

Emissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote, de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau lors d'élevage de porcelets sevrés sur litière accumulée de paille et de sciure

Baudouin NICKS, Martine LAITAT, Alain DESIRON, Marc VANDENHEEDE, Bernard CANART

*Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire
Boulevard de Colonster, B43, 4000 Liège, Belgique*

Emissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote, de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau lors d'élevage de porcelets sevrés sur litière accumulée de paille et de sciure

Cinq lots successifs de 40 porcelets sevrés ont été élevés sur une litière accumulée de sciure ou de paille. La même quantité de matière sèche de litière a été utilisée dans les 2 cas, soit 5 kg/porcelet.

Les concentrations en gaz ont été mesurées à 6 reprises, à environ 1 mois d'intervalle, durant 6 jours consécutifs, à raison d'un relevé toutes les demi-heures et les débits de ventilation ont été enregistrés en continu.

L'élevage sur litière de sciure s'est différencié de celui sur paille par une émission de près de 4 fois moins d'ammoniac (0,33 vs 1,29 g/porc par jour), 2 fois moins de méthane (0,87 vs 1,79 g/porc par jour) et 3,5 fois plus de N₂O (1,70 vs 0,47 g/porc par jour). Les émissions de CO₂ (458 et 465 g/porc par jour) et d'H₂O (1088 vs 913 g/porc par jour) n'ont pas été significativement différentes. Le bilan azoté a permis de déterminer qu'environ 66% de l'azote excrété par les porcs s'est retrouvé sous forme gazeuse et, pour les 2 litières, à raison de 79% sous forme de N₂.

Ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapour emissions when weaned pigs are kept either on a sawdust or on a straw deep litter.

Five batches of 40 weaned pigs were reared successively on a sawdust or on a straw deep litter. The same amount of litter dry matter, i.e. 5 kg/pig, was used in the 2 cases. The gases concentrations were measured 6 times, at about 1 month interval during 6 consecutive days with one measurement every 30 minutes. The ventilation rates were continuously recorded.

Rearing pigs on the sawdust deep litter produced 4 times less ammonia than rearing pigs on straw deep litter (0.33 vs 1.29 g/pig per day), 2 times less methane (0.87 vs 1.79 g/pig per day) and 3.5 times more nitrous oxide (1.70 vs 0.47 g/pig per day). Carbon dioxide emissions (458 vs 465 g/pig per day) and water vapour emissions (1088 vs 913 g/pig per day) were not significantly different. According to the N balance, 66% of the N in pigs' manure were lost by gas emissions. N₂ contributed for 79% of the total gas N emissions.

INTRODUCTION

La récolte des déjections sous forme de fumier présente divers avantages environnementaux, comparativement au lisier, tels que : une réduction du poids d'effluents récoltés (NICKS et al., 1995, 1998, 1999), une diminution de la charge azotée de l'effluent par porc produit (LESGUILLIER et al, 1995 ; NICKS et al, 1995, 2000) et une moindre nuisance olfactive (BONAZZI et NAVAROTTO, 1992 ; HESSE, 1992 ; KAUFMANN, 1997). La réduction pondérale, qui peut atteindre 80% pour les litières accumulées de sciure, provient de l'évaporation de la quasi totalité de l'eau des déjections suite à l'échauffement de la litière dont la température est normalement comprise entre 30 et 40°C (NICKS et al, 1999, 2000). Quant à la diminution de la charge azotée de l'effluent, elle s'explique par la mise en place au sein de la litière de réactions d'ammonisation, de nitrification et de dénitrification avec émission d'azote atmosphérique (N_2), d'ammoniac (NH_3) et de protoxyde d'azote (N_2O) (KAISER et VAN DEN WEGHE, 1997 ; KERMARREC, 1999).

L'atmosphère étant composée à 79% de N_2 , l'émission de ce gaz n'a aucune influence négative sur l'environnement. Il n'en va pas de même pour le NH_3 et le N_2O , le premier contribuant à la formation de radicaux acides (GUINGAND, 1996), et le second faisant partie des gaz dits à effet de serre avec un potentiel de réchauffement 310 fois plus élevé que celui du CO_2 (BILLIARD, 1998). La quantification des émissions de ces trois gaz à partir des litières accumulées est de première importance pour l'évaluation des incidences de leur utilisation sur l'environnement.

