

Emissions de gaz azotés en élevage de porcs sur litière de sciure

Christophe KERMARREC (1), Paul ROBIN (2)

(1) Cloître - ZA voie express RN 12 - 29800 Saint-Thonan

(2) INRA – UMR Sol-Agronomie-Spatialisation 65, rue de Saint-Brieuc CS84215 – 35042 Rennes cedex

avec la collaboration technique de P. PERRIN

Emissions de gaz azotés en élevage de porcs sur litière de sciure

La transformation précoce des déjections porcines, dans le cas des élevages sur litière, conduit à l'émission de gaz azotés, variable en nature et en quantité selon la conduite d'élevage et de litière. Nos objectifs étaient d'une part, de caractériser la différence entre un système « caillebotis » pris comme référence et un système avec « litière de sciure accumulée », d'autre part d'explorer la variabilité des émissions selon la nature de la litière (zone de déjection ou de couchage) et selon la conduite (avec ou sans brassage). Les expérimentations ont été conduites en conditions contrôlées, en confrontant les mesures faites sur le solide (aliment, porcs, litières) à celles faites sur l'air (débit, concentrations en gaz). La comparaison des systèmes « caillebotis » et « litière » a été faite dans les mêmes conditions de climat, bâtiment, animaux et aliment. La comparaison de systèmes d'élevage montre l'importance du défaut de bilan attribuable à de l'azote atmosphérique (N_2), dans le cas de l'élevage sur litière accumulée. L'étude de la variabilité des émissions par la litière montre que la perte d'azote devient négligeable lorsque la litière est riche en carbone disponible et poreuse, ce qui est intéressant si l'on veut conserver cet élément fertilisant. A l'inverse, la perte devient maximale si la litière est pauvre en carbone. Dans ce cas, la zone de déjection émet de l'ammoniac (NH_3) en surface tandis que la production de protoxyde d'azote (N_2O) a lieu au cœur de la litière, l'émission de ce gaz étant accrue par le brassage.

Nitrogenous gas emissions during the rearing of pigs on sawdust litter

The early composting of pig slurry in rearing systems based on litter leads to nitrogenous gas emissions. The types of molecules and the amounts emitted depend on both livestock and litter management. Our objectives were firstly to characterise the difference between the fully-slatted floor system (used as a reference system) and the deep litter sawdust system, secondly to explore the variability in emissions depending on the area in the pen (either excretion or sleeping area) and the management system (litter either turned or not turned). The experiments were conducted under controlled conditions, and the gas emission measurements were compared with the mass balance (food, pig, and litter or slurry). The comparison of the slatted floor and litter systems was performed under the same conditions : climate, building, animals and food. The comparison showed that there was a large discrepancy in nitrogen balance that could be attributed to atmospheric nitrogen (N_2) in the deep litter system. The study of the variability in emissions showed that nitrogen losses were negligible when the litter contained high levels of available carbon and when it was porous. This is of interest in the conservation nitrogen. Conversely, the highest nitrogen losses occurred with low carbon availability. In the latter case, ammonia (NH_3) was emitted from the surface where defecation occurred and nitrous oxide (N_2O) was emitted from deep within the litter. Deep litter emissions of N_2O were highest when litter was turned.

