

Emissions gazeuses de NH_3 , N_2O , CH_4 lors du stockage de fumier de porc provenant d'une litière accumulée : effets du retournement

Sandrine ESPAGNOL (1), Melynda HASSOUNA (2)(3), Paul ROBIN (3), Pascal LEVASSEUR (1), Jean-Marie PAILLAT (4)

(1) Institut Technique du Porc, 35650 Le Rheu

(2) INRA UMR SENAH, 35000 Rennes - (3) INRA UMR SAS, 35000 Rennes

(4) CIRAD UMR SAS, 35000 Rennes

sandrine.espagnol@itp.asso.fr

*Avec la collaboration de Delphine Loiseau et Frédéric Guyomard (1)
et du personnel de la station expérimentale nationale porcine de l'ITP (35850 Romillé)*

Emissions gazeuses de NH_3 , N_2O , CH_4 lors du stockage de fumier de porc provenant d'une litière accumulée : effets du retournement

Le fumier issu de l'engraissement sur litière paillée accumulée de 72 porcs a été réparti en deux andains identiques stockés à l'extérieur sur une aire bétonnée pour une durée de trois mois durant l'automne 2004. Un andain a été retourné à J0, J11 et J27. Les émissions gazeuses (NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2) des deux fumiers, recouverts pour l'occasion de serres ventilées, ont été mesurées en continu sur quatre périodes (57 jours au total). La méthode dite par traçage, utilisant le SF_6 , a été employée pour mesurer les débits. Les concentrations à l'intérieur des serres et à l'extérieur (pour obtenir un différentiel) ont été mesurées par spectrométrie d'absorption infrarouge photoacoustique au moyen d'un analyseur de gaz couplé à un échantillonneur doseur. Les émissions ont été calculées en croisant les débits avec les différentiels de concentrations et interpolées entre les périodes de mesures. Les résultats montrent des cinétiques d'émissions très proches entre les deux fumiers hormis après les retournements qui relancent les émissions. Au global, les émissions gazeuses mesurées représentent, pour les fumiers non retourné et retourné respectivement, une perte azotée de 10,5 % et 9 % de l'azote initial (principalement sous forme de NH_3) et une perte carbonée de 10 % et 12 % de la matière sèche initiale (principalement sous forme de CO_2). Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les deux fumiers ce qui souligne la relation entre les émissions gazeuses et le produit de départ ($\text{MS} > 30\%$) et la diversité du comportement des litières, à approfondir en conditions d'élevage.

Gaseous emissions (NH_3 , N_2O , CH_4) during the storage of pig manure, with and without turning over, coming from an accumulated litter

The manure issued from the fattening of 72 pigs on straw bedding was divided between two identical swathes and stored outside on a concrete area for three months during autumn 2004. One swath was turned at day 0, day 11 and day 27. Gaseous emissions (NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2) of both manures, covered for the occasion by ventilated greenhouses, were continuously measured over four periods (57 days all told). The tracer method, using SF_6 , was used to measure the flows. Concentrations inside and outside the greenhouses (to have a differential) were measured by photoacoustic infrared absorption spectrometry with a gas analyser coupled to a sampler dosimeter. Emissions were reckoned by crossing flows with differential concentrations and interpolated between the different measuring periods. Results show that emissions kinetics were very close between the two manures, except for after a turning over when emissions are given a new impetus. Globally, the measured gas emissions represent for non-turned and turned manure, a nitrogen loss of 10,5 % and 9 % compared to the initial nitrogen (mainly in the form of NH_3) and a carbon loss of 10 % and 12 % of the initial dry matter (mainly in the form of CO_2), respectively. Results don't show a significant difference between the two manures, which underlines the relation between gas emissions and the initial product (Dry matter > 30 %) and the diversity of the behaviour of litters, to be studied in depth on the farm.

