

Emissions d'ammoniac, de protoxyde d'azote, de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau lors d'élevage de porcs charcutiers sur litière accumulée de sciure : quantification et corrélations avec le niveau d'activité des animaux

DEL COURT M., VANDENHEEDE M., DESIRON A., LAITAT M., CANART B., NICKS B.

Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Bât. B43, 4000 Liège, Belgique
Service d'Hygiène et Bioclimatologie
Travail subventionné par la Région Wallonne

Correspondance :
Baudouin Nicks : baudouin.nicks@ulg.ac.be

RESUME : Au cours d'une période d'engraissement de quatre mois sur litière accumulée de sciure, les émissions de NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2 et H_2O ont été mesurées quatre fois à intervalle d'un mois, durant quatre jours consécutifs. Parallèlement à la mesure des émissions réalisée à partir d'un échantillonnage d'air toutes les demi-heures, un taux d'activité des porcs a été déterminé heure par heure sur base de la proportion d'animaux debout observés toutes les deux minutes.

Les émissions de gaz calculées par porc et par jour sur base de la moyenne arithmétique des 16 jours de mesures ont été de 9,5 g pour le NH_3 , 3,2 g pour le N_2O , 4,8 g pour le CH_4 , 1,3 kg pour le CO_2 et 3,3 kg pour la vapeur d'eau. Les émissions ont augmenté du début à la fin de l'engraissement de 50 % pour le CO_2 et l' H_2O , 680 % pour le CH_4 et 1000 % pour le NH_3 , tandis que celles de N_2O ont été plus élevées en début qu'en fin d'engraissement.

Le taux d'activité des animaux a suivi un rythme circadien ; ils ont été debout principalement durant la journée, avec des pics en matinée, en fin d'après-midi et en début de soirée. Le taux d'activité a diminué régulièrement du début à la fin de la période d'engraissement, passant de $22,6 \pm 4,1$ % à $8,8 \pm 0,5$ %.

Pour chaque période mensuelle d'observations, les émissions horaires de NH_3 , CO_2 et H_2O étaient corrélées positivement au taux d'activité avec des coefficients de corrélation moyens (moyenne des 4 périodes de mesures) de respectivement 0,61 pour le NH_3 , 0,71 pour le CO_2 et 0,75 pour la vapeur d'eau. Les corrélations avec les émissions de N_2O et de CH_4 n'ont pas été significatives en périodes 1 et 3, mais bien en périodes 2 et 4, avec des valeurs moyennes de $-0,55$ pour le N_2O et $+0,26$ pour le CH_4 .

INTRODUCTION

La technique d'élevage de porcs charcutiers sur litière accumulée de sciure a été initiée en Asie (Lo, 1992) et introduite en Europe au début des années 80. Par rapport à l'élevage des porcs sur caillebotis avec récolte des déjections sous forme de lisier, elle présente au plan environnemental plusieurs avantages liés à la récolte de déjections sous forme de compost. Le compostage s'accompagne en effet d'une épuration naturelle, par évaporation, de l'eau des déjections avec

pour conséquence une réduction de près de 70 % de la masse d'effluents produits (Nicks *et al.*, 1995). Les composts génèrent également moins de nuisance olfactive (Bonazzi et Navarotto, 1992 ; Shilton, 1994 ; Kaufmann, 1997) et contiennent 2 fois moins d'azote par porc engraisé que les lisiers (Nicks *et al.*, 1998). Cette réduction du contenu azoté est le résultat de déperditions gazeuses qui se font essentiellement sous forme d'azote atmosphérique (N_2), d'ammoniac (NH_3) et d'oxyde

nitreux (N_2O) (Kaiser et Van den Weghe, 1997, Kermarrec, 1999). Si la production de N_2 est dépourvue de tout inconvénient, il n'en va pas de même pour le NH_3 et le N_2O .

Le NH_3 est bien connu comme gaz toxique, irritant les muqueuses respiratoires dès que la concentration dépasse 15 ppm. De plus, il a été identifié comme un des gaz responsables de la formation de radicaux acides dans l'atmosphère, au même titre que le SO_2 et le NO_2 . Si ces deux derniers gaz sont essentiellement

issus des activités industrielles et du transport, le NH₃ provient à raison de 80 à 95 % des effluents d'élevage (Jehanno, 1990).

Le N₂O est un gaz dit "à effet de serre" dont le potentiel de réchauffement est 310 fois plus élevé que celui du CO₂ (Billard, 1998). Cependant, compte tenu des quantités émises, qui restent limitées, sa participation au réchauffement de l'atmosphère est limitée à 6%, celles du CO₂, du CH₄ et des fluorocarbures étant respectivement de 64, 19 et 10% (Billard, 1998). Les émissions de N₂O sont principalement liées au trafic (gaz d'échappement) mais aussi à l'élevage. En particulier lors de compostage de fumiers, un apport excédentaire d'oxygène dans la masse modifie le processus de nitrification avec libération de N₂O.

Les effluents d'élevage et les animaux sont également des sources de méthane et de gaz carbonique. Le CH₄ a un potentiel de réchauffement équivalent à 21 fois celui du CO₂ (Billard, 1998). Les sources de CH₄ sont diverses : marais, rizières, décharges, océans et élevages. Les ruminants libèrent directement d'importantes quantités de CH₄ par éructation, les monogastriques en produisent également mais nettement moins, en même temps que d'autres gaz intestinaux. La production de méthane à partir des effluents d'élevage résulte de la décomposition de la matière organique par des bactéries dites méthanogènes qui vivent en anaérobiose stricte. L'activité enzymatique de ces bactéries dépend étroitement de la température, en étant optimale entre 20 et 45 °C (Lagrange, 1979).