INTRODUCTION

Les résultats acquis sur la maîtrise de l'évaporation d'eau en élevage de volailles de chair (SOULOUMIAC, 1988, SOULOUMIAC et ITIER, 1989a, 1990, 1991) et la similarité des charges métaboliques dans les bâtiments d'engraissement de porcs ou de volailles ont conduit l'INRA à s'intéresser à l'élevage de porcs sur litière, à la suite de l'ITP (HERVO et THEOBALD, 1992 ; TEXIER et al, 1997) et d'autres organismes de recherche en Europe. En effet, l'évaporation sans apport de chaleur de l'eau des déjections (KLOOSTER et GREUTINK, 1992) et la diminution de la masse finale d'effluent et d'azote (LESGUILLER et al., 1995) constituent un procédé sobre en énergie de préparation des déjections à l'exportation. La forte diminution des odeurs nauséabondes (HEALY, 1996) et la diminution de la densité animale (de 0,67 à 1,2 m²/porc 100 kg) favorisent en outre l'amélioration de l'image des produits commercialisés. L'abattement d'azote dans la litière peut néanmoins conduire à l'émission de gaz potentiellement polluants, en fonction des quantités émises et de la sensibilité du milieu. L'émission d'ammoniac, gaz contribuant aux dépôts acides, et de protoxyde d'azote, gaz contribuant à l'effet de serre, a été observée en élevage de porcs sur litière (GROENESTEIN et VAN FAASSEN, 1993, 1996). Or, les systèmes d'élevage sont sensibles à de multiples phénomènes, notamment le climat, le bâtiment et la régulation de sa ventilation, l'aliment et son mode d'apport (SOULOUMIAC et al ; 1995). C'est pourquoi notre premier objectif a été de réaliser une comparaison rigoureuse du système d'élevage sur caillebotis et du système d'élevage sur litière de sciure accumulée, dans les mêmes conditions de climat, bâtiment, animaux et alimentation. Les porcs ayant naturellement tendance à grouper leurs déjections, notre second objectif a été d'étudier l'effet de ce regroupement sur les émissions de gaz azotés potentiellement polluants, ainsi que l'effet du brassage, parfois recommandé pour favoriser l'évacuation de l'eau des litières devenues trop humides en surface.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

Les expérimentations se sont déroulées de 1996 à 1999 dans un local à température constante. L'engraissement de deux bandes de porcs a été réalisé dans deux enceintes identiques de 14 m² chacune, isolées et ventilées naturellement. La différence de densité d'élevage (0,67 et 1,2 m²/porc) était réalisée par une restriction de l'espace autorisé aux animaux dans l'enceinte contenant le caillebotis. L'étude spécifique de la zone de déjection et de la zone de couchage a été réalisée sur environ 100 kg de litière prélevée après élevage, disposée dans des réacteurs de 0,5 m² de surface et 0,5 m d'épaisseur, équipés pour la mesure de profils de concentration en gaz au sein de la litière. Les réacteurs ont été placés dans de petites enceintes de 3 m², isolées, maintenues à température constante et ventilées naturellement. La zone de déjection a été simulée par un apport quotidien de fèces (0,78 kg) et d'urines (5,25 kg), mélangés juste avant apport, correspondant aux déjections de deux porcs.

1.2. Animaux, alimentation et abreuvement

Les animaux utilisés durant les deux expérimentations sont des porcs femelles de croisement Piétrain x Large White appartenant au troupeau de la Station de Recherches Porcines de l'INRA à Saint-Gilles. Ils ont été nourris *ad libitum* avec un même aliment unique standard (Sprint Eclair granulé de Guyomarc'h) à l'aide de nourrissoires. L'eau apportée était celle du réseau d'eau potable.

1.3. Litière

L'engraissement des porcs a été réalisé sur une litière accumulée issue d'un élevage. Elle était âgée de plusieurs années, un mélange de sciure et de copeaux avait été régulièrement ajouté et la zone souillée régulièrement enlevée. La première expérimentation a commencé directement sur la litière. La seconde expérimentation a commencé après apport de sciure sèche de façon à retrouver un rapport C/N voisin de celui au début de la première expérimentation.

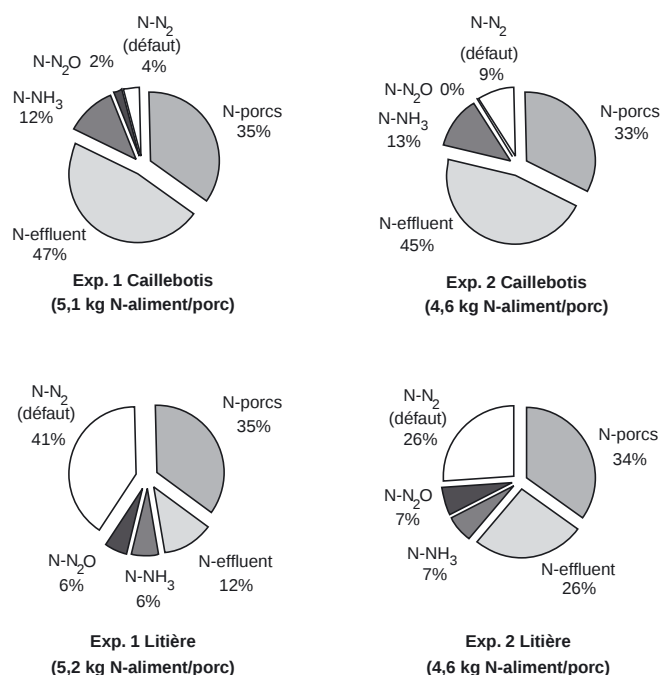
L'étude des zones de couchage et de déjection a été réalisée sur une litière constituée au départ d'un mélange de sciure sèche et de copeaux, sur laquelle des porcs ont été engraisés durant plusieurs semaines, finement homogénéisée avant installation dans les réacteurs. Les quatre couches choisies pour la mesure des concentrations internes en gaz, d'une épaisseur de 10 cm, ont été séparées par un plastique de type brise-vent, dans le but de pouvoir les brasser individuellement.

