

REMPLACEMENT DU TOURTEAU DE SOJA PAR DES MATIERES PREMIERES RICHES EN PROTEINES : EVALUATION MULTICRITERE CHEZ LE POULET DE CHAIR A CROISSANCE INTERMEDIAIRE

**Lessire Michel¹, Méda Bertrand¹, Dusart Léonie^{1,2}, Hallouis Jean-Marc¹,
Bordeau Thierry¹, Souchet Christophe², Mercierand Frédéric³, Hatté Cathy⁴,
Bouvarel Isabelle², Berri Cécile¹**

¹ INRA, UR 83 Recherches Avicoles, F-37380 NOUZILLY, France

² ITAVI, F-37380 NOUZILLY, France

³ INRA, UE PEAT, F-37380 NOUZILLY, France

⁴ Thivat Nutrition Animale, F-03140 SAINT GERMAIN DE SALLES, France

lessire@tours.inra.fr

RÉSUMÉ

Afin d'évaluer la faisabilité d'une production de volailles à croissance intermédiaire avec un aliment à teneur réduite en soja, une expérimentation a été réalisée afin d'obtenir des données pour la réalisation d'une évaluation multicritère. Trois stratégies alimentaires ont été comparées : un témoin (avec du tourteau de soja), une stratégie « bas soja » (BS : réduction d'environ 50% du niveau d'incorporation de soja) et une stratégie « sans soja » (0%S) intégrant des sources de protéines alternatives (tourteaux de tournesol décortiqué et colza, drêches de maïs, pois, féverole et glutens de blé et maïs). Les aliments ont été distribués à 2256 poulets JA 957 des deux sexes élevés en claustration jusqu'à 56 j. Différentes mesures ont été réalisées : performances de croissance, lésions cutanées, qualité des produits et bilans environnementaux. Si les performances de la stratégie BS étaient identiques au témoin, la stratégie 0%S a dégradé le poids à l'abattage (2,712 kg pour la stratégie 0%S vs. 2,806 et 2,972 kg pour le témoin et la stratégie BS), l'indice de consommation et le rendement filet. Les niveaux d'excrétion d'azote et phosphore n'étaient pas identiques au témoin (BS > T pour l'azote et BS et 0%S > T pour le phosphore) et que la volatilisation de l'azote du fumier était réduite dans la stratégie 0%S (25% pour la stratégie 0%S vs. 40% environ pour le témoin et la stratégie BS). Une évaluation plus globale à l'échelle de la filière de production a montré que le coût de production du vif n'était pas affecté par la stratégie BS mais qu'il augmentait avec la stratégie 0%S (+4%). Néanmoins, les émissions estimées de gaz à effet de serre étaient fortement réduites dans les stratégies BS et 0%S respectivement (-12 et -27%). Enfin, de telles stratégies permettraient de répondre davantage aux attentes du consommateur (alimentation non OGM, matières premières locales... pour une qualité de la viande maintenue) tout en limitant les impacts environnementaux (hausse de la consommation d'énergie mais émissions de GES réduites) et économiques (coût de production plus élevé).

ABSTRACT

Replacing soybean meal by alternative protein sources: Multicriteria assessment of medium-growing chicken production system

A multicriteria experimental study was performed to assess the feasibility of producing medium-growing chickens while limiting or totally removing soybean meal from the diets fed to the animals. Three feeding strategies were compared: a control (with soybean meal), a low soybean strategy (BS) and a soy-free strategy (0%S) including alternative sources of proteins (sunflower and rapeseed meal, corn distillers, pea, faba bean and wheat and corn gluten meals). Diets were distributed to 2256 JA 957 chickens of both sexes reared up to 56 days of age in a confined house. Various measurements were carried out, including growth performances, skin lesions, carcass and meat quality and environmental mass balances. Performances were not affected by the BS strategy while the 0%S strategy negatively impacted slaughter weight, feed conversion ratio and breast meat yield. The environmental mass balances showed that nitrogen and phosphorus excretion rates were affected by the two alternative feeding strategies while nitrogen volatilization was reduced in the 0%S strategy. A multicriteria assessment of the production system (supply chain scale) showed that production costs of live weight were not affected by the BS strategy while they increased by 4% in the 0%S one. Meanwhile greenhouse gas emissions were significantly reduced in both alternative strategies (-12 and -27% respectively for BS and 0%S). These strategies would thus be helpful to better meet the expectations of poultry meat consumers (non-GM feed, use of local feedstuffs...) while minimizing the negative environmental and economic impacts.