La transformation de la matière organique des litières s'accompagne également de perte de carbone sous forme de gaz carbonique (CO_2), de méthane (CH_4) et d'autres gaz organiques. Le rôle joué par l'augmentation progressive de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère sur l'effet de serre est actuellement bien établi mais ce sont essentiellement les activités industrielles et de transport qui sont responsables de cette évolution.

Le CH_4 contribue aussi à l'effet de serre, son potentiel de réchauffement étant équivalent à 21 fois celui du CO_2 (BILLIARD, 1998). Les émissions liées aux activités agricoles proviennent principalement de l'élevage des ruminants qui en libèrent d'importantes quantités par éructation. Lors du stockage des déjections, la production de CH_4 est favorisée par des conditions d'anaérobiose et des températures comprises entre 20 et 45°C (LAGRANGE, 1979).

Le caractère aéré d'une litière va dépendre de la nature du substrat et de la façon dont elle est entretenue en présence d'animaux. A ce propos, une différence nette doit être faite entre celles à base de sciure qui peuvent faire l'objet d'une aération régulière (hebdomadaire) avec étalement et enfouissement des déjections sur toute la superficie occupée par les porcs (LO, 1992 ; KAUFMANN, 1997) et celles à base de paille pour lesquelles un tel travail n'est pas envisageable car le fumier est trop compacté (MARLIER et al, 1994).

Peu de données sont actuellement disponibles sur les émissions gazeuses à partir des litières accumulées utilisées en production porcine, la plupart des résultats se référant aux émissions d'ammoniac à partir des porcheries à caillebotis avec récolte des déjections sous forme de lisier (GUILLOU et al, 1993 ; NI et al, 1996 ; GUINGAND et GRANIER, 2001). Le but de cette étude était de quantifier et de comparer les émissions des litières accumulées à base de paille et de sciure.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

1.1. Description des locaux

Deux locaux identiques de 30 m² de superficie et 103 m³ de volume ont été aménagés pour héberger 40 porcelets sur une litière accumulée de sciure dans l'un et sur une litière accumulée de paille dans l'autre. La superficie accessible aux porcelets était de 21,6 m², soit 0,54 m²/animal. Chaque local était ventilé à l'aide d'un ventilateur extracteur dont le débit était automatiquement adapté à la température ambiante. L'air frais entrant par une ouverture de 0,34 m² qui communiquait avec un couloir de service du bâtiment ; l'air extérieur était ainsi réchauffé avant de pénétrer dans les locaux expérimentaux.

Les températures de l'air des 2 locaux et du couloir étaient mesurées automatiquement à raison d'une fois par heure. Le débit de ventilation était mesuré en continu par un dispositif Exavent de la firme Fancom et les moyennes horaires étaient enregistrées.

1.2. Animaux et alimentation

Dans chaque local, cinq lots successifs de 40 porcelets ont été élevés sur la même litière, sans curage entre les lots. Tous les porcelets provenaient d'un même élevage et étaient répartis dans les locaux en 2 groupes homogènes pour le sexe et le poids. A leur arrivée, ils recevaient un aliment de transition (baby starter) qui, après 5 à 10 jours, était progressivement remplacé par l'aliment de post-sevrage (starter). Les teneurs en protéines brutes, lysine et cellulose brute du baby starter étaient respectivement de 17,2%, 1,18% et 4,0% et celles du starter de 18,1%, 1,24% et 4,4%. Les porcelets ont été pesés individuellement au début et à la fin de chaque lot. Les quantités d'aliments ingérées et les consommations d'eau ont été déterminées par lot.

1.3. Caractéristiques des litières

Avant l'arrivée des premiers animaux, une couche d'une trentaine de centimètres de litière a été installée dans chaque loge. Les quantités utilisées ont été respectivement de 2440 kg de sciure de résineux à 41% de matière sèche (MS) et 402 kg de paille de froment à 88% de MS. La sciure était composée majoritairement de particules de diamètre compris entre 0,2 et 2,0 mm, qui représentaient 80% du poids. En fonction de l'état de propreté des porcs, des quantités supplémentaires de paille ont été régulièrement apportées, ce qui ne fut pas nécessaire avec la litière à base de sciure. La quantité de paille utilisée est passée progressivement de 10 à 28,7 kg/place. Globalement, il a donc fallu 5,74 kg de paille

par porc élevé ou 5 kg de MS de paille, valeur équivalente à la quantité de MS de sciure utilisée par porc dans l'autre local.