1.4. Mesures et calculs

Les porcs, la litière et le lisier ont été pesés en début et fin d'expérimentation sur une bascule de précision (Mettler). L'aliment et l'eau ont été pesés quotidiennement sur la même bascule. L'échantillonnage de la litière et du lisier a été réalisé par un échantillonnage multiple, mélange, puis prélèvement d'un sous-échantillon envoyé à l'analyse dans un laboratoire agréé, de même que l'aliment. L'entrée d'azote par l'eau de boisson a été négligée. La qualité de l'échantillonnage de la litière et du lisier est évaluée sur la base de la conservation des éléments non volatils (P et K).

Les températures et hygrométries de l'air intérieur et extérieur ont été mesurées par des psychromètres équipés de thermocouples (Thermoélectrique). Le débit d'air a été suivi en continu sur chaque enceinte par un anémomètre à fil chaud (TSI) placé sur un orifice de sortie, vérifié par la mesure manuelle sur l'ensemble des orifices de sortie à l'aide d'un anémomètre à hélice (AirFlow), par l'application de la loi de renouvellement d'air par effet de densité pour les élevages (SOULOUMIAC et ITIER, 1989b) et par un bilan d'eau de l'élevage incluant la production d'eau métabolique (DE OLIVEIRA et al, 1998). Les concentrations en ammoniac et protoxyde d'azote ont été mesurées par un analyseur photoacoustique à détection infra-rouge (Briel et Kjaer). Les concentrations en dioxyde de carbone et en oxygène au cœur de la litière ont été analysées par chromatographie en phase gazeuse (Delsi Nermag, connecté à un Chromjet integrator).

Figure 1 - Devenir de l'azote ingéré par les animaux élevés sur caillebotis intégral ou sur litière de sciure accumulée



Les émissions gazeuses d' NH_3 et N_2O sont déduites du débit d'air et des écarts de concentration entre l'intérieur et l'extérieur des enceintes, après correction de la densité de l'air tenant compte de sa température et de son humidité. Plus de détails sur les dispositifs expérimentaux et les calculs sont donnés par KERMARREC (1999), DE OLIVEIRA (1999) et ROBIN et al (1997).

2. RÉSULTATS

2.1. Comparaison des systèmes caillebotis et litière

Les deux expérimentations ont différé par la température extérieure, légèrement plus froide lors de la seconde expérimentation (respectivement $12,8 \pm 0,7$ °C et $8,1 \pm 0,8$ °C), et par l'humidité moyenne de la litière initiale plus sèche lors de la seconde expérimentation (respectivement 0,679 et 0,560 kg d'eau/kg poids brut). Le tableau 1 indique que les résultats zootechniques sont peu affectés par le mode d'élevage.

La figure 1 montre que le devenir de l'azote des déjections en cours d'élevage est très différent selon le système d'élevage et la conduite de la litière. La perte d'azote de l'élevage sur litière atteint 80% de l'azote des déjections alors qu'en élevage sur caillebotis elle est d'environ 20%. La précision du bilan de masse sur les solides est acceptable (le rapport des quantités observées sur les quantités réelles varie de 86 à 110% ; KERMARREC, 1999). La précision des émissions gazeuses, vérifiée par la fermeture du bilan d'eau (DE OLIVEIRA et al. 1998 ; DE OLIVEIRA, 1999) est inférieure à 5%, sauf dans le cas du système caillebotis pour la seconde expérience où elle vaut presque 10%. La perte d'azote importante du système litière n'est pas due à une émission accrue d'ammoniac. Au contraire l'émission d'ammoniac a été plus faible d'environ 50% par rapport à l'émission de l'élevage sur caillebotis. La perte d'azote sous forme de protoxyde d'azote est nettement supérieure à celle de l'élevage sur caillebotis (environ 10% de l'azote des déjections) mais n'explique pas l'importance de la perte totale d'azote. D'autres gaz azotés (amines, oxyde d'azote) ont été recherchés mais sont en concentration négligeable devant l'ammoniac. En revanche, la production d'azote moléculaire (N_2) a été mise en évidence en plaçant un échantillon de litière dans un réacteur clos, sous atmosphère contrôlée d'hélium et en suivant durant quelques jours la température, la pression et la concentration en azote moléculaire (PORTEJOIE, 1999). Nous considérons donc que le traitement des déjections par conduite de la litière sous l'animal a permis une perte d'azote importante, majoritairement sous forme non polluante (azote moléculaire).

