

Comparaison des flux en éléments (C, N, cendres, P et K) entre un système en stabulation entravée et un système en stabulation libre avec accumulation de fumier

MATHOT M. (1), DECUYENAERE V. (2), LAMBERT R. (1), STILMANT D. (3)

(1) Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, place croix du Sud 2, bte 24, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique. Michael.mathot@uclouvain.be.

(2) Production and sectors, Centre wallon de Recherches agronomiques, rue de Liroux 8, 5030 Gembloux, Belgique

(3) Agriculture and natural environment, Centre wallon de Recherches agronomiques, rue du Serpont 100, 6800 Libramont, Belgique

RESUME

La méthode du bilan a été utilisée afin d'approcher l'impact environnemental, via les pertes C, N en étable et lors du stockage, de deux systèmes de stabulation contrastés. Le premier système est la stabulation entravée (**SE**) avec apport de paille et stockage extérieur du fumier évacué quotidiennement. Le second système est la stabulation libre sur paille (**SL**) avec accumulation du fumier sous les animaux. Ces deux systèmes sont contrastés pour le type et la gestion des engrais de ferme produits ainsi que pour la quantité de paille utilisée pour le couchage des animaux (SE : 101 ± 10 g MS/100 kg pv/j et SL : 801 ± 76 g MS/100 kg pv/j). En tout 11 et 8 essais ont été réalisés respectivement en SE et SL. Tous les postes du bilan ont été quantifiés et analysés (sauf les animaux) et ont été exprimés par rapport à la quantité d'élément ingéré. En moyenne, il y a significativement plus d'éléments (cendre : +22% ; C : +33% ; N : +10% ; K : +20% ; P : +8%) qui sont entrés en SL qu'en SE suite à l'apport plus élevé de paille. En sortie d'étable, pour le carbone, la différence entre les systèmes s'est accentuée avec plus de C (+53%) qui sort de SL par rapport SE alors qu'elle a été stable ou en baisse pour les autres éléments. Après stockage des engrais de ferme la différence entre les systèmes n'était plus significative pour le C (+8%), le N (-2%), le K (+8%) et le P (+6%) mais bien pour les cendres (+18%). Malgré la difficulté de boucler les bilans en K et P, les résultats indiquent que les pertes en C et N ont été supérieures en SL (respectivement 72 ± 3 et 26 ± 1 % des entrées) qu'en SE (respectivement 63 ± 2 et 13 ± 3 % des entrées) et cela suite aux pertes plus importantes lors du stockage des engrais de ferme en SE. Ces différences de pertes doivent être considérées afin de comparer l'impact environnemental des systèmes mais il faut également prendre en compte les formes sous lesquelles le C et le N sont perdus (CO_2 ou CH_4 ; N_2 , N_2O ou NH_3).

Comparison of element flow (C, N, ash, P and K) between tie-stall and free-stall with deep litter systems

MATHOT M. (1), DECUYENAERE V. (2), LAMBERT R. (1), STILMANT D. (3)

(1) Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain, place croix du Sud 2, bte 24, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique. Michael.mathot@uclouvain.be.

(2) Production and sectors, Centre wallon de Recherches agronomiques, rue de Liroux 8, 5030 Gembloux, Belgique

(3) Agriculture and natural environment, Centre wallon de Recherches agronomiques, rue du Serpont 100, 6800 Libramont, Belgique