Environ tous les 10 jours, les déjections des porcs élevés sur sciure étaient dispersées sur toute la surface de la loge et enfouies manuellement, ce travail n'étant pas effectué avec la litière de paille. D'autre part, afin d'éviter une trop forte concentration en poussières dans l'air, il s'est avéré nécessaire de mouiller régulièrement la litière de sciure. La quantité d'eau ajoutée a été de 0,4 l/porc par semaine.

Dans chaque loge, la température de la litière a été mesurée à 20 cm de profondeur, 2 fois/semaine, à 4 endroits. A la fin de l'expérience, les litières ont été pesées et analysées.

1.4. Mesures des émissions de gaz

Les concentrations en gaz de l'air des deux locaux expérimentaux et du couloir d'apport d'air frais ont été mesurées à l'aide d'un appareil de marque Innova Air Tech Instruments (1312 Photoacoustic Multi-gaz Monitor) équipé pour les mesures de NH₃, N₂O, CH₄, CO₂ et H₂O. L'air des locaux expérimentaux était prélevé en amont du ventilateur extracteur et celui du couloir à 1 m de l'entrée d'air.

Des problèmes techniques rencontrés en début d'expérimentation ne nous ont pas permis de recueillir des données lors du séjour du premier lot de porcs. Par la suite, les concentrations ont été mesurées à 6 reprises à environ 1 mois d'intervalle et durant 6 jours consécutifs par série. La première série de mesures a débuté en milieu de séjour du deuxième lot, les cinq autres respectivement en début et fin de séjour du troisième lot, milieu de séjour du quatrième lot et début et fin de séjour du cinquième lot.

L'appareil en fonctionnement était programmé pour effectuer un cycle de 3 mesures par demi-heure, à raison d'une toutes les 10 minutes, l'air étant prélevé successivement dans le local avec la litière de paille, le local avec la litière de sciure et le couloir.

Les émissions ont été calculées sur base horaire en prenant comme concentration horaire la moyenne des 2 mesures effectuées dans l'heure à chaque endroit. Les émissions ont été exprimées en mg/h en utilisant la relation suivante :

$$E = D \times (C_i - C_e)$$

avec D, le débit massique horaire (kg air/h) ; C_i et C_e les concentrations du gaz dans l'air du local et du couloir (mg/kg d'air sec).

2. RÉSULTATS

2.1. Caractéristiques climatiques des locaux

Les températures moyennes de l'air ont été respectivement de 23,7°C dans le local avec litière de paille (Lp), de 23,0°C dans le local avec la litière de sciure (Ls) et de 18,9°C dans le couloir d'apport d'air frais. De par la disposition des 2 locaux dans le bâtiment, les déperditions thermiques par les murs étaient plus élevées pour Ls comparé à Lp. C'est la raison pour laquelle, le débit de ventilation, contrôlé par thermostat, fut systématiquement un peu moins élevé dans Ls que dans Lp, avec des moyennes de 537 ± 120 et 587 ± 118 m³/h respectivement (écart-type entre lots).

2.2. Performances des animaux

Le tableau 1 présente les performances des animaux. Les pertes se sont élevées à 2,5% ; d'origine accidentelle, elles ont été réparties de façon homogène entre les lots. Le gain moyen quotidien a été de 399 g, l'indice de consommation de 1,79 et la quantité d'eau bue de 2,56 l/kg d'aliment, sans différence significative entre les porcelets élevés sur paille ou sur sciure.

Tableau 1 - Performances zootechniques et consommation d'eau * (moyenne et écart-type entre lots)

Nombre de porcs	400
Poids initial (kg)	7,62 ± 0,30
Poids final (kg)	24,72 ± 2,45
Pertes (%)	2,5 ± 0,9
GMQ (g)	399,4 ± 32,9
Indice de consommation	1,79 ± 0,04
eau bue (l) par jour	1,82 ± 0,22
par kg d'aliment ingéré	2,56 ± 0,21