L'azote restant dans l'effluent est majoritairement sous forme ammoniacale dans le lisier et majoritairement sous forme organique dans la litière (figure 2, tableau 2). Par conséquent l'épandage ou le compostage de la litière ne peuvent conduire à une forte émission d'ammoniac. L'azote apporté au sol sera moins mobile vers les eaux et les plantes du fait de sa forme organique.

2.2. Etude du fonctionnement de la litière

L'étude séparée de la zone de couchage et de la zone de déjection montre que le brassage n'a pas d'effet sur la zone de couchage. Cela s'explique par la bonne diffusion de l'air

Tableau 1 - Résultats zootechniques

	expérimentation 1		expérimentation 2	
Mode d'élevage	caillebotis	sciure	caillebotis	sciure
Effectif d'animaux	12	12	12	12
Poids d'entrée	29,8	30,5	31,5	31,6
Poids de sortie	99,9	102,3	95,6	94,0
GMQ (g/j)	779	794	712	701
I.C.(*)	2,71	2,67	2,91	2,95
Rapport eau/aliment	2,25	2,33	2,05	2,36
Taux de Viande Maigre (%)	60,3	60,9	58,7	60,5

(*) Indice de consommation (kg aliment/kg poids vif)

Tableau 2 – Caractéristiques des effluents observés lors des deux expérimentations sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral.

Nature	Masse (kg)	C/N	pH	% masse brute				g/kg masse brute				
				Hum	MS	MO	C	NTK	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
Lit _d ⁱ (expé 1)	6905	29,5	8,9	67,9	32,1	26,3	13,8	4,68	0,90	0,00	5,46	7,04
Cp _d (expé 1)	130+75 ⁱⁱ	460,0	5,9	12,4	87,6	87,0	45,3	0,75	0,09	0,01	1,05	0,60
Lit _d +cp _d (expé 1)	7035	32,3	-	66,9	33,1	27,4	14,4	4,61	0,88	0,00	5,38	6,92
Lit _d (expé 2)	4314	19,2	8,1	64,0	36,0	26,2	14,5	7,35	0,20	0,21	11,80	16,70
Cp _d (expé 2)	329	683,0	8,4	11,2	88,8	88,6	45,9	0,70	0,33	0,00	0,50	0,30
Sc _d (expé 2)	452+60 ⁱⁱ	906,4	5,6	11,8	88,2	88,0	46,1	0,50	0,23	0,00	0,20	0,60
Lit _d +cp _d (expé 2)	5095	31,3	-	56,0	44,0	35,7	19,3	6,31	0,21	0,18	10,04	14,21
Lit _f (expé 1)	6675	20,5	8,9	68,3	31,7	25,1	12,3	5,95	0,30	0,04	7,80	11,40
Lit _f (expé 2)	5842	20,2	9,0	56,1	45,9	32,2	16,3	7,93	0,26	0,14	11,87	16,98
Lis _f (expé 1)	2908	5,2	7,1	84,0	16,4	12,5	5,2	10,05	6,24	0,00	5,91	9,90
Lis _f (expé 2)	501/2636 ⁱⁱⁱ	6,8	7,7	85,5	14,5	11,3	5,5	8,02	5,53	0,01	6,10	7,46
Alim (expé 1)	2276/2302 ^{iv}	14,7	5,7	12,6	87,4	75,0	39,7	26,58	0,24	0,01	11,40	12,84
Alim (expé 2)	2060/2210 ^{iv}	14,5	6,1	14,5	85,5	79,6	38,8	26,78	0,32	0,01	12,80	11,83