SUMMARY

The balance method was used to approach the environmental impact through nutrient losses (C and N) of contrasted housing type, at barn and during manure storage. The first system was tie-stall (**TS**) with straw supply. The second system was a free stall on deep litter (**DL**). The two systems were contrasted for their manure management and straw supply. In the tie stall, the solid manure produced was removed daily and stored outside the buildings. In the free stall, the manure was accumulated below the animal for a long period in the barn before being removed and stored outside the buildings. In the tie stall, straw for litter was supplied at a rate of 101 ± 10 g DM/100 kg lw/d while the supply was higher in deep litter: 801 ± 76 g DM/100 kg lw/d. The experiments were carried out during five winter periods with respectively 11 and 8 trials in TS and DL. Balances and flows were calculated by weighting and analyzing all the inputs and outputs with the exception of the animals. For each nutrient, the results were expressed relative to their input in the diet. On average, there was significantly more nutrients (ash: +22%, C: +33%, N: +10%, K: +20% and P: +8%) entering the systems in DL than in TS due to higher inputs with the straw for the litter. At the exit of the barn, the difference between the systems increased for C with more (+53%) getting out of the SL than of the TS. This difference was stable or decreased for all the other nutrients. After solid manure storage, the systems were not anymore significantly different for C (+8%), N (-2%), K (+8%) or P (+6%) but well for the ash (+18%). Despite difficulties with K and P balances, the results suggest that more C and N were lost in SL (respectively 72 ± 3 and 26 ± 1 % of the inputs) than in TS (respectively 63 ± 2 and 13 ± 3 % of the inputs). This contrast has to be taken into account while comparing the systems but more information is required to estimate environmental impact regarding the form of which the C and N are lost (CO_2 or CH_4 ; N_2 , N_2O or NH_3).

INTRODUCTION

La gestion des flux en éléments est un point critique des systèmes d'élevage. En effet, elle doit être réalisée de façon à optimiser les productions tout en limitant les pertes de composés néfastes vers l'environnement. L'élevage, est fréquemment critiqué pour ses pertes en azote, phosphore ainsi que ses émissions de gaz à effet de serre vers l'environnement. Cependant, pour un type de production donné, il existe une grande diversité de moyens et de procédés. Cette diversité est notamment liée aux bâtiments qui vont déterminer le type d'engrais de ferme produit en interaction avec la gestion du troupeau (alimentation) et des pratiques au bâtiment et au stockage (type de litière, lieu de stockage, fréquence d'évacuation, traitement ...). Chaque situation influencera la répartition des éléments et potentiellement l'impact environnemental du système. Afin d'étudier cette diversité et son impact, nous avons suivi expérimentalement les flux en cendres (Ct), carbone (C), azote (N), potassium (K) et phosphore (P) en étable et durant le stockage des engrais de ferme en testant l'impact de différents facteurs tels que le niveau de paillage, l'alimentation et le type de stabulation (entravée (SE) et/ou libre (SL)) (Mathot *et al.*, 2011) sur les bilans. Cette contribution a pour objectif de compiler ces essais afin de mettre en évidence les différences liées aux types de stabulations.

1. MATERIEL ET METHODES

Entre 2005 et 2010, dix-neuf essais ont été réalisés dans de petites étables expérimentales contenant chacune 4 génisses viandeuses blanc bleu belge. Les essais ont été menés durant l'hiver et leur durée en étable et au stockage a varié selon les essais (tableau 1).

Tableau 1 Durée (jour) des essais en étable et durant le stockage des engrais de ferme

	Etable		Stockage	
	SE (n=11)	SL (n=8)	SE	SL
Moyenne	82±7	89 ±9	185±18	109±10
Médiane	70	83	146	123
Min et max	68 et 125	66 et 125	125 et 278	62 et 130

Onze essais ont été menés en SE et huit en SL. En SE, les places de couchage étaient munies d'un tapis et de la paille a été apportée en faible quantité (valeur cible : 100 g de paille fraîche/100 kg poids vif par jour (pv/j), tableau 2) pour la structure du fumier. Le fumier produit a été raclé quotidiennement et le purin récolté. Les SL (16,3 m²) ont été entièrement paillées (apport quotidien, valeur cible de 1 kg de paille fraîche/100 kg pv/j) et les fumiers produits ont été accumulés sous les animaux pendant la durée des essais puis évacués. Les fumiers évacués des étables ont été stockés séparément sur des aires de stockage avec récolte des jus d'écoulement (purin). Le contraste entre les deux systèmes consistait donc en (1) la quantité de paille apportée pour la litière des animaux, (2) le type et la gestion des engrais de ferme produits (ex : production de purin en étable en SE et pas en SL, stockage de plus longue durée du fumier à l'extérieur en SE, ...)

