3 ± 7,16	22,4 ± 6,27	<0,01	NS	NS
N-N ₂ O (% N volatilisé)	0,59 ± 0,14 ^b	1,62 ± 0,33 ^a	1,44 ± 0,65 ^a	1,27 ± 0,35 ^a	<0,01	NS	NS

¹Rep : répétition, ²Reg : régime, ³TAN : azote ammoniacal, ⁴N : azote, ⁵entrant : N copeaux + N aliments + N poussins