⁽ⁱ⁾ litière ancienne provenant d'un éleveur

⁽ⁱⁱ⁾ quantités introduites initialement pour la constitution de la litière de départ + quantités introduites par la suite

⁽ⁱⁱⁱ⁾ quantité d'eau initialement introduite dans la fosse à lisier/quantité réelle de lisier produit

^(iv) cellule caillebotis/cellule litière

abréviations : d : départ ; f : fin ; lit : litière ; lis : lisier ; cp : copeaux ; sc : sciure ; alim : aliment

dans cette zone. La présence d'oxygène gazeux sur tout le profil montre que la diffusion d'oxygène à l'échelle macroscopique est supérieure à sa consommation (KERMARREC, 1999). De même, le brassage est sans effet sur l'émission d'ammoniac par la zone de déjection et sur le profil de concentration en ammoniac au sein de la litière (entre 15 et 40 ppm d'ammoniac). En revanche l'effet du brassage sur l'évaporation d'eau et sur l'émission de protoxyde d'azote est très net. L'émission de protoxyde d'azote après le brassage de la zone de déjection est presque identique à celui qui a eu lieu après la mise en place des litières dans les réacteurs.

Le bilan d'azote montre que le brassage augmente la perte d'azote dans le cas de la zone de déjection. Ainsi cette perte devient équivalente à la quantité d'azote apportée par les déjections sur la période expérimentale (figure 3). En revanche pour la zone de couchage, la perte d'azote est négligeable (la quantité d'azote finale est légèrement supérieure à la quantité initiale), les émissions d'azote se limitent à la perte de protoxyde d'azote résultant de la mise en place de la litière dans les réacteurs.

3. DISCUSSION

La comparaison du mode d'élevage sur caillebotis au mode d'élevage sur litière de sciure accumulée dans les mêmes conditions de climat, bâtiments, animaux et aliment montre que la croissance des animaux est affectée de façon négligeable par le système tandis que la transformation de l'azote est affectée de façon considérable. Ainsi nous avons montré

que plus de 40% de l'azote excrété pouvait être émis sous forme d'azote moléculaire (N₂) ce qui fait de la litière un système de traitement des excédents azotés sobre en énergie. Pour que ce système soit reconnu comme tel, il convient de

Figure 2 - Répartition de l'azote des déjections dans l'effluent des animaux élevés sur caillebotis intégral ou sur litière de sciure accumulée

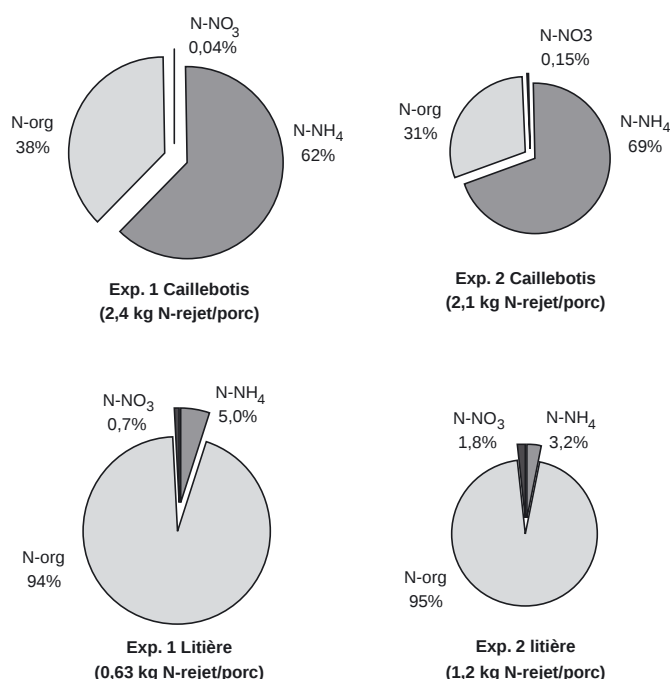
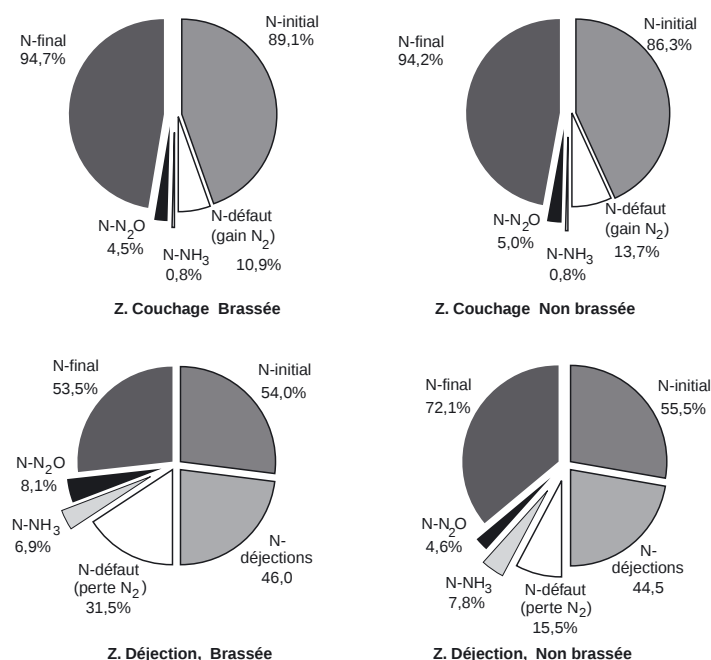