Afin de réaliser les bilans, les différentes composantes des systèmes ont été pesées et analysées : teneur en matière sèche (MS), C, N, K, P et cendres (Ct). Les fumiers évacués des stabulations entravées, les pailles et l'alimentation ont été pesés quotidiennement, échantillonnés et analysés au minimum une fois par semaine. Les autres fumiers ont été pesés, échantillonnés (n=8) et analysés à chaque manipulation. Afin d'estimer les prélèvements par les animaux suite à leur croissance, ceux-ci ont été pesés individuellement en entrée et sortie d'expérimentation et caractérisés grâce à des facteurs issus de la littérature spécifiques de la race (MS et Ct : Decampeneer *et al.* 2001) ou non (C : Haas *et al.* 2002, K : Meschy et Guéguen 1995, P : Clark *et al.*, 2007). Les purins récoltés ont été pesés, échantillonnés et analysés (n=3) lors de leur vidange. Les animaux étaient, en moyenne, légèrement plus lourds, et ont eu des performances (GMQ) et une valorisation plus faible des aliments (IC) en SE qu'en SL. La composition moyenne des rations (tableau 2) était identique et a permis de couvrir de façon similaire les besoins des animaux en protéines digestibles (SE : 155 ± 22% ; SL : 149 ± 10%) et en énergie (SE : 104 ± 4% et SL : 113 ± 5%). Cependant, comme les quantités entrées sont différentes dans les deux systèmes et entre essais suite à des effets cumulatifs liés aux durées des essais et au gabarit des animaux, nous avons travaillé en relativisant les bilans par rapport aux quantités des différents éléments entrés via l'ingestion.

Tableau 2 Caractéristiques et performances des animaux, ingestion, composition de l'ingéré et niveau de paillage pour les deux systèmes comparés (critères significativement différents si p<0.05 ; t-test (student)).

Paramètres	Unité	SE	SL	Stat (p)
Poids animaux	kg pv/animal	443 ± 26	375 ± 25	0,075
GMQ	kg/j	0,635 ± 0,058	0,813 ± 0,082	0,098
IC	kg MSI/kg gain	12,5 ± 0,7	9,5 ± 0,5	0,003
Ingestion	kg MS/animal/j	7,66 ± 0,42	7,47 ± 0,50	0,777
Paillage	g MS/kg pv/j	1,01 ± 0,10	8,01± 0,76	0,000
Caractéristiques des rations ingérées				
MS	g/kg MFI	716 ± 35	697 ± 7	0,596
DVE	g/kg MSI	69,6 ± 3,2	67,1 ± 4,8	0,672
DVE couvert	% recommandation	155 ± 22	149 ± 10	0,806
Vem	g/kg MSI	881 ± 19	874 ± 19	0,822
Vem couvert	% recommandation	104 ± 4	113 ± 5	0,160
OEB	g/kg MSI	4,9 ± 3,2	5,6 ± 4,8	0,904
N	g/kg MSI	20,6 ± 0,9	20,3 ± 1,3	0,861
K	g/kg MSI	19,9 ± 1,7	21,0 ± 0,6	0,564
P	g/kg MSI	4,0 ± 0,2	3,9 ± 0,4	0,949

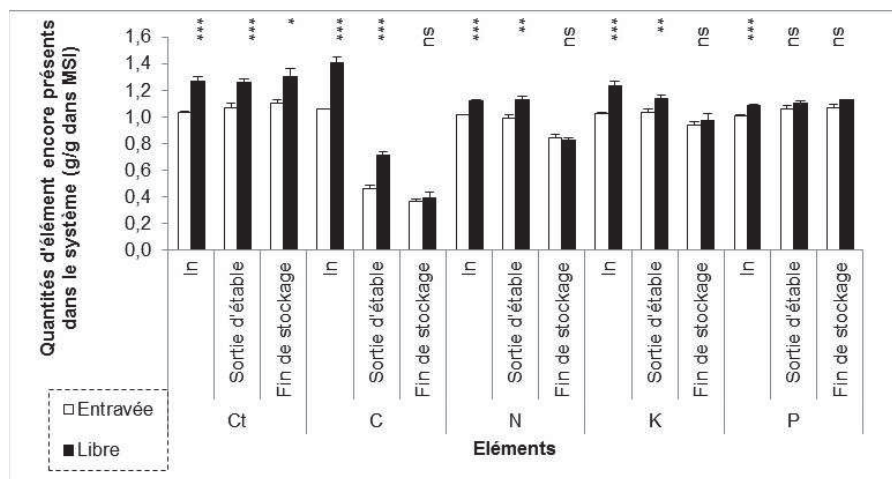
Ainsi, par exemple pour le potassium, les quantités entrées dans le système ont été calculées en divisant la quantité de K totale entrée (K paille + K ingérée) par la quantité de K ingérée par les animaux. Les bilans en éléments des deux systèmes ont été comparés à deux stades en sortie d'étable : bilan = in (ingestion+paille litière) – out (gain animaux + fumier produit en étable + purin produit en étable (en SE uniquement)) et en sortie du système après stockage : bilan = in - (gain animaux + purin produit en étable (en SE uniquement) + purin produit durant le stockage + fumier