La réduction des émissions de CO₂ fait actuellement l'objet de discussions internationales. L'effort devrait venir principalement du secteur industriel. S'il est vrai que les animaux en produisent d'importantes quantités, le cycle d'utilisation de ce gaz par les végétaux et son émission par les animaux assurent un équilibre naturel.

Si des données sont actuellement disponibles à propos des émissions gazeuses en provenance des porcheries, elles se rapportent essentiellement à des bâtiments où les déjections sont récoltées sous forme de lisier. Le but de cette étude était d'effectuer des mesures lors d'élevage

sur litière accumulée de sciure et de quantifier l'influence du niveau d'activité des porcs sur les fluctuations journalières de ces émissions.

MATERIEL ET METHODES

Description du local expérimental

Une loge de 21,6 m² (3x7,2 m) a été aménagée pour l'hébergement de 18 porcs dans un local dont le volume était de 106 m³. La ventilation était assurée artificiellement à l'aide d'un ventilateur extracteur dont le débit s'adaptait automatiquement à la température ambiante. L'air frais pénétrait dans le local par une ouverture de 0,34 m² située dans le mur à l'opposé de celui où était installé le ventilateur. Cette ouverture débouchait sur un couloir d'accès aux divers locaux de la porcherie; l'air était ainsi préchauffé avant d'entrer dans le local expérimental.

Les températures et humidités relatives de l'air du couloir et du local expérimental étaient automatiquement mesurées et enregistrées à raison d'un relevé par heure. Les débits horaires de ventilation étaient mesurés par un dispositif Exavent de marque Fancom.

Réalisation et entretien de la litière

Une couche d'environ 30 centimètres de sciure provenant d'un mélange de bois blanc a été uniformément répartie dans la loge. Au total, 2720 kg à 35 % de matière sèche (MS) ont été utilisés, ce qui correspond à 53 kg de MS par emplacement. Un délai de 4 jours a été respecté entre la création de la litière et l'introduction des animaux. Les caractéristiques granulométriques de la sciure sont présentées au tableau I. Les porcs ayant tendance à déposer leurs déjections toujours au même endroit, celles-ci ont été dispersées sur l'ensemble de la surface environ tous les 10 jours jusqu'à un poids moyen des porcs de 50 kg puis toutes les semaines jusqu'à la fin de l'engraissement.

Tableau I: Importance pondérale de différentes classes de taille des particules de sciure (poids en % du total)

Classe de taille (mm)				
≤ 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	> 4
45,7	36,2	14,9	2,6	0,6

La température de la litière a été mesurée 2 fois/semaine à 20 cm de profondeur et à 4 endroits.

Animaux et alimentation

Les 18 porcs, 9 mâles et 9 femelles, disposaient d'une superficie moyenne de 1,2 m²/animal. Leur poids moyen en début d'engraissement était de 18 ± 2,3 kg. Ils ont tous été abattus 127 jours après leur arrivée et pesés vivants à l'abattoir.

Les porcs ont été nourris ad libitum durant toute la durée de l'engraissement avec des farines du commerce, soit un aliment de transition à 18,6% de protéines brutes (PB) et 1,05 % de lysine, distribué à raison de 44 kg/porc et ensuite un aliment d'engraissement à 16,5 % de PB et 0,95 % de lysine consommé à raison de 256 kg/porc. La consommation moyenne d'azote (N) par porc a été de 8,1 kg ou 63 g/j.

L'équipement d'alimentation était composé de 2 nourrisseurs monoplace, avec tétine d'abreuvement au-dessus de la mangeoire. Des compteurs ont permis de déterminer les consommations d'eau dans la loge. L'indice de consommation a été calculé pour l'ensemble du lot.

Mesures des émissions de gaz

Les concentrations en gaz de l'air du local expérimental et du couloir 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. Quatre séries de mesures ont été effectuées à un mois d'intervalle à raison de quatre jours consécutifs par série. L'air était analysé toutes les demi-heures, la concentration horaire étant estimée sur base de la moyenne arithmétique des deux valeurs. L'échantillonnage de l'air du local se faisait en amont du ventilateur extracteur, celui de l'air du couloir à environ 1 m de l'entrée d'air.

Les concentrations en NH₃, N₂O,

CH₄ et CO₂ ont été exprimées en ppm (ml/m³) et celle en H₂O en g/m³.

Les émissions (E), exprimées en mg/h ont été calculées à partir de la relation suivante :

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

D = débit massique (kg air/h)

C_i = concentration du gaz dans le local (mg/kg d'air sec)

C_e = concentration du gaz dans l'air extérieur (mg/kg d'air sec)

Mesures comportementales

Au cours des quatre séries de mesures d'émissions de gaz (périodes 1 à 4), les porcs ont été filmés 24 heures sur 24 au moyen d'une caméra située dans un coin surplombant la loge. Un éclairage artificiel fonctionnait jour et nuit.

L'analyse des comportements a été réalisée en notant toutes les deux minutes le nombre d'animaux debout et ceux en train de boire et manger (time-sampling de deux minutes).