INTRODUCTION

En France, les aliments distribués aux volailles intègrent environ un quart de soja provenant essentiellement du Brésil. Si cette matière première est reconnue pour son intérêt nutritionnel (teneurs élevées en protéines, en lysine, en tryptophane), elle pose de nombreuses questions sur les plans environnementaux, économiques et sociétaux (Bouvarel *et al.*, 2014).

En effet, la production de soja est associée à la déforestation au Brésil. De plus, la France (et plus généralement l'Union Européenne) est largement dépendante de cette matière première et est donc fragilisée par la volatilité des cours et la compétition avec les autres importateurs (Chine). Enfin, le soja est majoritairement issu de graines de soja génétiquement modifié rejeté par les citoyens.

Dans un tel contexte, l'utilisation de matières premières dites « alternatives » (tourteaux de colza et de tournesol, drêches, pois, féverole) pourrait être intéressante pour l'alimentation des volailles, notamment dans les rations des poulets à croissance intermédiaire de type CCP (Certificat Conformité Produit) en raison de besoins en protéines moins élevés qu'en production standard (Bouvarel *et al.*, 2014). De plus, les cahiers des charges de la grande distribution (principal débouché de cette production) intègrent de plus en plus de contraintes sur l'utilisation de matières premières non OGM. Toutefois, les caractéristiques nutritionnelles de ces matières premières sont moins avantageuses que celles du soja (déséquilibre en acides aminés, taux protéique plus faible, présence de facteurs antinutritionnels...).

Ainsi, le but de cette étude est d'évaluer la faisabilité technique d'une substitution totale ou partielle du tourteau de soja par des matières premières alternatives produites localement (France) dans l'alimentation de poulets de type CCP. Un essai réalisé en station expérimentale a donc été mené pour évaluer les performances zootechniques et environnementales de telles stratégies alimentaires. De plus, afin d'évaluer les conséquences de ces stratégies à une échelle plus large, une évaluation multicritère à l'échelle de la filière a été réalisée.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux-aliments

L'élevage des animaux a été réalisé à l'unité expérimentale PEAT de l'INRA. Au total, 2256 poulets JA 957 sexés ont été répartis dans 24 parquets de 5 m² de surface utile à raison de 47 mâles et 47 femelles par parquet. Il s'agissait d'un bâtiment obscur contrôlé en température, ventilation et lumière. Les poulets ont été nourris à volonté avec trois aliments granulés successifs (démarrage : 0-14 jours ; croissance 15-28 jours et finition 29-56 jours). Durant

l'essai, trois stratégies alimentaires ont été comparées : une stratégie témoin classique céréales/soja (T), une « bas soja » (BS) et une « zéro soja » (0%S). La réduction du niveau d'incorporation du tourteau de soja dans les rations a été obtenue par l'incorporation de tourteaux de colza et de tournesol HiPro (36,6% de MAT), de protéagineux et de drêches ou glutens de céréales. Il a également été nécessaire de réduire les apports en énergie et protéines des aliments démarrage et croissance 0%S pour faciliter la suppression du soja et limiter le surcoût des formules. Chaque aliment était granulé et distribué à volonté. La composition et les caractéristiques nutritionnelles des aliments figurent dans le Tableau 1.

1.2. Mesures environnementales

Les quantités initiales de copeaux mises en place et les quantités finales de fumier ont été pesées pour 4 parquets par stratégie alimentaire. La composition chimique des copeaux et des fumiers produits a été analysée. A l'aide de ces données et des résultats zootechniques, des bilans de masse ont pu être réalisés pour chaque parquet selon la méthode décrite par Méda *et al.* (2011). Ces bilans ont permis d'estimer les quantités d'azote et phosphore excrétées ainsi que la volatilisation totale de l'azote.

1.3. Performances, abattage et mesures de qualité

A 14, 28 et 56 jours, tous les animaux ont été pesés individuellement après une mise à jeun de 3 heures. Les consommations d'aliment ont été mesurées par parquet aux mêmes âges. Le poids des animaux morts a été enregistré. A 56 jours, 14 poulets (7 mâles et 7 femelles) par parquet ont été prélevés et abattus à l'abattoir expérimental, soit 336 poulets. Les incidences de pododermatites et de défauts de carcasses ont été évaluées après l'effilage des carcasses. Après un stockage d'une nuit à +2°C, 240 carcasses ont été pesées puis découpées afin de déterminer les rendements (PAC, filets, cuisses) et l'engraissement abdominal. La qualité du filet (*Pectoralis major*) a été estimée au travers de différentes mesures : teneurs en lipides et matières sèches, pH ultime, paramètres de couleur L*, a* et b*, exsudat, pertes d'eau à la cuisson, résistance au cisaillement de la viande cuite.