Figure 3 - Devenir de l'azote d'une zone de déjections de 0,5 m²x50 cm (brassée ou non) et d'une zone de couchage de 0,5 m²x50 cm (brassée ou non)



maîtriser non seulement la perte d'azote mais aussi les formes perdues. D'une part il est nécessaire que l'émission d'ammoniac reste inférieure à celle émise par le système d'élevage sur caillebotis. D'autre part, il est nécessaire que le bilan des émissions de tous les gaz à effet de serre soit amélioré.

Une conduite optimisée de la litière ne nécessite pas son brassage fréquent. La litière a naturellement un fonctionnement hétérogène dans l'espace. Les porcs apportent leurs déjections de façon localisée dans la salle d'élevage. Il en résulte une différenciation horizontale de la litière sous l'effet des apports animaux et une différenciation verticale sous l'effet des bio-transformations de la litière. Certains auteurs ont recommandé de compenser cette hétérogénéité par une répartition horizontale des déjections et un mélange vertical des matériaux (KAUFMANN et al, 1998). Notre étude du fonctionnement de la litière montre que la pratique du brassage est peu efficace sur une diminution de l'émission d'ammoniac et provoque un fort accroissement de l'émission de protoxyde d'azote. C'est pourquoi nous considérons que l'activité de fouille des animaux et la diffusion naturelle des gaz au sein de la litière doivent suffire à son fonctionnement.

La conduite de la litière devrait faire appel principalement aux modalités d'apport de litière neuve. L'apport de litière neuve joue un rôle zootechnique (isolation des animaux), comportemental (activité de fouille, repos), physique (entretien de la porosité de la litière vis à vis de la diffusion des gaz : entrée d'oxygène et évacuation des gaz produits dans la litière) et microbiologique (apport de composés carbonés à la flore présente dans la litière). Les deux derniers rôles contribuent à la maîtrise des émissions de gaz azotés. Nous avons montré qu'une forte disponibilité en

carbone favorisait le stockage de l'azote au détriment de sa perte gazeuse (cas des zones de couchage). Dans le cas d'apports fréquents et abondants, le stockage sera maximal. Dans le cas d'apports en petites quantités (objectif de minimisation de l'apport de litière), le besoin de minimiser l'émission d'ammoniac oblige à favoriser les processus microbien consommateurs d'ammoniac : la nitrification et l'assimilation (ou immobilisation, MANCINELLI, 1992). Pour ce faire il est souhaitable que l'apport de litière entretienne la disponibilité en carbone et la diffusion d'oxygène au niveau de la zone de déjection.

CONCLUSION

Nos résultats montrent que l'élevage de porcs sur litière constitue une alternative possible à l'élevage sur caillebotis intégral dans la mesure où nous n'avons pas observé de dégradation des performances zootechniques et avons montré qu'il était possible de maîtriser l'émission d'ammoniac et de protoxyde d'azote par la litière par des moyens simples. L'abattement d'azote par la litière, sous forme d'émission d'azote atmosphérique (N₂), constitue un procédé de traitement des déjections sobre en énergie.