Des taux horaires d'activité ont été déterminés sur base du rapport entre le nombre d'animaux debout et le nombre total de porcs. De même, un temps moyen d'alimentation par porc a été calculé heure par heure en considérant 2 minutes d'alimentation pour chaque observation d'un porc occupé à s'alimenter.

Analyse statistique

Les différences entre périodes successives des concentrations en gaz, de leurs émissions, des taux d'activité des animaux et des temps d'alimentation ont été soumises à un test t de Student. La conformité du coefficient de corrélation de Pearson ($r \neq 0$) entre émissions horaires et taux horaires d'activité a également été testée par un test t de Student.

RESULTATS

Performances des porcs

Le poids moyen des porcs avant abattage a été de 118 ± 16 kg et leur gain moyen quotidien (GMQ) de 786 ± 113 g. L'indice de consommation fut de 3,0 kg/kg et la quantité d'eau bue de 4,4 l/porc/jour ou de 1,86 l/kg d'aliment consommé.

Caractéristiques climatiques et émissions gazeuses

La température moyenne de l'air au cours des 4 périodes de mesure a été respectivement de 18,9 ± 0,1, 18,6 ± 0,7, 18,8 ± 0,6 et 16,8 ± 0,6 °C. La température de la litière a atteint 34 °C dès la première semaine et est restée comprise entre 29 et 38 °C tout au long de l'engraissement avec une moyenne de 33,8 ± 2,9 °C. Le débit moyen de ventilation au cours des 4 périodes a été respectivement de 22,6 ± 1,7, 42,8 ± 7,7, 56,1 ± 8,6 et 55,7 ± 8,5 m³/h/porc. Malgré une charge en kilos de poids vif plus élevée en période 4 qu'en période 3, le débit de ventilation est resté inchangé car la température de l'air entrant en période 4 était de 3 degrés inférieure à

celle de la période 3.

Le tableau II fournit les concentrations en gaz au cours des 4 périodes. La concentration en NH₃ a augmenté régulièrement du début à la fin de la période d'engraissement, celle de CH₄ a augmenté au cours des 3 premiers mois pour se stabiliser ensuite. La concentration en CO₂ fut plus élevée en première période qu'au cours des 3 suivantes et le degré hygrométrique est resté fort stable avec des humidités relatives variant de 61 à 65 %. C'est en première période que la concentration en N₂O a été la plus élevée, en montrant par la suite une évolution irrégulière.

Le tableau III présente les émissions moyennes au cours des quatre

Tableau II: Concentrations en gaz mesurées à 1 mois d'intervalle au cours de 4 périodes de 4 jours consécutifs (moyennes par période et écarts-types entre les 4 jours), lors de l'engraissement de porcs charcutiers sur litière accumulée de sciure. (Seuil de signification des différences entre 2 périodes successives : * P<0,05 ; **P<0,01 ; *** P<0,001 ; NS : non significatif)

	NH ₃ (ppm)	N ₂ O (ppm)	CH ₄ (ppm)	CO ₂ (ppm)	H ₂ O (g/m ³)
Période 1	7,7 ± 0,7	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,8	1519 ± 55	11,5 ± 0,5
P	***	***	***	**	NS
Période 2	13,0 ± 1,4	1,3 ± 0,1	8,7 ± 0,9	1156 ± 137	10,7 ± 1,0
P	*	**	**	NS	NS
Période 3	16,7 ± 3,1	2,7 ± 0,6	10,7 ± 1,0	1084 ± 106	11,2 ± 1,3
P	***	**	NS	NS	NS
Période 4	26,7 ± 0,7	1,2 ± 0,2	10,9 ± 1,0	1014 ± 88	10,1 ± 1,3
Moyenne^a	16,0 ± 8,0	2,4 ± 1,5	8,8 ± 2,9	1193 ± 225	10,9 ± 0,6

(a) écart-type entre les moyennes des 4 périodes

Tableau III: Emissions gazeuses mesurées à 1 mois d'intervalle au cours de 4 périodes de 4 jours consécutifs (moyennes par période et par porc et écarts-types entre les 4 jours), lors de l'engraissement de porcs charcutiers sur litière accumulée de sciure. (Seuil de signification des différences entre 2 périodes successives : * P<0,05 ; **P<0,01 ; *** P<0,001 ; NS : non significatif)

	NH ₃ (mg/h)	N ₂ O (mg/h)	CH ₄ (mg/h)	CO ₂ (g/h)	H ₂ O (g/h)
Période 1	74,6 ± 9,6	159,3 ± 31,4	39,5 ± 6,7	41,2 ± 0,8	103,4 ± 5,9
P	***	**	***	***	***
Période 2	269,5 ± 5,5	69,4 ± 11,6	179,8 ± 16,7	54,5 ± 0,4	138,4 ± 4,5
P	*	***	***	***	*
Période 3	463,3 ± 152	223,0 ± 17,7	308,3 ± 21,9	62,7 ± 0,5	154,3 ± 8,3
P	*	***	NS	NS	NS
Période 4	776,4 ± 79,4	86,4 ± 34,6	269,8 ± 34,6	60,0 ± 2,4	156,3 ± 4,1
Moyenne^a	396,0 ± 278	134,6 ± 65,6	199,4 ± 109	54,6 ± 8,6	138,1 ± 22,5

(a) écart-type entre les moyennes des 4 périodes

périodes. Les différences entre périodes ont toutes été significatives, à l'exception de celles entre les périodes 3 et 4 pour le CH₄, le CO₂ et l'H₂O. En fin d'engraissement (période 4), les émissions de gaz ont été supérieures à celles du début d'engraissement (période 1), d'environ 50 % pour le CO₂ et l'H₂O, de plus de 1000 % pour le NH₃ et de 680 % pour le CH₄. Le N₂O a suivi une évolution différente des autres gaz, les émissions ayant été plus élevées durant les périodes 1 et 3 qu'au cours des périodes 2 et 4.