1.4. Analyses statistiques

Les effets respectifs et interactifs de l'aliment et du sexe sur les données de poids, de rendements et de qualité ont été déterminés par ANOVA à deux facteurs en utilisant la procédure GLM du logiciel SAS. Pour chaque effet significatif, des comparaisons de moyennes deux à deux ont été réalisées avec le test de Scheffe en utilisant l'option *lsmeans* de la procédure GLM. Les données de consommation et les

données environnementales ont été traitées par ANOVA simple (sexes confondus).

1.5. Evaluation multicritère des systèmes alternatifs (BS et 0%S)

Afin d'évaluer les conséquences des stratégies alimentaires BS et 0%S à l'échelle de la filière, une évaluation multicritère a été réalisée. Celle-ci repose sur la méthode OVALI (Outil multicritère d'éVALuation de la durabilité pour concevoir des systèmes de production avicole Innovants) décrite par Protino *et al.* (2015) et Dusart *et al.* (2015) et adaptée pour une utilisation dans un cadre expérimental. La filière est modélisée selon le cas type de la filière CCP située en région Centre et Pays-de-la-Loire réalisé dans le cadre du projet OVALI (Protino *et al.*, 2015), en appliquant les formules alimentaires et les performances zootechniques obtenues au cours de cette expérience. Chaque pilier de la durabilité a été évalué à l'aide de quatre indicateurs, mesurables ou calculables dans notre cadre expérimental, permettant ainsi d'illustrer 3 à 4 critères (*i.e.* objectifs de durabilité) issus de la grille OVALI (Figure 1 ; Protino *et al.*, 2015). Les indicateurs économiques sont : le coût de production du poulet, la présentation du produit (L* et exsudat), la part de la valeur ajoutée créée en France, prenant en compte la valeur des matières premières utilisées et importées ainsi que les étapes de production du poulet réalisées en France, et la part de protéines végétales d'origine européenne dans l'alimentation. Les impacts environnementaux potentiels ont été calculés par Analyse du Cycle de Vie à l'aide des bases de données publiques EcoAlim (CASDAR/ADEME) et Agribalyse® (ADEME). Les indicateurs retenus sont : consommation d'énergie non renouvelable, émissions de gaz à effet de serre, eutrophisation, ainsi que l'origine du soja (provenant ou non de zones déforestées). Les indicateurs sociaux portent sur la qualité nutritionnelle de la viande (% lipides dans le filet), le bien-être animal (pododermatites selon un score de 1 à 5), la possibilité de porter une mention « non OGM » sur le produit et une mention « origine locale des matières premières utilisées dans l'alimentation ». Les résultats sont présentés en pourcentage d'amélioration ou dégradation des indicateurs par rapport au témoin. Pour les indicateurs qualitatifs de type « oui/non », le « oui » est fixé à 100% et le « non » à 0%.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques et bien-être

La réduction du taux d'incorporation du tourteau de soja a significativement réduit les performances de croissance à 14, 28 et 56 jours, en particulier pour la stratégie 0%S, où les formules démarrage et croissance, en plus de contenir des matières premières alternatives au soja, étaient moins riches en énergie et

protéines. Des apports identiques en ces nutriments en finition n'ont pas permis de compenser les moindres performances antérieures (Tableau 2). A 56 jours, les performances des stratégies T et BS étaient en revanche identiques. Une interaction significative existe entre les facteurs aliment et sexe pour le poids à 56 jours car les femelles, moins exigeantes en nutriments que les mâles, sont moins pénalisées que ces derniers par l'aliment 0%S. Concernant l'indice de consommation, seul celui de la stratégie 0%S était différent et plus élevé que ceux des stratégies T et BS. Ceci pourrait être expliqué par les plus faibles teneurs en énergie et protéines des aliments démarrage et croissance de la stratégie 0%S. Enfin, quel que soit le traitement, aucune pododermatite n'a été observée et les taux de mortalité étaient très faibles.