INTRODUCTION

Les régions françaises d'élevage les plus concentrées montrent des limites quant à leur capacité à valoriser les fertilisants (N, P) des effluents générés par les animaux (Espagnol et Ilari, 2004). Les systèmes d'élevage sur litière ou les traitements des lisiers par compostage permettent de diminuer les quantités d'azote à épandre (Corpen, 2003). Cependant, selon les conditions de mise en œuvre, l'abattement d'azote peut se réaliser sous des formes non polluantes comme le diazote (N_2) mais aussi sous forme de gaz polluants comme l'ammoniac (NH_3) ou le protoxyde d'azote (N_2O). Les émissions d'ammoniac, dont 80 à 90 % proviendraient de l'élevage en Europe (Hartung et Phillips, 1994), entraînent l'acidification des sols et l'eutrophisation des écosystèmes terrestres et aquatiques, parfois à plusieurs dizaines de kilomètres autour de la source d'émission (Aneja et al., 2001). Le N_2O est un gaz à effet de serre ayant un pouvoir de réchauffement global égal à 290 fois celui du CO_2 (Degré et al., 2001). Des gaz carbonés sont également émis tels que le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4), gaz à effet de serre dont le pouvoir de réchauffement global atteint 21 fois celui du CO_2 . Aujourd'hui, dans le cadre de l'arrêté du 24 décembre 2002, des élevages porcins doivent quantifier et déclarer leurs émissions de NH_3 . Dans un tel contexte, l'utilisation de facteurs d'émission reflétant les conditions climatiques et les pratiques est impérative.

Les émissions des systèmes porcins sur litière ont principalement été quantifiées à l'échelle du bâtiment (Robin et al., 2004 ; Ramonet et Callarec, 2005). Peu de travaux concernent ces émissions lors du stockage, contrairement aux fumiers bovins pour lesquels plusieurs expérimentations ont été réalisées (Amon et al., 1998 ; Sommer et Dahl, 1999). Or, plusieurs auteurs démontrent la spécificité des fumiers porcins par rapport au fumier bovin (Petersen et al., 1998 ; Moller et al., 2004).

L'objectif de cette étude est de mesurer les émissions de NH_3 , N_2O et CH_4 pendant la durée de stockage du fumier porcin, retourné ou non.

L'échelle d'étude est une originalité du travail car les andains de fumier ont été stockés dans des conditions réelles de terrain. Ainsi, les résultats obtenus doivent permettre de compléter les bases de données actuelles concernant les facteurs d'émission de NH_3 , mais aussi de CH_4 et de N_2O pouvant notamment être utilisés dans le cadre de l'évaluation environnementale d'une exploitation.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

En fin d'engraissement, le fumier provenant de deux salles de 36 porcs élevés sur litière paillée avec 63 kg de paille par porc, a été mélangé, homogénéisé et réparti en deux andains stockés à l'extérieur sur une aire bétonnée non couverte pendant trois mois, de début septembre à fin décembre 2004. Les deux tas ont été pesés et échantillonnés à plusieurs endroits dans l'andain pour prendre en compte l'hétérogénéité de la litière. Après mélange des prélèvements, un échantillon homogène a été constitué puis analysé sur les paramètres suivants : matière sèche, pH, azote total, azote ammoniacal, phosphore, potassium, cuivre, zinc (Tableau 1).

Les masses des andains en début de stockage sont respectivement de 5,64 T et 5,68 T pour le fumier non manipulé et le fumier retourné. La dimension des andains est approximativement de 6 m de longueur, 3 m de largeur et 1,5 m de hauteur. La teneur en matière sèche de 36 % est élevée mais représentative des siccités hautes des fumiers d'engraissement. Les teneurs en éléments fertilisants sur produit brut, notamment en azote, sont donc supérieures à celles d'essais précédents (Texier et Levasseur, 2001 ; Corpen 2003). En début de stockage, 23,5 % de l'azote sont sous forme ammoniacale. La structure générale des fumiers est assez poreuse du fait de la teneur en matière sèche élevée.

L'un des andains est retourné à J0, J11 et J27 avec un retourneur d'andain. En fin de stockage, les deux andains sont pesés, échantillonnés et analysés (mêmes déterminations analytiques que pour le fumier initial).

Pendant les périodes de mesure des émissions gazeuses, les andains sont recouverts de serres légères (armatures en acier recouvertes d'une bâche polyane) en forme de tunnel (longueur : 7,5 m ; largeur : 3,8 m ; hauteur : 1,9 m), équipées de deux ventilateurs d'un débit maximum de 5000 m³/h, fonctionnant en dépression (Figure 1). Des gaines de ventilation, en sortie des serres, permettent aux gaz émis par les andains d'être rejetés le plus loin possible de l'entrée des tunnels. Entre les périodes de mesure, les serres sont retirées et les andains sont recouverts d'une bâche poreuse semi perméable.

1.2. Mesures des émissions gazeuses

Les mesures des émissions gazeuses sont réalisées en continu au cours de quatre périodes (57 jours au total) réparties au long des 90 jours de stockage.