Les figures 1 et 2 montrent l'évolution en cours de journée des émissions de gaz au cours des 4 périodes. Les émissions de CO₂ et H₂O ont présenté à chaque reprise une évolution cyclique avec des valeurs minimales aux premières heures de la journée et maximales vers 18 heures. Un schéma comparable a été observé avec le NH₃ et le CH₄ au cours des périodes 2 à 4 mais pas en première période. L'émission de N₂O n'a pas présenté de cycle journalier.

Taux d'activité et temps d'alimentation

Les taux moyens d'activité et les temps d'alimentation ont diminué régulièrement de la première à la dernière période d'observation mensuelle, les différences mesurées entre ces périodes successives étant toutes significatives (tableau IV). Les porcs ont donc été de moins en moins actifs au fur et à mesure de l'avancée de la période d'engraissement et leur temps d'alimentation est passé de 67 min/jour en première période à 38 min/jour en quatrième.

Les figures 3 et 4 présentent l'évolution horaire moyenne des taux d'activité (fig. 3) et du temps d'alimentation (fig. 4) au cours des 4 périodes. On relève un rythme circadien caractérisé par une activité diurne.

Corrélations entre les émissions gazeuses et le taux d'activité

Le tableau V fournit les valeurs des coefficients de corrélation entre émissions et taux d'activité. Les coefficients sont positifs et significatifs pour le NH₃, le CO₂ et l'H₂O. Il en fut de même avec le CH₄, mais uniquement pour les périodes 2 et 4. Quant au N₂O, son émission a été

corrélée négativement avec le taux d'activité en périodes 2 et 4, la corrélation n'étant pas significative en périodes 1 et 3.

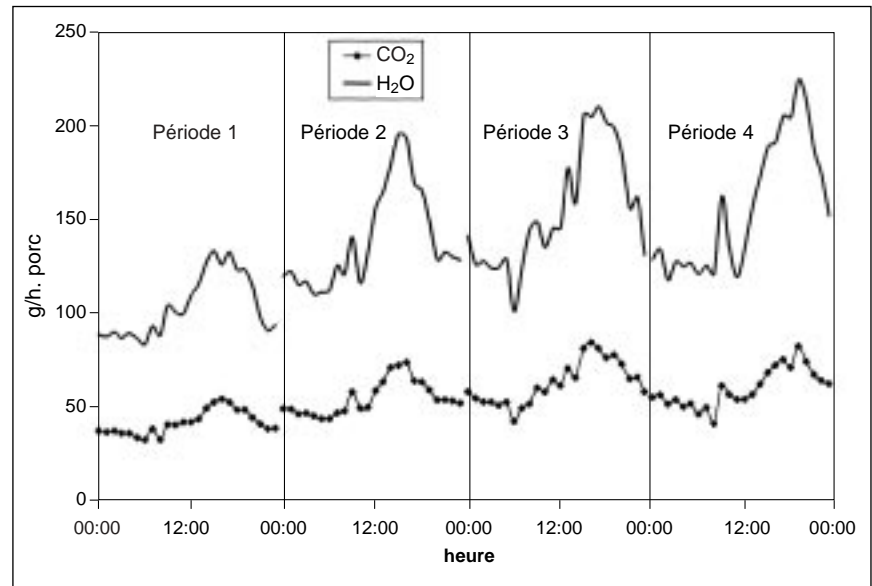


Figure 1: Evolution des émissions horaires moyennes de CO₂ et H₂O relevées au cours de 4 périodes à 1 mois d'intervalle lors d'élevage de porcs charcutiers sur litière de sciure.

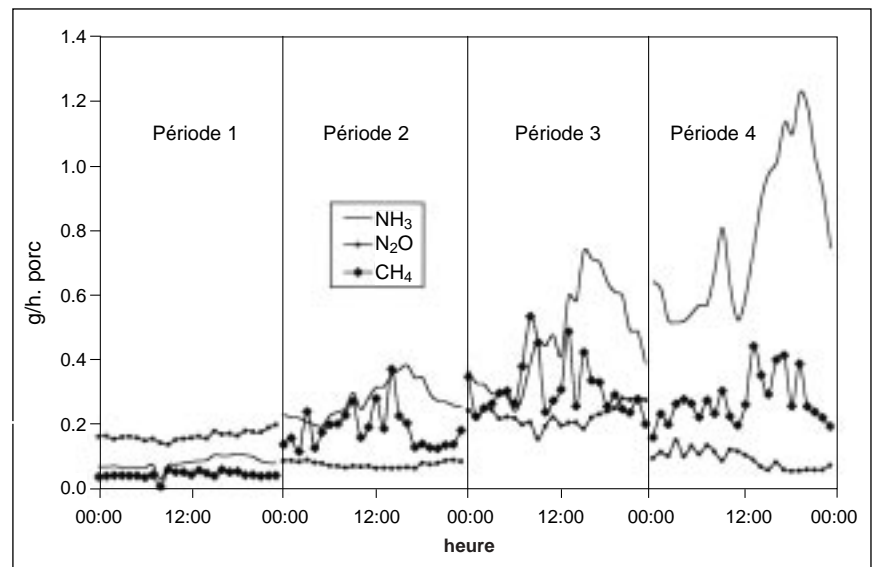


Figure 2: Evolution des émissions horaires moyennes de NH₃, N₂O et CH₄ relevées au cours de 4 périodes à 1 mois d'intervalle lors d'élevage de porcs charcutiers sur litière de sciure.