* : 5 lots successifs de 80 porcelets/lot, 40 élevés sur sciure et 40 sur paille

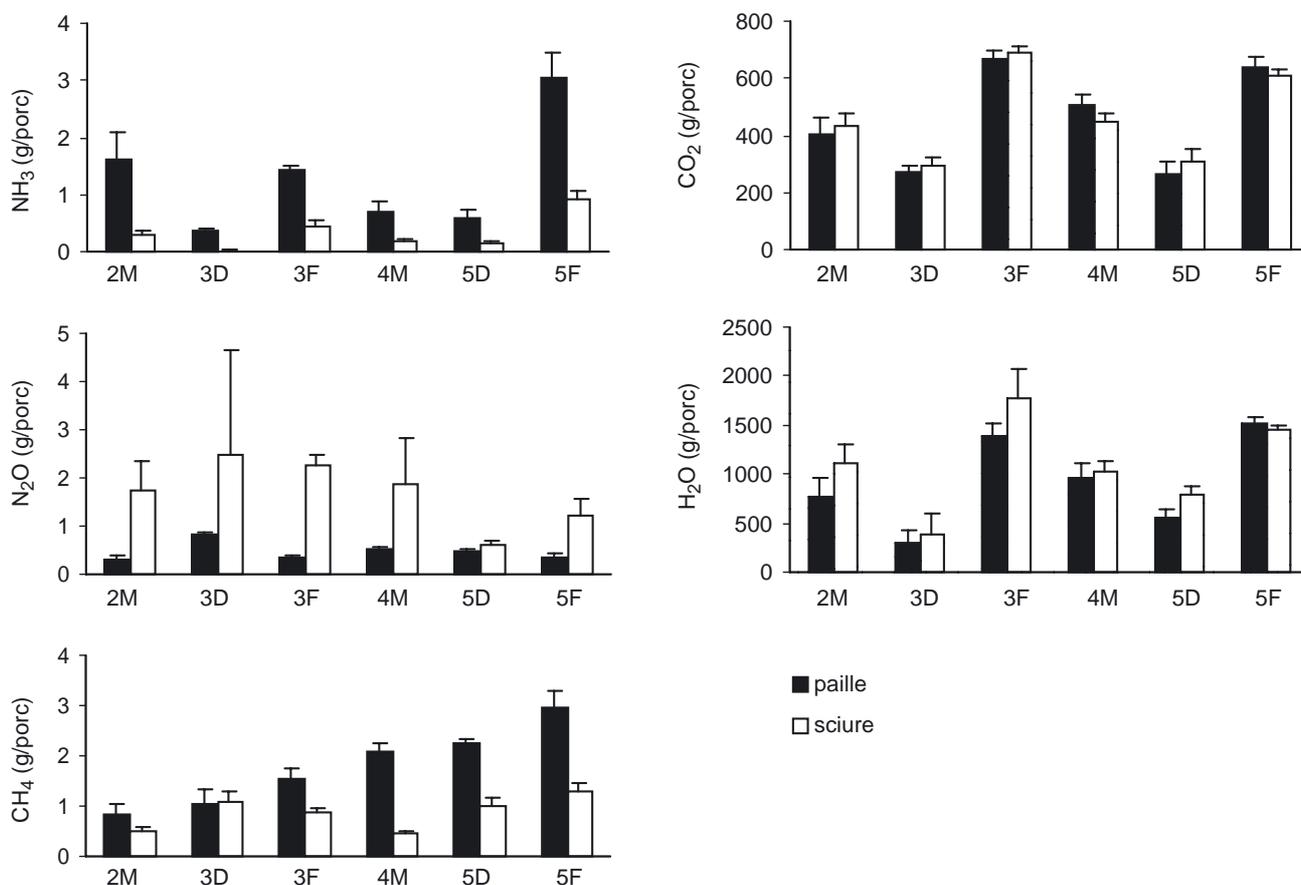
Tableau 2 - Composition des litières en fin d'essai

	MS (%)	N (g/kg)	NH ₄ ⁺ (g/kg)	C (g/kg)	pH
Paille	31,5	12,4	1,77	87	8,1
Sciure	37,5	9,4	0,24	91	8,4

Tableau 3 - Concentrations moyennes en gaz dans les 2 locaux (moyenne et écart-type entre les 6 séries de mesures)

	NH ₃ (ppm)	N ₂ O (ppm)	CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	H ₂ O (g/m ³)
Paille	7,8 ± 4,4	1,5 ± 1,3	12,7 ± 4,9	1264 ± 290	13,9 ± 1,8
Sciure	3,7 ± 2,0	4,3 ± 3,5	8,5 ± 5,2	1333 ± 302	14,6 ± 1,7

Figure 1 - Emissions gazeuses (g/porc jour) lors des 6 séries de mesures * dans les locaux avec litière de paille et de sciure.