Tableau 1 - Composition du fumier initial et des fumiers après trois mois de stockage

	MS (%)	pH	Sur le brut				Sur le sec	
			NTK g/kg	NH_4^+ g/kg	P_2O_5 g/kg	K_2O g/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
Fumier initial	36,14	8,6	12,01	2,82	10,58	21,47	89,4	525
Fumier non retourné	45,22	8,7	14	2,37	14,99	29,72	110	627,5
Fumier retourné	51,86	8,65	16,03	2,72	18,49	33,68	119	674,5

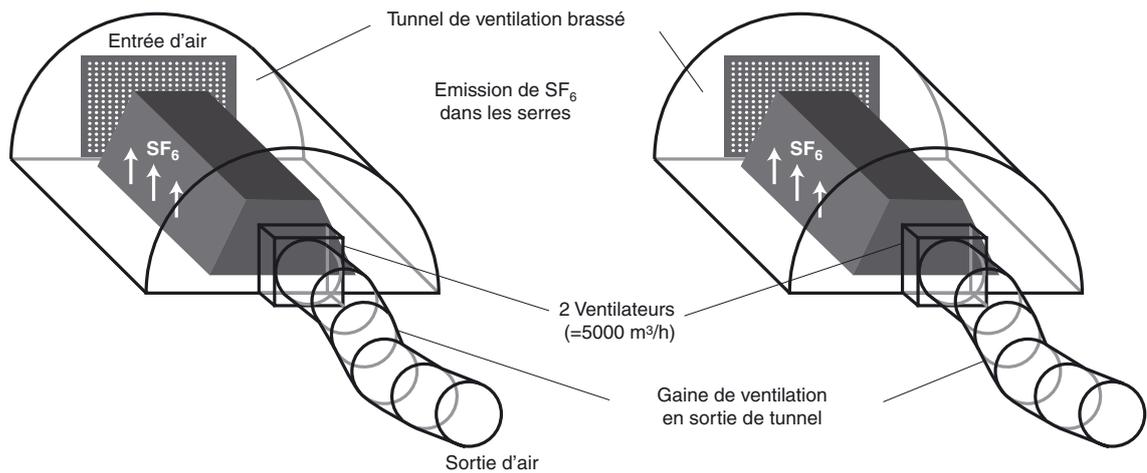


Figure 1 - Dispositif expérimental

Pour connaître les débits dans les serres, la méthode dite par « traçage » est utilisée. Elle s'appuie sur l'emploi d'un gaz traceur inerte, l'hexafluorure de soufre (SF_6), méthode confirmée pour la quantification des émissions gazeuses (Phillips et al., 2000). Le débit d'air des tunnels est calculé en connaissant d'une part les concentrations en gaz traceur à l'intérieur et à l'extérieur des tunnels, d'autre part le débit de gaz traceur injecté dans l'air intérieur des tunnels par l'une des entrées d'air.

Les mesures de concentrations gazeuses sont réalisées par spectrométrie d'absorption infrarouge photoacoustique, au moyen d'un analyseur de gaz (INNOVA 1312) couplé à un échantillonneur doseur 6 voies (INNOVA 1303) permettant le dosage du gaz traceur et l'échantillonnage de l'air à six endroits différents. Les échantillons d'air sont prélevés automatiquement à intervalles de 1m30s pendant 15 minutes (durée nécessaire à la stabilisation des concentrations mesurées) à l'extérieur des tunnels, dans les tunnels au niveau d'un ventilateur d'extraction et au milieu dans l'ambiance de la serre. Les tubes d'échantillonnage en téflon, d'une longueur de 25 m, sont réchauffés et isolés sur toute leur longueur afin d'éviter la condensation. Des ventilateurs sont placés à l'intérieur des serres pour mesurer avec plus de précision le gradient de concentration entre l'intérieur et l'extérieur des serres.

Les gaz analysés sont le NH_3 , le N_2O , le CO_2 , le CH_4 , le SF_6 et la vapeur d'eau. La concentration moyenne de chaque gaz est déduite de 5 mesures après stabilisation.

Des mesures climatiques sont réalisées durant le stockage à l'aide d'une station météorologique Campbell. Elles concernent la température et l'hygrométrie de l'air extérieur, la vitesse et la direction du vent et la hauteur des précipitations. Dans chaque tunnel, la température et l'humidité de l'air ont été mesurées en continu au moyen d'un capteur-enregistreur TESTO 177-H1. Les mesures de température et d'humidité de l'air servent à évaluer la masse volumique de l'air utilisée dans le calcul des gradients de concentrations en gaz.