Tableau IV: Taux d'activité et temps d'alimentation d'un groupe de porcs charcutiers, mesurés à un mois d'intervalle au cours de 4 périodes de 4 jours (moyennes par période et écarts-types entre les 4 jours). (Seuil de signification des différences entre 2 périodes successives : * P<0,05 ; **P<0,01 ; *** P<0,001)

	Taux d'activité (%)	Temps d'alimentation (%)
Période 1	22,6 ± 4,1	4,6 ± 0,25
P	*	**
Période 2	16,0 ± 1,0	4,0 ± 0,11
P	**	***
Période 3	12,6 ± 1,3	3,3 ± 0,11
P	**	***
Période 4	8,8 ± 0,5	2,6 ± 0,09

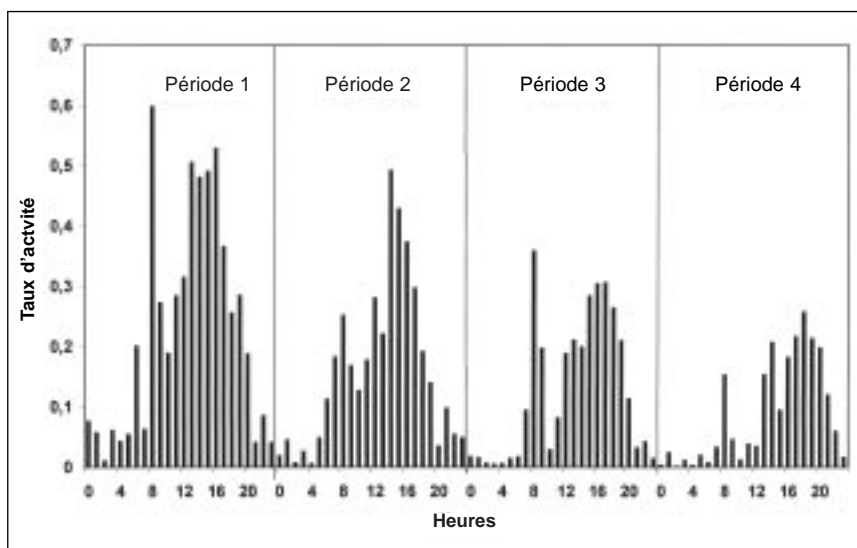


Figure 3 : Evolution du taux horaire moyen d'activité (%) de porcs charcutiers élevés sur litière se sciure, relevée à 1 mois d'intervalle au cours des 4 périodes.

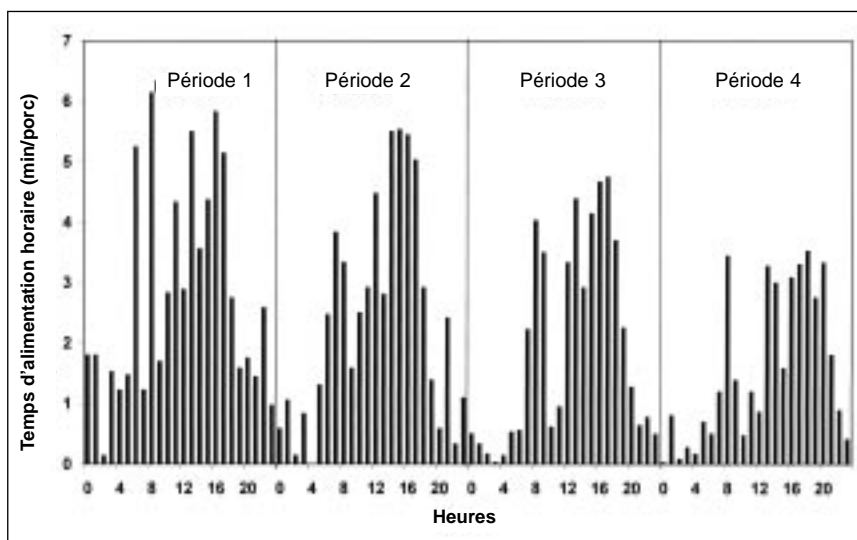


Figure 4 : Evolution du temps horaire moyen d'alimentation de porcs charcutiers élevés sur litière de sciure, relevée à 1 mois d'intervalle au cours des 4 périodes.