après stockage). Les moyennes des deux systèmes ont été comparées à l'aide de t-test (systat, 1998).

2. RÉSULTATS

Comme attendu, en moyenne, il y avait significativement plus d'éléments (cendre : +22% ; C : +33% ; N : +10% ; K : +20% ; P : +8%) qui sont entrés en SL qu'en SE suite à l'apport plus élevé de paille (figure 1).

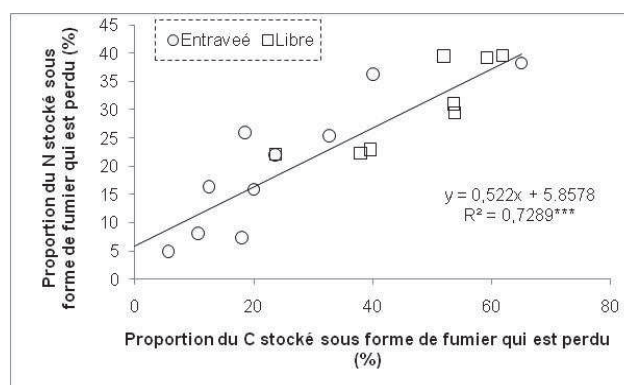
Figure 1 Rapports moyens des éléments (cendres (Ct), C, N, K et P) dans le système sur les éléments ingérés : en entrée, en sortie d'étable et en fin de stockage des engrais de ferme solides. Les sigles ns, *, ** et *** indiquent que les moyennes de ces rapport pour les stabulations libres et entravée sont respectivement non significativement, significativement ($p < 0.05$), hautement significativement ($p < 0.01$) et très hautement significativement ($p < 0.001$) différentes (t-test)).



En sortie d'étable, pour le carbone et l'azote, la différence entre SL et SE s'est accentuée avec 53% et 14% en plus de C et de N qui sont sortis de SL par kg de C entré via l'ingestion. Pour les autres éléments, le différentiel observé en entrée était en légère baisse (cendres +18%, K : +10%, P : +4%). Après le stockage des engrais de ferme la différence entre les systèmes n'était plus significative pour le C (+8%), le N (-2%), le K (+8%) et P (+6%) mais bien pour les Ct (+18% ; $p < 0.05$). Sans distinction significative entre les systèmes, pour 1000 g de C et de N qui sont entrés via l'ingestion ce sont 376 ± 20 g de C et 837 ± 19 g de N qui sont retrouvés dans les produits, répartis entre gains des animaux, purins et fumiers (figure 3). Les pertes observées en C et N étaient plus importantes en SL qu'en SE. L'équivalent de 1020 ± 39 g/kg de C entré via l'ingestion ont été perdus ($72 \pm 3\%$ input) en SL pour seulement ($p < 0.001$) 696 ± 25 g C/ kg C ingéré en SE ($63 \pm 2\%$ input). Pour l'azote c'est l'équivalent de 291 ± 20 g N/ kg N ingéré qui a été perdu en SL, soit $26 \pm 1\%$ des inputs, ce qui était significativement supérieur ($p = 0.005$) à ce qui a été perdu en SE (175 ± 31 g N/kg N ingéré en SE ou $13 \pm 3\%$ des inputs).