Les concentrations mesurées en SF_6 et les données climatiques permettent d'estimer les débits moyens horaires de l'air dans les serres. Les émissions moyennes horaires sont le produit de ces débits par les différentiels de concentrations gazeuses (intérieur et extérieur des serres). Entre deux

périodes de mesure, les émissions gazeuses sont estimées par interpolation linéaire.

1.3. Mesures de la température des andains

La température est mesurée en continu par deux sondes thermométriques reliées à une centrale de mesure (GRANT de type écureuil 1206) et positionnées au cœur de chaque andain, à environ 30 cm de la surface.

2. RÉSULTATS

2.1. Températures externes et internes aux andains

Les températures extérieures varient de -3°C à $+20^\circ\text{C}$ au cours de la période (de début octobre à fin décembre 2004). À l'intérieur des serres, pendant les périodes de mesure, les températures varient entre $2,5^\circ\text{C}$ et 23°C , sans différence notable entre les deux serres.

Au cours de la première période de mesure (du 1 au 15 octobre), une différence de température maximale de 6°C est observée à plusieurs reprises entre l'intérieur des serres et l'extérieur autour du milieu de journée. En moyenne sur cette période, cette différence était de $3,5^\circ\text{C}$ (pour une température moyenne extérieure de 10°C , et intérieure de $13,5^\circ\text{C}$).

La figure 2 montre l'évolution des températures dans les deux andains pendant la période de stockage. Les deux sondes d'un même andain indiquent des niveaux de température et des variations proches à 5°C près en moyenne.

Pour les deux fumiers, la température s'élève rapidement après quelques heures jusqu'à $65-70^\circ\text{C}$, ce qui indique la forte biodégradabilité des substrats stockés (Paillat et al., 2004). Pour le fumier retourné, la température redescend plus rapidement pour se maintenir entre 55 et 60°C jusqu'au retournement suivant qui induit une nouvelle montée en température au même niveau que la précédente. Avant le troisième retournement, la température est redescendue à 40°C , et ce dernier brassage provoque à nouveau une montée en température supérieure à 60°C , ce qui est conforme à la circulaire du 17 janvier 2002. Pendant tout le stockage, la température interne de l'andain de fumier non retourné diminue progressivement. Après deux mois de stockage, l'évolution

des températures internes des deux andains est similaire, et en fin de stockage elles sont proches de la température extérieure.

2.2. Cinétiques des émissions gazeuses

Pour analyser les cinétiques des émissions gazeuses des deux andains de fumier au cours des 90 jours de stockage, les moyennes horaires journalières sont présentées sur la figure 2 pour le NH_3 , le N_2O et le CO_2 . Concernant le CH_4 , le nombre de données obtenues est trop faible pour tracer correctement une cinétique ; des valeurs ponctuelles sont cependant figurées et utilisées pour borner les émissions de ce gaz.

Les cinétiques des émissions gazeuses sont décrites en utilisant les critères retenus par Paillat et al. (sous presse). Le temps pour atteindre les émissions maximales est de quelques heures pour les deux fumiers. L'amplitude des pics d'émission est très proche dans les deux cas ; elle est toutefois légèrement supérieure pour l'émission de NH_3 de l'andain non retourné, et pour les émissions de dioxyde de carbone de l'andain retourné. Le premier et unique pic d'émission dure une dizaine de jours pour le fumier non retourné, conformément aux observations de Fukumoto et al.

(2003), moins longtemps pour les émissions de NH_3 du fumier retourné (7 jours). Après les 10 premiers jours, les émissions décroissent plus lentement pour devenir très réduites après deux mois. Les cinétiques d'émission entre les deux andains ne sont pas très différentes, hormis une augmentation ponctuelle après chaque retournement. Après le deuxième retournement, l'amplitude des émissions du fumier retourné est très inférieure à celle du premier retournement : près de 10 fois pour le NH_3 , 2 fois pour le N_2O et de 2/3 pour le CO_2 . La durée de ce deuxième pic est d'environ 6 jours. Pour le troisième retournement, seules les émissions de N_2O et de CO_2 augmentent légèrement, les émissions de NH_3 ne changent pas.