Tableau V : Valeur des coefficients de corrélation entre les émissions gazeuses et le taux d'activité des animaux pendant l'heure précédant la mesure des concentrations. (Seuil de signification du coefficient de corrélation : * P<0,05 ; **P<0,01 ; *** P<0,001)

	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	H ₂ O
Période 1	0,41***	0,00	0,11	0,71***	0,74***
Période 2	0,80***	-0,42***	0,24*	0,76***	0,78***
Période 3	0,49***	-0,16	0,07	0,64***	0,66***
Période 4	0,77***	-0,69***	0,27**	0,74***	0,80***

DISCUSSION

De nombreux facteurs interfèrent avec les émissions gazeuses, ce qui rend souvent difficile les comparaisons de résultats d'origines différentes. L'ammoniac est le gaz pour lequel le plus grand nombre de données sont disponibles. La production de NH₃ est tout d'abord tributaire de la quantité d'N excrété par les animaux, elle-même dépendante de la quantité d'N ingéré. Quand les déjections sont récoltées sous forme de lisier dans des bâtiments avec caillebotis intégral, l'émission d'N-ammoniacal est estimée correspondre à 25% de l'N excrété (C.O.R.P.E.N., 1996). En porcherie d'engraissement, compte-tenu d'une consommation d'N par jour pouvant varier de 55 à 63 g/porc, la production de NH₃ est comprise entre 11,0 et 12,7 g/jour (C.O.R.P.E.N., 1996). A ces rejets en porcheries doivent s'ajouter ceux observés lors du stockage, estimés à 5% de l'azote présent au début du stockage, et ceux liés aux épandages, très variables en fonction de la technique utilisée et des conditions climatiques.

L'émission en porcheries dépend de l'alimentation mais aussi de nombreux autres facteurs tels que le type de sol (caillebotis total ou partiel), l'état de propreté du sol, la température ambiante, le débit et le circuit de ventilation, avec possibilité d'interactions entre ces facteurs (Guillou *et al.*, 1993; Nicks *et al.*, 1996; Hendriks *et al.*, 1997; Groot Koerkamp *et al.*, 1998; Guingand et Granier, 2001).

Très peu d'études ont permis de réaliser, dans des conditions standardisées, une comparaison des émissions d'NH₃ lors d'élevage sur litière ou caillebotis. Hoy *et al.* (1992, 1994) citent une émission inférieure de 35% sur litière et Kermarrec (1999) une réduction de 50%. Nos résultats tendent à confirmer une réduction d'émission. En effet, la consommation d'N alimentaire a été de 63 g/jour et l'émission de NH₃ de 9,5 g/jour (tableau III) soit 25,2% de moins que les 12,7 g/jour cités pour des porcheries à caillebotis à même quantité d'N ingéré (C.O.R.P.E.N., 1996).

Les émissions de N₂O à partir de lisiers n'ont qu'exceptionnellement fait l'objet de mesures et sont souvent considérées comme négligeables. Kermarrec (1999) cite cependant une valeur de 0,73 g/jour qu'il compare à

4,78 g/jour sur litière. La valeur moyenne de N₂O de notre essai est de 3,23 g/jour (tableau 3). Les émissions de N₂O, manifestement plus élevées à partir des litières représentent une limite à l'intérêt environnemental de l'utilisation de litières accumulées de sciure. Des études supplémentaires devraient être entreprises pour mieux comprendre les facteurs susceptibles de les influencer, afin de les minimiser. Lors d'étude en laboratoire sur les émissions de N₂O à partir de litière, Kermarrec (1999) a observé que l'aération de la zone à déjections s'accompagne d'une augmentation très rapide et importante de dégagement de N₂O sans que celle de NH₃ n'en soit affectée.

La production de CH₄ par les porcs est tributaire de la quantité de carbone ingéré dont 0,25 % sont éliminés sous forme de ce gaz (Texier, 1997). Sur base d'une teneur en carbone dans les aliments pour porcs charcutiers de 40 % (Texier, 1997) et d'une consommation moyenne de 2,358 kg d'aliment par jour, on pouvait s'attendre à une production de 3,14 g/jour. Elle fut, en moyenne, de 4,78 g/jour, passant de 0,95 à 6,48 g/jour du début à la fin de la période. Il n'est évidemment pas possible de faire la distinction entre le CH₄ provenant directement du tractus intestinal des porcs et celui émis à partir de la litière. Bien que celle-ci soit régulièrement aérée, des zones anoxiques y sont inévitablement présentes et comme des températures de 30 à 40°C sont optimales pour la méthanogenèse, du CH₄ peut s'en dégager. Pour établir une comparaison des émissions avec des porcheries à caillebotis, des mesures en parallèle devraient impérativement être effectuées.

La production de CO₂ en porcherie provient principalement de la respiration des animaux mais aussi de la décomposition de la matière organique des déjections. Ni *et al.* (1996) proposent la relation suivante pour le calcul de l'émission en porcherie d'engraissement sur caillebotis: ECO_2 (kg/porc.jour) = 0,369. P^{0,3066} avec P, le poids moyen des porcs (kg). Cette formule donne des valeurs de 924 et 1601 g/jour respectivement pour des porcs de 20 et 120 kg. Texier (1997) se base sur une production moyenne en cours d'engraissement de 1,577 kg/jour. Les valeurs obtenues lors de cet essai, soit 989 et 1440

g/porc/jour (tableau 3) en début et fin de période d'engraissement avec une moyenne de 1310 g/jour, sont du même ordre de grandeur que celles citées lors d'élevage sur caillebotis.