* : les chiffres 2 à 5 indiquent les numéros de lot et les lettres D, M et F le moment de la mesure lors du séjour des porcs (D : début ; M : milieu ; F : fin)

2.3. Caractéristiques des litières

Les mêmes quantités de litière ont été retirées des 2 locaux, soit 3380 kg ou 16,9 kg par porc, à 31,5% de MS pour celle à base de paille et 37,5% pour celle à base de sciure (tableau 2). La litière de paille contenait plus d'azote que celle de sciure (+30%) et une plus grande proportion d'N ammoniacal (14,3 vs 2,5%). La température moyenne des litières s'est élevée à 36,0°C avec la paille et 34,4°C avec la sciure. La valeur de 30°C a été atteinte dans les deux cas 4 semaines après l'arrivée du premier lot de porcs.

2.4. Mesure des concentrations et des émissions de gaz

Les concentrations moyennes en gaz dans les 2 locaux sont présentées au tableau 3. Les concentrations en NH₃ et en CH₄ ont été inférieures dans le local avec la litière de sciure comparativement au local paillé, l'inverse étant observé avec le N₂O, l'H₂O et le CO₂. Aucune des différences n'est cependant significative.

Les émissions relevées lors de chaque série de mesures sont présentées à la figure 1 et le tableau 4 fournit les valeurs moyennes exprimées par porcelet et par jour. L'élevage sur

sciure s'est différencié de celui sur paille par une émission de près de 4 fois moins d'NH₃ (P < 0,05), 2 fois moins de CH₄ (P < 0,05) et 3,5 fois plus de N₂O (P < 0,01). Les émissions de CO₂, d'H₂O et celles cumulées d'N sous forme de NH₃ et de N₂O n'ont pas été statistiquement différentes en fonction du local d'origine. Le tableau 5 présente le bilan azoté qui tient compte de l'N apporté par les aliments et la litière, de l'N fixé par les porcs, calculé sur base de 46% de l'azote ingéré (GUILLOU et al, 1993) et en établissant par défaut les émissions de N₂. Environ 66% de l'N alimentaire non retenu s'est retrouvé sous forme gazeuse et, quelle que soit la litière, à raison de 79% sous forme de N₂.

Tableau 4 - Emissions (par porc et par jour) des gaz à partir des 2 litières accumulées à base de paille et de sciure (moyenne et écart-type entre les 6 séries de mesures)

	paille	sciure
NH ₃ (mg)	1290 ± 997	330 ± 329
N ₂ O (mg)	472 ± 185	1702 ± 691
CH ₄ (mg)	1793 ± 792	873 ± 330
CO ₂ (g)	458 ± 178	465 ± 160
H ₂ O (g)	913 ± 473	1088 ± 485

Tableau 5 - Bilan azoté de l'élevage de 5 lots de porcelets sur litière accumulée de paille et de sciure (g d'N par porc)

	Apport		Azote retenu	Azote rejeté			
	litière	aliment		Azote litière	Azote gaz		
					N-NH ₃	N-N ₂ O	N-N ₂
Paille	40	850	391	210	47	15	227
Sciure	7	850	391	160	12	52	242

L'analyse de l'évolution journalière de la concentration en N₂O a montré que l'arrosage de la litière de sciure s'accompagnait d'une augmentation très rapide et importante, de 300 à 800%, de celle-ci qui redescendait progressivement à son niveau initial après 1 à 2 jours. Si on exclut du calcul de l'émission moyenne les 2 jours suivant l'arrosage, le niveau passe de 1,7 à 1,3 g/porc par jour. Le mouillage de la litière n'a pas influencé les concentrations des autres gaz.

Dans le local paillé, l'apport de paille fraîche entraînait une diminution rapide et de l'ordre de 50% de la concentration en NH₃, celle-ci revenant à son niveau initial après 12 - 24 h.

3. DISCUSSION

Le poids de « fumier » récolté en fin d'expérience, soit 16,9 kg/porc et la quantité d'N contenu dans l'effluent, 185 g d'N/porc en moyenne pour les 2 litières, confirment des résultats antérieurs annonçant une réduction allant jusqu'à 80% de la masse d'effluent produit et de 50 à 60% de la charge azotée comparativement à la récolte des déjections sous forme de lisier (NICKS et al, 1999, 2000). Les valeurs de références prises pour cette comparaison sont de 80 l de lisier et 440 g d'N de lisier par porcelet (TEXIER, 1997).