2.3. Bilans des pertes azotées et carbonées

La validité des mesures d'émissions gazeuses sur la période de stockage est contrôlée en vérifiant le bouclage du bilan d'eau : le cumul des émissions mesurées de vapeur d'eau correspond aux pertes d'eau mesurées avec les analyses de fumier en début et fin de stockage à +7 % et +5 % près pour les fumiers non retourné et retourné, respectivement. Pour calculer ces bilans, la moitié de l'eau de pluie tombée entre les périodes de mesures (soit 18 mm) est rajoutée à l'eau

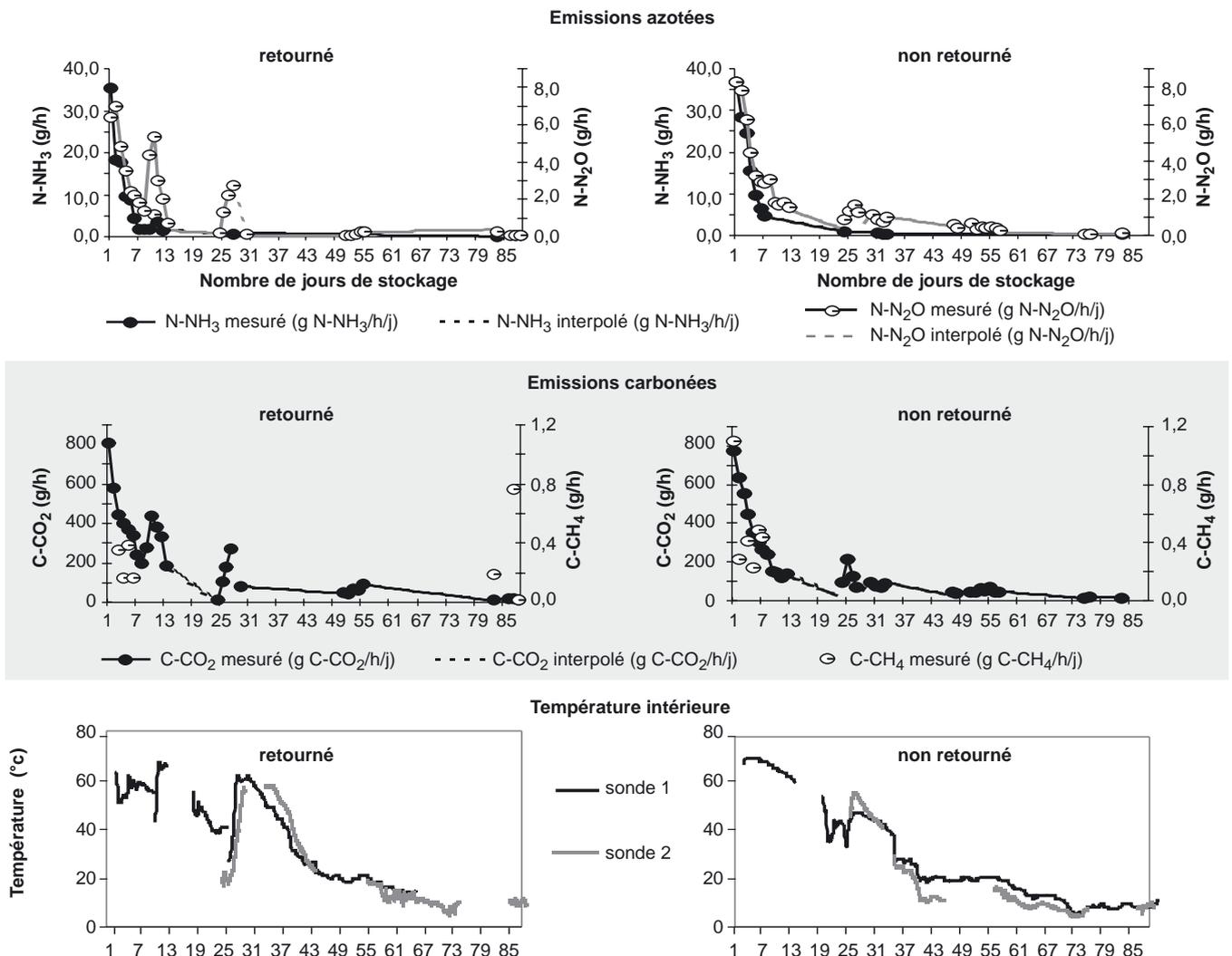


Figure 2 - Cinétiques des émissions en NH_3 , N_2O , CH_4 et CO_2 et température des fumiers pour 84 jours de stockage

présente dans le fumier initial ; en effet, les andains sont recouverts d'une bâche semi-perméable durant ces périodes intermédiaires.

La pesée, l'échantillonnage et les analyses physico-chimiques de la litière sont également des sources d'erreurs. Un contrôle est réalisé sur les bilans des éléments non volatils (phosphore et potassium). Entre le début et la fin du stockage, les quantités de ces éléments varient de -12 % et +9 % pour le phosphore et de -14 % et -2 % pour le potassium, s'agissant du fumier non retourné et retourné, respectivement (Tableau 2). Ces variations sont considérées comme convenables, ce qui valide la représentativité des échantillons de litière.