Comme pour le CO₂, la vapeur d'eau produite en porcherie provient directement des animaux mais aussi de la vaporisation de l'eau contenue dans leurs déjections. Dans les porcheries équipées de caillebotis, la production de vapeur d'eau par porc est estimée à 1,18 et 2,25 kg/jour pour des animaux de respectivement 20 et 120 kg (C.I.G.R., 1984). Les valeurs obtenues lors d'élevage sur litière de sciure, soit 2,48 et 3,75 kg/porc/jour en début et en fin d'engraissement sont nettement plus élevées car l'échauffement de la litière assure une évaporation partielle de l'eau des déjections et de celle contenue initialement dans la sciure. Cet aspect explique pourquoi les besoins de ventilation sont plus élevés lors d'élevage sur litière que sur caillebotis (Nicks *et al.*, 2000).

Le relevé en continu de l'activité des porcs a permis de mettre en évidence un rythme circadien de vie caractérisé par une phase de repos la nuit, plus précisément de 23 h à 8 h, et une phase d'activité le jour (figure 3). Ces résultats sont en accord avec les observations réalisées par divers auteurs (van der Hel *et al.*, 1984; Feddes *et al.*, 1989; Young et Lawrence, 1994; Laitat *et al.*, 2000; Quiniou *et al.*, 2000). Le niveau d'activité a diminué de 61 % du début à la fin de la période d'engraissement et le temps d'alimentation de 43 %. Les porcs ont donc consacré de plus en plus de temps à se reposer, mangeant moins longtemps tout en consommant évidemment de plus en plus d'aliment, ce qui signifie qu'ils mangeaient de plus en plus vite. Ces résultats confirment les observations de Labroue *et al.* (1994) et celles de Quiniou *et al.* (2000).

Le niveau d'activité des porcs a été corrélé aux émissions horaires de H₂O, CO₂ et NH₃, les coefficients de détermination correspondant étant de 51,55 et 38 %. Le métabolisme étant naturellement plus élevé lorsque les animaux sont actifs comparativement aux phases de repos, on pouvait s'attendre à une corrélation positive et étroite entre production de CO₂ et H₂O d'une part et niveau d'activité d'autre part. Pour le NH₃, celui-ci

provenant essentiellement de la décomposition rapide de l'urée, les pics d'émission correspondent sans doute aux pics de mictions. Les émissions de CH₄ et de N₂O, en provenance directe de la litière, sont nettement moins corrélées à l'activité des animaux et quand elles le sont, soit en périodes 2 et 4, la corrélation est positive pour le CH₄ et négative pour le N₂O. On pourrait émettre l'hypothèse que l'augmentation de l'activité entraîne un tassement plus élevé de la couche superficielle de la litière, créant des conditions d'anaérobiose favorables à la formation de CH₄ et défavorables à celle de N₂O.

En 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. En faveur de l'élevage sur litière par rapport à celui sur caillebotis, on retiendra moins d'effluents produits, une épuration naturelle de l'eau des déjections, moins d'odeur et une tendance à une réduction des émissions de NH₃; en sa défaveur, on citera plus d'émissions de N₂O, gaz à effet de serre.

SUMMARY

Ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapour emissions in a fattening pig house on deep litter : levels of production and correlation with pigs activity.

During a 4-month fattening period, emissions of NH₃, N₂O, CH₄, CO₂ and H₂O from a pig house with fattening pigs on deep litter was measured once a month during four days (one measurement every 30 min). The activity rate of the animals was also measured hourly as the mean proportion of standing animals observed each two minutes.

The mean daily emissions of gas, calculated per pig, were 9,5 g NH₃, 3,2 g N₂O, 4,8 g CH₄, 1,3 kg CO₂ and 3,3 kg water vapour. Emissions increased

during the fattening period, the values observed at the end being 50%, 50%, 680% and 1000% higher than those at the beginning, for CO₂, H₂O, CH₄ and NH₃ respectively. Emissions of N₂O were however higher at the beginning than at the end of the fattening period.

The activity rate of the pigs followed a circadian rhythm, pigs being observed in a standing position much more frequently during the day than during the night, especially in the morning,

at the end of the afternoon and at the beginning of the evening. The activity rate decreased continuously during the fattening period, from 22,6 ± 4,1% to 8,8 ± 0,5%.

Within each monthly observation period, the hourly emissions of NH₃, CO₂ and H₂O were positively correlated with the pigs' activity rate, the mean correlation coefficients being 0,61 for NH₃, 0,71 for CO₂ and 0,75 for water vapour. The correlation coefficients were not significant

for N₂O and CH₄ in periods 2 et 3 but significant in periods 1 and 4 with mean values of -0,55 for N₂O and +0,26 for CH₄.