2.2. Qualité des produits

La stratégie alimentaire n'a pas eu d'incidence sur l'engraissement des carcasses, mais a eu un effet significatif sur les rendements en viandes (Tableau 2). Les rendements en filet étaient plus faibles et ceux en cuisses plus élevés dans le cas de l'alimentation 0%S par rapport aux alimentations T et BS. Par rapport aux poulets témoins, seuls les rendements PAC des femelles alimentées avec l'aliment BS étaient plus faibles. Par rapport aux mâles, les femelles se caractérisent par des rendements PAC et cuisses inférieurs mais un engraissement et des rendements en filets supérieurs. Les filets issus des trois traitements présentaient des teneurs en lipides et en matière sèche et des caractéristiques de qualité (exsudat, pertes à la cuisson, texture) équivalentes, malgré un pH ultime légèrement différent entre traitement (Tableau 2). L'effet le plus marqué du régime concernait la coloration du filet et de la peau qui était la plus jaune dans le cas du régime 0%S. Par rapport aux mâles, les filets des femelles étaient moins riches en lipides mais plus acides, plus clairs et jaunes (L* et b* plus élevés) et exsudatifs.

2.3. Performances environnementales

La quantité d'azote excrétée par les animaux de la stratégie BS était significativement plus élevée que pour le témoin et la stratégie 0%S, tandis que pour le phosphore, la quantité excrétée dans le témoin était largement plus faible (-20% environ : Tableau 2). Toutefois, il est intéressant de noter que, dans notre étude, le niveau d'excrétion azotée était plus faible (-35% environ) que celui proposée par l'ITAVI (2013) alors que l'excrétion de phosphore était plus élevée (+30% environ).

Les quantités finales de fumier produites (par kg de vif produit) étaient différentes dans les trois stratégies alimentaires avec les quantités les plus faibles et les plus élevées respectivement pour les stratégies BS et T. En revanche, aucune différence significative n'a été observée concernant les teneurs en matière sèche,

azote et phosphore des fumiers dans les trois stratégies. Enfin, malgré une volatilisation de l'azote plus forte dans la stratégie 0%S (25%), les teneurs en

2.4. Evaluation multicritère des systèmes de production BS et 0%S

L'évaluation multicritère des systèmes de production BS et 0%S (Figure 1) met en évidence une amélioration de plusieurs indicateurs économiques (pourcentage de valeur ajoutée créée en France), sociaux (mention sur l'origine des matières premières) et environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, utilisation de soja). Les gains sont d'autant plus importants que la part de soja est faible ($T < BS < 0\%S$). En revanche, la substitution totale du soja entraîne une augmentation de la consommation d'énergie non renouvelable (+8%), de l'eutrophisation (+13%) et du coût de production du vif (+4%). Enfin, si l'itinéraire 0%S conduit à un coût de production plus élevé, il peut également bénéficier d'une meilleure image auprès des consommateurs (poulet « français » non OGM).

CONCLUSION

La substitution partielle (stratégie BS) du tourteau de soja par des matières premières « alternatives » (tourteaux d'oléoprotéagineux, coproduits de céréales, protéagineux) n'a pas dégradé les performances zootechniques, le bien-être animal et la qualité de la viande. A l'inverse, la stratégie 0%S a dégradé le poids vif, l'indice de consommation et le rendement

azote du fumier étaient similaires dans les trois traitements (Tableau 2).

en filet. Par ailleurs, en intégrant les impacts environnementaux des matières premières, les deux stratégies permettent de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre malgré une augmentation de la consommation d'énergie non renouvelable. Enfin, l'autonomie protéique est également favorisée.

De façon générale, la réduction (voire la suppression) du soja dans l'alimentation des poulets à croissance intermédiaire permet d'améliorer l'image du produit (origine locale et non OGM des matières premières) et son impact environnemental (retrait des matières premières associées à la déforestation) avec des répercussions économiques modérées (coût de production, qualité du produit). Cependant, l'adoption de telles stratégies se heurte aux questions de disponibilité des matières premières « alternatives », de valorisation des produits (création de nouveaux marchés) et d'organisation des filières.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet « NAVIRRE : Nouveaux Aliments pour les Volailles Intégrant des Ressources REgionales » financé par la Région Centre. Les auteurs remercient l'ensemble des personnels de l'Unité de Recherches Avicoles et de l'Unité Expérimentale PEAT pour l'aide apportée à la réalisation de cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bouvarel I., Lessire M., Narcy A., Duval E., Grasteau S., Quinsac A., Peyronnet C., Tran G., Heuzé V., 2014. Oilseeds & fats Crops and Lipids, 21 (4), D405.
2. Dusart L., Méda B., Protino J., Chevalier D., Dezat E., Chenut R., Ponchant P., Lescoat P., Berri C., Bouvarel I. (2015). 11èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras.
3. ITAVI, 2013. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre et zinc par les élevages avicoles. 63 p.
4. Méda B., Hassouna M., Fléhard C., Lecomte M., Cellier P., Germain K., Picard S., Robin P., 2011. 9èmes Journées de la Recherche Avicole, 111-115.
5. Protino J., Magdelaine P., Berri C., Méda B., Ponchant P., Dusart L., Chevalier D., D., Lescoat P., Bouvarel I. (2015). 11èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras.