Les pertes de masse des deux andains sont identiques avec 38%, ordre de grandeur déjà observé par Texier et Levasseur (2001).

Les émissions gazeuses mesurées (Tableau 3) représentent une perte d'azote (NH_3 et N_2O) de 10,5 % et 9 % de l'azote initialement présent (Figure 3) et une perte de carbone de 10 % et 12 % de la matière sèche initiale, pour les fumiers non retourné et retourné, respectivement. Les pertes azotées se font principalement sous forme de NH_3 (70 % et 72 % des émissions azotées mesurées, respectivement). Plus de 90 % des pertes carbonées se font sous forme de CO_2 , conformément aux résultats de Martinez et al. (1999). Les analyses des fumiers en début et en fin de stockage indiquent des pertes azotées totales plus importantes (Tableau 2) : 27 % et 17 % de l'azote initial pour le fumier non retourné et retourné, respectivement. La différence de bilan est attribuée aux émissions d'azote sous forme de N_2 , aux lixiviats et aux erreurs de mesure.

3. DISCUSSION

Les pertes azotées du fumier retourné (17 % de l'azote initialement présent) sont inférieures aux références du Corpen

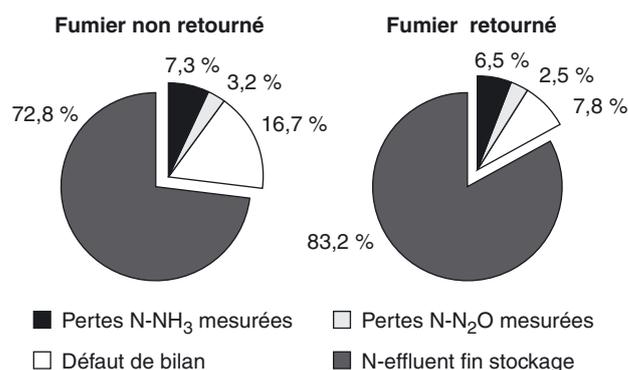


Figure 3 - Bilan azoté des fumiers pour 84 jours de stockage

(2003) comprises entre 22 % à 45 % (31% en moyenne). Cela dit, Moller et al. (2000) observent des pertes allant de 15 à 42 % pour 143 jours de stockage d'un compost de fumier de porcs en engraissement, les pertes les plus faibles ayant lieu avec le fumier le plus pailleux.

Les émissions azotées du fumier non retourné (27 %) concorde avec celles trouvées par Wolter et al. (2004) : 30 % en 113 jours de stockage, mais elles sont inférieures à celles trouvées par Petersen et al. (1998), soit 50 % de l'azote présent initialement émis en 2-3 mois de stockage.

Ces émissions azotées légèrement inférieures à celles de la littérature peuvent s'expliquer en partie par les conditions climatiques de la période de stockage automnale. En effet, Petersen et al. (1998) constatent une forte influence de la température sur le potentiel de volatilisation de NH_3 d'un fumier porcin (augmentation de la volatilisation de 40 à 60 % avec 10°C d'élévation de température entre 0 et 70°C). En revanche, les émissions de N_2O et de CH_4 concorde avec les références disponibles (Wolter et al., 2004) ; la température extérieure joue peu sur ces émissions, plutôt dues à des processus internes aux andains.

Tableau 2 - Bilan de masses des fumiers entre le début et la fin du stockage de trois mois

	Masse (kg)	MS (kg)	Eau (kg)	NTK (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)	Cu (g)	Zn (g)
Fumier initial non retourné	5640	2038	3602	68	60	121	182	1070
Fumier initial retourné	5680	2053	3627	68	60	122	184	1078
1/2 pluie tombée entre périodes mesures			368					
Fumier final non retourné	3520	1592	1928	49	53	105	175	999
Fumier final retourné	3540	1836	1704	57	65	119	218	1238
Pertes fumier non retourné	2120	446	2042	19	7	16	7	71
Pertes fumier retourné	2140	217	2291	11	-5	3	-35	-161
% pertes fumier non retourné	38%	22%	57%	28%	12%	14%	4%	7%
% pertes fumier retourné	38%	11%	63%	17%	-9%	2%	-19%	-15%