BIBLIOGRAPHIE

- BILLIARD F. Froid et environnement. *Bull. Cons. Gen. du Génie Rural, Eaux et Forêts*, 1998, **52**, 47-52.
- BONAZZI G., NAVAROTTO P.L. Wood shaving litter for growing-finishing pigs. In: Proceedings of the workshop "deep litter systems for pig farming" : Rosmalen, 21, 22 September 1992, 57-76.
- Commission Internationale du Génie Rural (C.I.G.R.). Report of Working Group on Climatization of animal houses. Scottish Farm Buildings Investigation Unit : Aberdeen, 1984, 72 p.
- Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles (C.O.R.P.E.N.). Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porcs. Impact des modifications de conduite alimentaire et des performances techniques. Ministère de l'environnement, Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation. Paris, 1996, 21p.
- FEDDES J.J.R., YOUNG B.A., DESHAZER J.A. Influence of temperature and light on feeding behaviour of pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 1989, **23**, 215-222.
- GROOT KOERKAMP P., METZ J., UENK G., PHILLIPS V., HOLDEN M., SNEATH R., SHORT J., WHITE R., HARTUNG J., SEEDORF J., SCHRÖDER M., LINKERT K., PEDERSEN S., TAKAI H., JOHNSEN J., WATHES C. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng Res.*, 1998, **70**, 79-95.
- GUILLOU D., DOURMAD J.Y., NOBLET J. Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. In : Institut Technique du Porc (Ed.), 25^e Journées de la recherche porcine en France, Paris, les 2, 3 et 4 février 1993, 307-314.
- GUINGAND N., GRANIER R. Comparaison caillebotis partiel et caillebotis intégral en engraissement. Effets sur les performances zootechniques et sur l'émission d'ammoniac. In: Institut Technique du Porc (Ed.), 33^e Journées de la recherche porcine en France, Paris, les 30, 31 janvier et 1^{er} février 2001, 31-36.
- HENDRIKS J., NI J., BERCKMANS D., VINCKIER C., GOEDSEELS V. Les émissions d'ammoniac des porcheres. *Agricontact*, 1997, **297**, 13-16.
- HOY St., WILLIG R., BUCHHOLZ I. Results from continuous measurements of ammonia in keeping fattening pigs on deep litter with additives in comparison with housing on slatted floor. In : Proceedings of the workshop "deep litter systems for pig farming" : Rosmalen, 21, 22 September 1992, 37-50.
- HOY St., MÜLLER K., WILLIG R. Results of continuous measurements of ammonia, dimethylamine and nitrous oxide in swine and broiler chicken stables with different keeping conditions by the help of sensor technique and multigasmonitoring. In: Proceedings of the 8th International Congress on Animal Hygiene. St. Paul, Minnesota, 12-16 September 1994, 62-66.
- JEHANNO L. Agriculture et environnement aux Pays-Bas. *Techni-Porc*, 1990, **13**, 39-55.
- KAISER S., VAN DEN WEGHE H. Regulatory control of nitrogen emissions in a modified deep litter system. In: Proceedings of the International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities: Vinkeloord, 6-10 October, 1997, 667-675.
- KAUFMANN R. Litière biomaitrisée pour porcs à l'engrais: amélioration de la technique et valorisation de données importantes pour l'environnement. In : Institut Technique du Porc (Ed.), 29^e Journées de la recherche porcine en France, Paris, les 4, 5 et 6 février 1997, 311-318.
- KERMARREC C. Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière (PhD Thesis). Université de Rennes 1 : Rennes, 1999, 185 p.
- LABROUE F., GUEBLEZ R., SELLIER P., MEUNIER-SALAÜN M.C. Feeding behaviour of group-housed Large White and landrace pigs in French central test stations. *Livest. Prod. Sci.*, 1994, **40**, 303-312.
- LAGRANGE B. Biométhane. Principes-techniques-utilisations. Edisud, 1979, 246 p.

- LAITAT M., VANDENHEEDE M., DESIRON A., CANART B., NICKS B. Granulés ou farines en post-sevrage : le choix des porcelets. In: Institut Technique du Porc (Ed.), 32^e Journées de la recherche porcine en France, Paris, les 1, 2 et 3 février 2000, 157-162.
- LO C.Y.Y. Application and practice of the pig-on-litter system in Hong-Kong (In-situ composting of pig manure). In: Proceedings of the workshop "deep litter systems for pig farming": Rosmalen, 21, 22 September 1992, 11-25.
- NI J., BERCKMANS D., VINCKIER C. Influence of contaminated floor on ammonia emission from pig house. In: Proceedings of the Agricultural-Engineers 1996 Congress, Madrid, 96B-062.
- NICKS B., DESIRON A., CANART B. Bilan environnemental et zootechnique de l'engraissement de 4 lots de porcs sur litière biomâtrisée. In: Institut Technique du Porc (Ed.), 27^e Journées de la recherche porcine en France, Paris, les 31 janvier, 1^{er} et 2 février 1995, 337-342.
- NICKS B., DESIRON A., CANART B. Comparaison de l'utilisation de sciure ou d'un mélange paille-sciure comme matériau de litière accumulée pour porcs charcutiers. *Ann. Zootech.*, 1998, **47**, 107-116.
- NICKS B., LAITAT M., VANDENHEEDE M., DESIRON A., CANART B. Emissions de vapeur d'eau et bilan azoté lors d'élevage de porcelets sevrés sur litière accumulée de sciure. *Ann. Zootech.*, 2000, **49**, 119-128.
- QUINIOU N., DUBOIS S., NOBLET J. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.*, 2000, **63**, 245-253.
- SHILTON A. Shallow beds, mean simpler waste management. *Pig Int.*, 1994, **24**, 15-16.
- TEXIER C. Elevage porcin et respect de l'environnement. Institut Technique du Porc : Paris, 1997, 110 p.
- VAN DER HEL W., VERSTEGEN M.W.A., BALTUSSEN W., BRANDSMA H. The effect of ambient temperature on diurnal rhythm in heat production and activity in pigs kept in groups. *Int. J. Biometeorology*, 1984, **28**, 305-315.
- YOUNG R.J., LAWRENCE A.B. Feeding behaviour of pigs in groups monitored by a computerized feeding system. *Anim. Prod.*, 1994, **58**, 145-152.