L'émission d'NH₃ dans des porcheries à caillebotis est estimée à 23% de l'azote excrété (GUILLOU et al, 1993). On aurait donc dû s'attendre, si les porcelets élevés sur litière l'avaient été sur caillebotis, à une production de 128 g/porc. Or, elle n'a été que de 14 g/porc à partir de la litière de sciure et de 55 g à partir de la litière de paille. Avec des porcs charcutiers, HOY et al (1992, 1994) et KERMARREC (1999) ont relevé une réduction de 35 et 50% des émissions d'NH₃ lors d'élevage sur litière de sciure comparativement à celui sur caillebotis. Nos données montrent que cette réduction peut encore être plus importante mais il ne faudrait pas généraliser à des élevages pour porcs charcutiers les résultats obtenus avec des porcelets en post-sevrage.

La quantité d'N perdue par les litières sous forme gazeuse a été de 289 g/porc avec la paille et de 306 g avec la sciure. Dans les 2 cas, 79% de l'N a été émis sous forme de N₂. Les 21% restant se sont répartis en 16% d'N-NH₃ et 5% d'N-N₂O avec la litière de paille et 4% d'N-NH₃ et 17% d'N-N₂O avec la litière de sciure. C'est vraisemblablement l'état d'aération plus poussé de la litière de sciure comparativement à la paille qui explique cette différence. En effet, KERMARREC (1999) a relevé que l'aération de la litière de sciure stimule fortement le dégagement de N₂O. Les émissions de N₂O à partir des lisiers n'ont fait qu'ex-

ceptionnellement l'objet de mesures et sont souvent considérées comme négligeables. KERMARREC (1999) cite cependant, pour des porcs charcutiers, une production de 0,73 g/jour. Cette valeur suggère que l'émission de N₂O dans le local occupé par les porcelets sur sciure, soit 1,7 g/jour, est supérieure à ce qui aurait été obtenu avec les porcelets sur caillebotis. Il faudrait par contre disposer de données plus précises pour déterminer s'il pourrait en être de même avec une litière de paille dont l'émission est limitée à 0,472 g/jour. L'augmentation des émissions de N₂O après mouillage de la litière, telle qu'elle fut observée lors de cet essai, a également été mise en évidence par KERMARREC (1999) qui émet l'hypothèse que l'apport d'eau stimule l'activité nitrifiante.

Les émissions de CH₄ par les porcs sont en relation directe avec la quantité de carbone ingéré dont 0,25% sont éliminés sous cette forme (TEXIER, 1997). Sur base d'une teneur moyenne en carbone de 40% dans les aliments pour porcs (TEXIER, 1997) et d'une consommation par porcelet de 715 g/jour, on pourrait s'attendre à une émission de 0,953 g/jour. La comparaison de cette valeur à celle obtenue dans le local avec la litière de sciure, soit 0,873 g/jour, laisse supposer que, dans ce cas, le gaz devait provenir essentiellement du tractus digestif des animaux. En revanche, la comparaison avec la valeur du local paillé, soit 1,79 g/jour, suggère que cette litière produit du CH₄ en quantité à peu près équivalente à celle des gaz intestinaux. L'émission de CH₄ dans le local paillé a, par ailleurs, augmenté régulièrement avec le temps, c'est à dire avec le vieillissement de la litière, ce qui n'a pas été observé avec les autres gaz. En effet, les émissions de CO₂, d'H₂O et, dans une moindre mesure d'NH₃ sont apparues beaucoup plus liées à la charge animale qu'à l'âge de la litière, celles de N₂O ayant un caractère plus aléatoire.

Les émissions de CO₂ en début, milieu et fin de séjour d'un lot de porcs ont été respectivement, en moyenne pour les 2 litières, de 285, 451 et 653 g/porc ; celles de H₂O de 506, 961 et 1533 g/porc. La production de CO₂ par les animaux est liée à leur production de chaleur par la relation 16 l/h par 100 W (C.I.G.R., 1984). Pour des porcelets de 8,15 et 25 kg, on obtient respectivement 366, 562 et 783 g de CO₂ par jour. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles relevées lors de cet essai ce qui laisse supposer que l'activité respiratoire des animaux est la principale source de CO₂ dans les locaux.