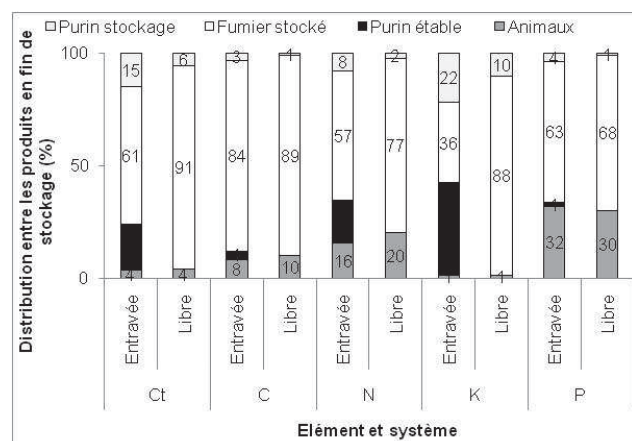
Quel que soit le système, on a constaté que la majorité (93%) des pertes en azote ont eu lieu **durant le stockage** alors que pour le C seulement 15% a été perdu durant le stockage en SE pour 31% en SL. En moyenne, ce sont 22 ± 6 et 48 ± 5 % du C et 20 ± 3 et 31 ± 3 % du N stocké dans les engrais de ferme solide respectivement de SE et SL qui ont été perdus durant le stockage. Les pertes sont élevées et supérieures en SL malgré une durée de stockage en moyenne inférieure par rapport à SE ($p < 0.05$, tableau 1).

Figure 2 Relation entre les proportions de C et de N stockés qui sont perdues durant le stockage des engrais de ferme en fonction du type de stabulation.



Il est à noter que pour chacun de ces systèmes, la proportion de C et de N perdu peut être fort variable et que les pertes en ces deux éléments sont corrélées ($p < 0.01$, figure 2). Ces pertes sont notamment liées à la disponibilité en oxygène dans les tas de fumiers qui influence la dégradation de la matière organique (Shah et al., 2010). Les bilans en K, P et Ct indiquent qu'il y a eu une perte significative ($p < 0.001$) et importante (14 ± 3 %, SE et SL confondus) de K et des gains significatifs mais faibles de cendres (5 ± 2 %) et de phosphore (5 ± 2 %).

Figure 3 Répartition des cendres totales (Ct), du C, du N, du K et du P entre les différents postes en fin de stockage.



3. DISCUSSION

Tout d'abord, il est à noter que la comparaison des deux systèmes porte sur les postes étable et stockage des engrais de ferme. Le volet valorisation des engrais de ferme et les pertes associées (ex : NH₃ durant l'épandage) n'ont pas été considérés, ce qui aurait été utile pour la comparaison totale des deux systèmes.

Cependant, au niveau des postes étudiés, considérant une ingestion équivalente, on constate que les quantités entrant dans le système sont plus élevées en SL qu'en SE, surtout pour le C, suite à un apport plus important de paille. Cette différence se maintient clairement en sortie de système pour les cendres et de façon moins marquée pour le P et le K.

En ce qui concerne le N, la différence a disparu, ce qui indique des pertes plus importantes en SL qu'en SE tout comme pour le C. Ces pertes en C et N peuvent induire un impact environnemental plus important des SL par rapport aux SE, en fonction des formes (N₂O, NH₃, N₂ pour le N et CH₄ ou CO₂ pour le C) sous lesquelles ces deux éléments sont perdus.

Des mesures d'émissions gazeuses dans les différents systèmes ont été réalisées (Mathot et al., 2011). Elles confirment l'impact plus important sur les émissions de gaz à effet de serre des SL suite à d'importantes émissions de CH₄ et de N₂O durant le stockage des fumiers. Pour les bilans en carbone, il apparaît que malgré des flux entrants plus importants en SL, les quantités retrouvées en sortie dans les produits sont similaires en SL et SE, indiquant qu'il n'y a pas d'enrichissement en carbone en sortie du système SL comparés à SE.