Une grande diversité dans les émissions de gaz azotés, en nature et quantité, est possible en relation avec le mode de conduite de la litière : type de litière et mode d'apport, type de bâtiment et mode de ventilation, densité animale et comportement, alimentation et abreuvement, climat. Il serait utile de s'assurer du faible niveau d'émission potentiellement polluante des systèmes d'élevage sur litière actuels et de caractériser précisément la technique si l'on souhaite recommander un système. Dans le cas d'un fort abattement d'azote, l'étude des impacts environnementaux devrait prendre en compte les éléments non volatils excrétés par les animaux, dont la concentration augmente dans l'effluent du fait du compostage.

L'enjeu environnemental et financier du recyclage des matières organiques en agriculture, de la réduction de la dépense énergétique pour le transport et l'épandage de ces matières, du stockage de carbone dans les sols confère une place tout particulièrement intéressante pour les éleveurs et les groupements ayant les savoir-faire de conduite de litière et de gestion agronomique des fumiers et composts. A court terme, il est souhaitable de fiabiliser les systèmes existants et à moyen terme d'explorer d'autres pistes d'élevage sur litière en complétant ces connaissances, le cas échéant, par les interactions aliment-litière et litière-sol-plante.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout particulièrement D. Souloumiac et P. A. V. de Oliveira pour leur participation active à la réalisation des travaux, les Professeurs Alain Laplanche et Jean Morvan ainsi que F. Lesguiller (Guyomarc'h NA), J.L Hardy et M. Lasbleiz (Coopagri) pour leurs conseils durant le travail de thèse, les membres du Comité Bretagne Eau Pure 2 pour leur soutien financier et M. Le His (éleveur) pour la fourniture d'une litière « représentative ».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GROENESTEIN C., VAN FAASSEN H., 1993. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences, EAAP Publication, Wageningen, 307-312.
- GROENESTEIN C., VAN FAASSEN H., 1996. J. Agric. Engng. Res., 65, 269-274.
- HEALY A., 1996. Thèse de la Faculté de Médecine de Créteil.
- HERVO N., THEOBALD O., 1992. Workshop on Deep Litter Systems for Pig Farming, 8-10.
- KERMARREC, C. 1999. Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière. Thèse Université de Rennes1. 165 pages.
- KLOOSTER C.E.V., GREUTINK G.J., 1992. Workshop on Deep Litter Systems for Pig Farming, 124-134.
- MANCINELLI R., 1992. Nitrogen cycle. Encyclopedia of Microbiology, 3, 229-237.
- LESGUILLIER F., GOUIN R., GUIZIOU F., ORAIN B., 1995. Journées Rech. Porcine en France, 27, 343-350.
- OLIVIERA P.A.V., 1999. Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. Thèse Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes. 264 pages
- OLIVEIRA P.A.V. de, ROBIN P., KERMARREC C., SOULOUMIAC D., DOURMAD J.Y., 1998. Journées Rech. Porcine, 30, 355-361.
- PORTEJOIE S., 1999. DEA National de Science du Sol, ENSA Rennes, 20p.
- ROBIN P., SOULOUMIAC D., DE OLIVIERA P.A.V., KERMARREC C., 1997. Rapport d'étape. Maîtrise à la source des émissions gazeuses et de l'état final des effluents en élevage intensif de porcs sur litière. Bretagne Eau Pure.
- SOULOUMIAC D., 1988. Rapport de contrat I.N.R.A.-A.F.M.E. 1987.
- SOULOUMIAC D., ITIER B., 1989a. Rapport de contrat I.N.R.A.-A.F.M.E., 1988.
- SOULOUMIAC D., ITIER B., 1990. Rapport de contrat I.N.R.A.-A.F.M.E., 1989.
- SOULOUMIAC D., ITIER B., 1989b. C.R. Acad. Sci., série 11, 308, 269-274.
- SOULOUMIAC D., ITIER B., 1991. Rapport de contrat I.N.R.A.-A.F.M.E., 1990.
- SOULOUMIAC D., ROBIN P., FLURA D., 1995. Ecole Chercheur de Bioclimatologie, Ed. INRA, 627-645.
- TEXIER C., VAUDELET J.C., ROUSSEAU P., 1997. Journées Rech. Porcine en France, 29, 305-310.