La production de vapeur d'eau par les animaux dépend à la fois de leur poids et de la température ambiante. Les produc-

tions minimales aux poids de 8, 15 et 25 kg peuvent être estimées respectivement à 110, 177 et 269 g/jour, les valeurs maximales étant environ 4 fois plus élevées (BAXTER, 1984). Les résultats de cette étude ne permettent pas de différencier les apports d'eau par les animaux et par la litière mais le poids d'effluent récolté montre que la presque totalité de l'eau des déjections est vaporisée ce qui n'est pas le cas lorsque les déjections sont récoltées sous forme de lisier.

CONCLUSION

L'évaluation des incidences sur l'environnement des systèmes d'élevage est particulièrement complexe car, aucun n'étant parfait, des aspects positifs d'un système par rapport

à un autre, s'accompagnent inévitablement d'aspects négatifs et il est bien difficile d'établir des pondérations objectives. En faveur de l'élevage de porcelets sur litière par rapport à celui sur caillebotis, on retiendra les moindres quantités d'effluents produits et une réduction des émissions d' NH_3 de l'ordre de 50% avec une litière de paille et plus encore avec de la sciure ; en sa défaveur, on citera un accroissement des émissions de gaz à effet de serre, plus particulièrement de N_2O avec les litières de sciure et de CH_4 avec les litières de paille.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été subventionnée par la Région Wallonne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAXTER S., 1984. Intensive pig production – environmental management and design. Granada publishing, 588 p.
- BILLIARD F., 1998. Bulletin du Conseil Général du C.R.E.F., 52, 47-52.
- BONAZZI G., NAVAROTTO P.L., 1992, In : Proceedings workshop deep litter systems for pig farming. Ed. VOERMANS J.A.M., 57-76.
- C.I.G.R., 1984. Report of working group on climatization of animal houses, 72 p.
- GUILLOU D., DOORMAD J.Y., NOBLET J., 1993. Journées Rech. Porcine en France, 25, 307-314.
- GUINGAND N., 1996. L'ammoniac en porcherie. I.T.P., éd. Paris, 35 p.
- GUINGAND N., GRANIER R., 2001. Journées Rech. Porcine en France, 33, 31-36.
- HESSE D., 1992. In : Proceedings workshop deep litter systems for pig farming. Ed. VOERMANS J.A.M., 77-92.
- HOY St., WILLIG R., BUCHHOLZ I., 1992, In : Proceedings workshop deep litter systems for pig farming. Ed. VOERMANS J.A.M., 37-50.
- HOY St., MULLER K., WILLIG R., 1994. In : Proceedings of the 8th International Congress on Animal Hygiene. St Paul, Minnesota USA, AH-62-65.
- KAISER S., VAN DEN WEGHE H., 1997. Proceedings of the International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities, Vinkeloord, The Netherlands, October 6-10, pp. 667-675.
- KAUFMANN F., 1997. Journées Rech. Porcine en France, 29, 311-318.
- KERMARREC C., 1999, PhD Thesis, Université de Rennes 1, 185 p.
- LAGRANGE B., 1979. Biométhane. Principes – techniques – utilisations. Edisud, 246 p.
- LESGUILLIER F., GOUIN R., GUIZIOU F., ORBAIN B., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 343-350.
- LO Y.Y., 1992. In : Proceedings workshop deep litter systems for pig farming. Ed. VOERMANS J.A.M., 11-25.
- MARLIER D., NICKS B., CANART B., SHEHI R., 1994. Ann. Méd. Vét., 158, 43-53.
- NI J., HENDRIKS J., BERCKMANS D., VINCKIER C., 1996. In : Proceedings of the ASAE Annual International Meeting. ASAE Meeting Presentation, Paper n° 964094.
- NICKS B., DESIRON A., CANART B., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 337-342.
- NICKS B., DESIRON A., CANART B., 1998. Ann. Zootech., 47, 107-116.
- NICKS B., LAITAT M., DESIRON A., VANDENHEEDE M., CANART B., 1999. Journées Rech. Porcine en France, 31, 105-109.
- NICKS B., LAITAT M., VANDENHEEDE M., DESIRON A., CANART B., 2000. Ann. Zootech., 49, 119-128.
- TEXIER C., 1997. Elevage porcin et respect de l'environnement. I.T.P. éd. Paris, 110 p.