Tableau 3 - Emissions gazeuses des fumiers mesurées pendant 84 jours de stockage

Pertés gazeuses mesurées	Fumier non retourné		Fumier retourné	
	Quantité / t brut	% / initial	Quantité / t brut	% / initial
Ammoniac (N-NH ₃)	881 g	7,3% N	777 g	6,5% N
Protoxyde d'azote (N-N ₂ O)	384 g	3,2% N	301 g	2,5% N
Méthane (C-CH ₄)	0,05 - 3 kg	0,8% MS	0,05 - 3 kg	0,01% C
Dioxyde de carbone (C-CO ₂)	36 kg	9,9% MS	43 kg	12% C
Vapeur d'eau (H ₂ O)	388 kg	55% H ₂ O	427 kg	61% H ₂ O

Nos résultats et ceux de la bibliographie confirment la forte hétérogénéité du comportement des litières en lien avec leur composition initiale et les conditions de stockage. Dans notre expérimentation, seules les conditions de manipulation (retournement) ont différé entre les deux andains.

Des différences sont observées au cours du stockage en terme de cinétique des émissions (Figure 2), avec des intensités d'émission plus importantes après chaque retournement pour le fumier concerné. En raison de la teneur en matière sèche élevée, de l'aspect pailleux du fumier et de la taille des andains, le tassement est resté modéré et des zones aérobies (poches d'air) ont été maintenues au sein des andains, favorisant les échanges gazeux avec une incidence sur les émissions gazeuses (Wolter et al., 2004). Les conditions de décomposition aérobie pressenties dans les deux andains sont corroborées par les faibles émissions de CH_4 mesurées, qui sont de 70 à 80 % inférieures à celles constatées dans des conditions principalement anaérobies, par Martinez (1999).

Cependant, le fumier non retourné reste un produit hétérogène avec des zones d'anoxie favorables à l'émission de N_2O et de CH_4 . La juxtaposition de zones aérobies et anaérobies peut être à l'origine d'un processus de nitrification et de dénitrification responsable d'émissions de N_2O et N_2 , en particulier lorsque la température interne des andains a suffisamment décliné (Schlege, 1993). En effet, une grande partie des composés azotés excrétés par les animaux, dont l'urée, sont rapidement dégradés en CO_2 et NH_3 . Sous des conditions aérobies et de température modérée, NH_3 peut être métabolisé en nitrates (NO_3^-). Dans les zones anaérobies, NO_3^- peut être dénitrifié en N_2O et N_2 . La nitrification et la dénitrification ont pu être significatives dans le fumier non retourné à partir de J20 lorsque les températures à cœur sont devenues inférieures à 50°C .

Les retournements, en permettant une redistribution et la mise en contact des éléments (oxygène, eau, carbone, azote), ont favorisé la poursuite de la dégradation aérobie. La matière organique est décomposée avec une consommation d'oxygène, une production de gaz carbonique et d'eau et une montée en température du fumier supérieure à 50°C . Les émissions de CO_2 mesurées, plus élevées pour le fumier retourné que pour le fumier non retourné, témoignent de ce processus. Le fait que les retournements réalisés sur l'andain

n'aient pas significativement abattu d'azote peut être dû à la teneur en matière sèche élevée du fumier de départ, l'assèchement rapide provoquant un ralentissement des dégradations et donc des émissions gazeuses. La faible intensité des émissions de NH_3 après les retournements peut s'expliquer par une organisation de l'azote stimulée par le brassage des éléments, avec remise à disposition des micro-organismes de carbone biodégradable, d'eau et d'oxygène (Paillat et al., sous presse) ; or cette organisation est un processus concurrent des émissions azotées (volatilisation de NH_3 et nitrification-dénitrification produisant du N_2O et du N_2). Kirchmann et Witter (1989) ont en effet montré que lorsque la biodégradabilité du carbone augmentait (cas du fumier composté en raison des retournements), l'immobilisation de l'azote minéral était plus intense et réduisait de fait les émissions d' NH_3 .

Cependant, au niveau des bilans, nous ne pouvons pas conclure à une différence significative entre le fumier retourné et le fumier non retourné car les émissions gazeuses azotées mesurées sont très proches et les défauts de bilan sont en partie imputables à des erreurs de mesure.

CONCLUSION

L'expérimentation conduite montre une relation entre les émissions gazeuses au stockage et la composition initiale du fumier, du moins avec une teneur en matière sèche initiale élevée (>30%). Les retournements, même s'ils modifient les cinétiques d'émission, n'ont pas fondamentalement changé les pertes globales, hormis une augmentation des pertes de CO_2 . Le retournement n'a pas permis un abattement supérieur d'azote.