Figure 1. Evaluation multicritère d'une filière de production de poulet à croissance intermédiaire nourri avec des aliments à bas niveau de soja (BS) ou sans soja (0%S).

PILIER ECONOMIQUE	
Critères	Indicateurs
Améliorer la compétitivité de la filière française	CP VIF : Coût de production d'une tonne de poulet vif (€/t vif)
Créer des emplois locaux	% VA FR : Part de la valeur ajoutée créée en France en fonction de l'origine des matières premières (%)
Répondre aux attentes des consommateurs	PRESENTATION PRODUIT : Indicateur composite de qualité (exsudat (%), luminance L*)
Réduire la dépendance en protéines végétales importées pour l'alimentation animale	% PROT. UE : Pourcentage de protéines végétales dans l'alimentation produites en UE (%)
PILIER SOCIAL	
Critères	Indicateurs
Proposer des produits de qualité sanitaire et nutritionnelle	% LIP : Pourcentage de lipides intramusculaires (%)
Respecter le bien-être animal	PODO : Etat des pattes (score pododermatites)
Informar sur l'origine des produits	NON OGM : Possibilité de communiquer sur l'utilisation de matières premières non OGM dans l'alimentation (Oui/Non) MP LOCALES : Possibilité de communiquer sur l'origine locale des matières premières utilisées dans l'alimentation (Oui/Non)
PILIER ENVIRONNEMENTAL	
Critères	Indicateurs
Optimiser la consommation d'énergie	ENERGIE : Consommation d'énergie non renouvelable (MJ/kg vif)
Limitar les émissions de gaz à effet de serre	GES : Emission de Gaz à Effet de Serre (kg eq-CO ₂ /kg vif)
Préserver la qualité de l'eau	EUTROPHISATION : Eutrophisation des écosystèmes (kg eq-PO ₄ /kg vif)
Favoriser la diversité de la faune et de la flore	ORIGINE SOJA : Présence/absence de soja issus de surfaces déforestées (Oui/Non)

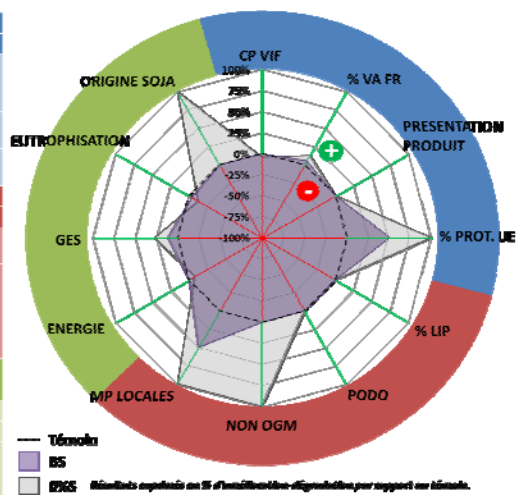


Tableau 1. Composition en matières premières et caractéristiques nutritionnelles des aliments distribués

	Démarrage (0-14 j)			Croissance (15-28j)			Finition (29-56 j)		
	T	BS	0%S	T	BS	0%S	T	BS	0%S
Matières premières (%)									
Blé	30,0	30,0	35,0	30,0	30,0	30,0	40,0	39,0	40,0
Mais	36,5	30,3	28,5	42,5	37,1	36,0	38,5	34,1	27,4
Gluten de blé			3,0			1,8			
Gluten de maïs			1,3			1,0			0,7
Drêche de maïs		3,0	3,0		1,0	1,0			2,0
Tourteau de soja	27,4	17,6		22,3	12,8		16,6	7,1	
Tourteau de tournesol HiPro		8,0	10,0		9,0	10,5		10,0	9,6
Tourteau de colza		3,0	5,0		3,0	5,0		3,0	5,0
Féverole			8,0			8,0			8,2
Huile	2,1	3,9	1,9	1,8	3,6	3,0	1,8	3,7	4,0
Premix et additifs	4,1	4,3	4,7	4,0	4,1	4,3	3,9	4,0	4,1
Céréales et coproduits de céréales (%)	66,5	63,3	70,6	72,1	67,6	69,4	77,8	72,4	69,4
Céréales et coproduits de céréales + protéagineux (%)	66,5	63,3	78,6	72,1	67,6	77,4	77,8	72,4	77,5
Energie Métabolisable (kcal/kg) ¹	2900	2900	2850	2950	2950	2950	3000	3000	3000
Matières Azotées Totales (g/kg) ¹	190	190	185	172	172	168	155	155	155
Lysine digestible (g/kg) ¹	10,2	10,2	10,0	9,0	9,0	8,8	8,5	8,5	8,5
Prix de l'aliment (€/t) ²	309	313	319	293	295	301	280	282	288