Cependant, considérant que des éléments comme le P, le K et les cendres ne sont pas perdus par voie gazeuse, pour ces éléments, les différentiels entre systèmes créés en entrée devraient être observés en sortie d'étable et après le stockage. Ces différentiels sont conservés mais de façon non significative pour le K et le P. Ces observations illustrent la difficulté de réaliser des bilans en éléments en systèmes d'élevage et incitent à la prudence en ce qui concerne les bilans en C et N. Afin de prendre en compte ces observations, on peut envisager de corriger les bilans en C et N en fonction des soldes des bilans en ces différents éléments non volatils. On est alors confronté au fait que, d'une part, il y a des pertes pour certains éléments (K) et des gains (Ct et P) pour d'autres et, d'autre part, que toute correction est délicate étant donné que la source potentielle d'erreur n'est pas connue et que la distribution entre les différents postes varie en fonction des éléments (figure 3). Par ailleurs, ce type de correction repose sur l'hypothèse qu'il y a eu des pertes ou des gains en masse alors que les biais constatés peuvent être dus à un défaut de représentativité des échantillons prélevés ou une interaction type de produit/méthode d'analyse. Par exemple, pour le K, en SL,

étant donné les faibles quantités retrouvées dans les animaux (1.3%) et le purin récolté (10%) en sortie de système, il est peu probable que la source d'erreur (équivalent au total à 25%, figure 1) provienne uniquement de ces postes. Il est également possible que l'on sous-estime la teneur en K dans les fumiers suite à l'échantillonnage de ces produits qui présentent un gradient vertical marqué de la teneur en K et de densités. Ce problème de gradient peut également se rencontrer pour l'azote dont certaines formes sont également lessivables dans le fumier. Le P par contre est moins mobile.

Finalement, une part de l'incertitude est également liée à l'utilisation de facteurs issus de la littérature pour les exportations via le gain des animaux. L'utilisation de facteurs non adaptés peut introduire des biais systématiques dans les bilans.

CONCLUSION

Les résultats suggèrent que les pertes en C et N sont supérieures en stabulation libre par rapport aux stabulations entravées et cela principalement suite aux pertes plus importantes en ces éléments lors du stockage des engrais de ferme. Cette différence de perte doit cependant être considérée avec prudence étant donnée la difficulté de boucler les bilans en P et K. La publication des bilans de ces éléments minéraux n'est pas fréquente dans ce type d'étude.

Elle permet toutefois de mettre en perspective les résultats observés surtout pour l'azote. Il est souhaitable de voir ce type d'approche systématiquement lors de la réalisation des bilans en N dans les systèmes de façon à pouvoir en discuter la précision. Finalement, il faut prendre en compte que les pertes plus importantes en C et N en SL n'induisent pas nécessairement un impact supérieur sur l'environnement. En effet, pour pouvoir statuer sur ce point, il est nécessaire de connaître les formes sous lesquelles les deux éléments sont perdus et leurs conséquences (CO₂ ou CH₄; N₂, N₂O ou NH₃).

Par ailleurs, des techniques telles que le compostage des fumiers, un épandage précoce ou un paillage plus ou moins important doivent être envisagées afin d'atténuer les impacts environnementaux.

Merci au SPW (DGOARNE) pour son soutien financier

Clark, J. H., Olson, K. C., Schmidt, T. B., Linville, M. L., Alkire, D. O., Meyer, D. L., Rentfrow, G. K., Carr, C. C., Berg, E. P., 2007. *J Anim Sci.* 105 (12), 3383-3390.

De Campeneere, S., Fiems, L.O., De Paepe, M., Vanacker, J.S., Boucqué, C. V., 2001. *Anim. Res.* 50, 43-55.

Haas, G., Caspari, B., Köpke, U., 2002. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 64, 225-230.

Mathot, M., Lambert, R., Decruyenaere, V., Stilmant, D., 2011. UCL, Louvain la neuve, pp 111.

Meschy, F., Guéguen, L., 1995. INRA, Paris, pp. 721-758.

Shah, G.M., Shah G.A., et al., Lantinga E.A., 2010. Ramiran, Lisbon, 2010