Ces résultats montrent l'intérêt d'étudier le lien entre les caractéristiques initiales des fumiers et les émissions gazeuses générées. Les travaux de modélisation des émissions de NH_3 et de CO_2 pendant le compostage d'effluents animaux engagés par Paillat et al. (sous presse) vont dans ce sens. Ces résultats soulignent également le besoin de continuer à acquérir de nouvelles références en conditions de terrain pour déterminer des facteurs d'émission représentatifs de la variabilité de comportement des litières porcines.

Cette étude a bénéficié du soutien financier de l'ADAR.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amon B., Amon T., Boxberger J., Pöllinger A., 1998. Emissions of NH_3 , N_2O and CH_4 from composted and anaerobically stored farmyard manure. Management Strategies for Organic Wastes in Agriculture. FAO European Cooperative Research Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (Ramiran).
- Aneja V.P., Bunton B., Walker J.T., Malik B.P., 2001. Measurement and analysis of atmospheric ammonia emissions from anaerobic lagoons. *Atmospheric Environment*, 35, 1949-1958.
- Corpen, 2003. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections animales. Juin 2003. 41p.
- Degré A., Verhève D., Debouche C., 2001. Emissions gazeuses en élevages porcins et modes de réduction : revue bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5 (3), 135-143.
- Espagnol S., Ilari E., 2005. Un outil d'évaluation du rapport entre rejets azote-phosphore et disponibilité de terres épandables pour les exploitations porcines françaises. *Journées de la recherche porcine*, 37, 317-324.
- Fukumoto Y., Takashi O., Dai H., Kiyonori H., 2003. Patterns and quantities of NH_3 , N_2O and CH_4 emissions during swine manure composting without forced aeration – effects of compost pile scale. *Bioresource Technology*, 89, 109-114.
- Hartung J., Phillips V. R., 1994. Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. *J. Agric. Engng Res.*, 57, 173-189.
- Kirchmann H., Witter E., 1989. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. *Plant and Soil*, 115 (1), 35-41.
- Martinez J., Beline F., Peu P., Guiziou F., 1999. Emissions de méthane (CH_4) et de protoxyde d'azote (N_2O) au cours du stockage, du traitement et de l'épandage de déjections animales. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 85, 87-101.
- Moller H.B., Sommer S.G., Ahring B.K., 2004. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy*, 26, 485-495.
- Moller H.B., Sommer S.G., Andersen B.H., 2000. Nitrogen mass balance in deep litter during the pig fattening cycle and during composting. *Journal of Agricultural Science*, 135, 287-296.
- Paillat J.M., Robin P., Hassouna M., Leterme P., sous presse. Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. *Atmospheric environment*.
- Paillat J.-M., Robin P., Hassouna M., 2004. Bilan environnemental du procédé de compostage de lisier de porc sur paille suivant la méthode Guernévez®. Rapport intermédiaire convention ADEME-INRA 0375C0077, GIS Porcherie Verte, UMR SAS, Rennes, 34 p.
- Petersen S.O., Lind A.-M., Sommer S.G., 1998. Nitrogen and organic matter during storage of cattle and pig manure. *Journal of agricultural Science*, 130, 69-79.
- Phillips V.R., Scholtens R., Lee D.S., Garland J.A., Sneath R.W., 2000. A Review of Methods for Measuring Emission Rates of Ammonia from Livestock Buildings and Slurry or Manure Stores, Part 1: Assessment of Basic Approaches. *J. agric. Engng. Res.* 77 (4), 355-364.
- Ramonet Y., Callarec J., 2005. Perte d'azote du fumier au cours de la période d'engraissement de porcs sur litière puis lors de la phase de stockage. *Journées de la recherche porcine*, 37, 33-38.
- Robin P., Hassouna M., Texier C., 2004. Emissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote des porcs engraisés sur litière de paille. *Journées de la recherche porcine*, 36, 63-70.
- Schlege, H.G., 1993. *General microbiology*. 7th ed., Cambridge University Press, New York.
- Sommer S.G., Dahl P., 1999. Nutrient and carbon balance during composting of deep litter. *J. Agric. Engng Res.*, 74, 145-153.
- Texier C., Levasseur P., 2001. Compostage des déjections des porcs à l'engrais élevés sur différents déchets ligneux : sciure, copeaux ou écorce. *Techniporc*, 24 (6), 23-30.
- Wolter M., Prayitno S., Schuchardt F., 2004. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. *Bioresource Technology*, 95, 235-244.