T : Témoin ; BS : Bas soja ; 0%S : 0 soja.

¹Valeur calculée.²Calculé sur la base des prix moyens annuels 2013 des matières premières (Source : ITAVI).**Tableau 2.** Performances zootechniques et bien-être, qualité des produits et performances environnementales

	Aliment			Effet Aliment	Effet Sexe	Aliment × Sexe
	Témoin	Bas soja	0 soja			
Performances zootechniques et bien-être						
Poids vif à 56 jours (g)	2806 ^a (331)	2792 ^a (325)	2712 ^b (312)	P < 0,0001	P < 0,0001	P < 0,05
Indice de consommation global (kg/kg)	2,061 ^a (0,024)	2,063 ^a (0,020)	2,107 ^b (0,014)	P < 0,0001	n.t.	n.t.
Rendements et qualité du filet						
PAC (% du poids vif)	71,14 (0,98)	70,82 (1,45)	70,80 (1,10)	NS	P < 0,01	P < 0,01
Filet (% du poids vif)	18,45 ^a (1,31)	18,20 ^a (1,14)	17,66 ^b (1,02)	P < 0,0001	P < 0,001	NS
Cuisse (% du poids vif)	23,81 ^b (1,02)	23,80 ^b (1,21)	24,26 ^a (1,07)	P < 0,01	P < 0,0001	NS
Gras abdominal (% du poids vif)	3,52 (0,72)	3,46 (0,80)	3,49 (0,70)	NS	P < 0,0001	NS
pH ultime	5,99 ^{ab} (0,13)	5,97 ^b (0,13)	6,02 ^a (0,11)	P < 0,05	P < 0,0001	NS
Exsudat (% du poids du filet)	1,41 (0,57)	1,43 (0,62)	1,45 (0,47)	NS	P < 0,0001	NS
Pertes cuisson (% du poids du filet)	9,79 (1,12)	9,66 (1,14)	9,77 (1,16)	NS	NS	NS
Dureté après cuisson (N/cm ²)	13,10 (2,42)	13,13 (2,47)	13,21 (1,89)	NS	NS	NS
Indice de jaune du filet, b*	9,39 ^b (1,10)	9,55 ^b (1,12)	10,33 ^a (1,36)	P < 0,0001	P < 0,01	NS
Luminance, L*	49,39 ^{ab} (2,85)	49,43 ^a (2,87)	48,52 ^b (2,12)	P < 0,05	P < 0,0001	NS
Lipides du filet (%)	1,14 (0,28)	1,13 (0,31)	1,08 (0,25)	NS	P < 0,05	NS
Performances environnementales						
Excrétion d'azote (g/kg vif produit)	22,2 ^a (0,9)	24,4 ^b (1,2)	21,4 ^a (0,8)	P < 0,01	n.t.	n.t.
Excrétion de phosphore (g/kg vif produit)	6,8 ^a (0,2)	8,1 ^b (0,3)	8,6 ^b (0,2)	P < 0,0001	n.t.	n.t.
Fumier (g/kg de vif produit)	164 ^a (2)	193 ^b (12)	183 ^{ab} (11)	P < 0,01	n.t.	n.t.
Azote du fumier (g/kg fumier)	21,1 (1,9)	20,4 (2,2)	22,0 (2,7)	NS	n.t.	n.t.
Phosphore du fumier (g/kg fumier)	10,7 (0,9)	11,0 (1,3)	11,7 (0,5)	NS	n.t.	n.t.
Volatilisation de l'azote en bâtiment (% excrété en bâtiment)	40 ^a (6)	39 ^a (4)	25 ^b (5)	P < 0,01	n.t.	n.t.

NS : non significatif ; n.t. : non testé.

Au sein d'une ligne, les valeurs avec une même lettre, ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.