

Mesure des émissions gazeuses au stockage de lisier porcin

Sandrine ESPAGNOL (1), Laurence LOYON (2), Fabrice GUIZIOU (2), Paul ROBIN (3), Isabelle BOSSUET (1), Mélynda HASSOUNA (3)

(1) IFIP - Institut du Porc, BP 35104, F-35651 Le Rheu Cedex

*(2) CEMAGREF, Unité de recherche Gestion environnementale et traitement biologique des déchets,
17 avenue de Cucillé, CS 64427, F-35044 Rennes cedex*

(3) INRA, UMR 1069, Sol Agronomie Spatialisation, F-35000 Rennes

sandrine.espagnol@ifip.asso.fr

Avec la collaboration technique de Delphine Loiseau (1) et Frédéric Guyomard (1)

Mesure des émissions gazeuses au stockage de lisier porcin

L'étude a deux objectifs : valider l'utilisation de chambres dynamiques flottantes pour mesurer les émissions d'ammoniac (NH_3), de protoxyde d'azote (N_2O), de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) au stockage de lisiers porcins, et mesurer les variations temporelles et spatiales des émissions en fonction des modalités de stockage. En 2006, des chambres dynamiques flottantes sont utilisées pour mesurer en continu les émissions gazeuses de deux cuves expérimentales remplies de lisier de porc à l'engrais stocké pendant deux mois estivaux et d'une fosse remplie successivement avec du lisier mixte entre octobre et mars. Pour s'assurer de l'influence de la vitesse d'air sur les émissions gazeuses, les cuves sont équipées de chambres dynamiques flottantes fonctionnant avec des vitesses d'air respectives en surface du lisier de 0,01 m/s et de 1 m/s. Pour appréhender la variabilité spatiale des émissions, deux chambres identiques sont utilisées en surface de la fosse : l'une est régulièrement déplacée à la surface du lisier, l'autre est fixe pendant tout le stockage. Les mesures obtenues sont confrontées aux bilans massiques azotés et carbonés des lisiers. Les résultats montrent que les émissions gazeuses mesurées expliquent de 4 à 38 % des pertes azotées totales et de 61 à 285 % des pertes carbonées totales. Ces résultats démontrent, dans le cadre de l'expérimentation, le caractère inapproprié de telles chambres dynamiques flottantes pour évaluer des facteurs d'émissions gazeuses au stockage du lisier. Les cinétiques d'émissions soulignent l'importance des périodes de mesures et de leur durée dans la détermination des facteurs d'émissions.

Measuring gaseous emissions from stored pig slurry

The study tested the use of dynamic floating chambers to measure emissions factors of ammonia (NH_3), nitrous oxide (N_2O) methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2) from stored pig slurry and measured the variations of the emissions in time and space. In 2006, dynamic floating chambers were used for the continuous measurement of gaseous emissions from two experimental tanks filled with fattening pig slurry stored for two summer months and in a pit filled repeatedly with mixed slurry between October and March. To check the influence of air speed on gaseous emissions, each tank was fitted with a chamber : one operating with an air speed at the surface of the slurry of 0.01 m/s, the other with a speed of 1 m/s. To ascertain the spatial variability of the emissions, two identical chambers were used for the pit : one was regularly displaced across the surface of the slurry ; the other was fixed throughout the storage period. The measurements obtained were compared with the nitrogen and carbon input-output mass balances of the slurry. The results indicated that the measured gaseous emissions explained 4 to 38% of the total nitrogen losses and 61 to 285% of the total carbon losses. The use of such dynamic floating chambers is not an appropriate method to evaluate the gaseous emission factors from slurry storage. The kinetics of the emissions underline the importance of measurement periods and their duration to measure emission factors.

INTRODUCTION

Actuellement, les facteurs d'émissions utilisés en France pour les calculs d'inventaire ou l'élaboration de cadastres d'émissions sont issus de références étrangères obtenues dans des élevages configurés différemment des élevages français. Or, Gac et al. (2007) mettent en évidence l'incidence des systèmes et pratiques d'élevage sur les émissions gazeuses. Pour faire face à la diversité des systèmes français et rendre possible l'acquisition de facteurs d'émissions pertinents, l'Institut de l'élevage, l'ITAVI, le Cemagref, l'INRA, le CITEPA et l'IFIP mettent au point une méthode simple de mesure des émissions gazeuses en conditions d'élevage, notamment au stockage (programme financé par l'ACTA).

Cette étude est un travail préalable qui a deux objectifs (i) tester la validité de chambres dynamiques flottantes pour mesurer des facteurs d'émissions au stockage de lisier, méthode largement utilisée sur ce poste d'émission et qui présente l'avantage d'être applicable en élevages, (ii) caractériser la dynamique des émissions gazeuses (NH_3 , N_2O , CH_4 et CO_2) au cours d'un stockage de lisier de plusieurs mois en fosse d'élevage, entre deux périodes d'épandage, avec des alimentations successives, afin de mesurer les variations temporelles et spatiales des émissions gazeuses. Il s'agit d'acquies les premiers éléments méthodologiques pour définir les périodes et durées propices à l'estimation de facteurs d'émissions gazeuses au stockage de lisier porcin.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

Afin de tester l'influence de la vitesse d'air utilisée dans les chambres dynamiques flottantes, deux stockages de $10,5 \text{ m}^3$ de lisiers porcins d'engraissement (issus de salles sur caillebotis intégral) sont réalisés en cuves expérimentales cylindriques hors-sol. Chaque cuve, en polyéthylène haute densité, a une capacité de $13,2 \text{ m}^3$ ($2,9 \text{ m}$ de diamètre). Les lisiers sont homogénéisés, échantillonnés et répartis dans les 2 cuves stockées à l'extérieur pour une durée de 2 mois, de début juin à fin juillet 2006. En fin de stockage le volume de lisier de chaque cuve est mesuré, homogénéisé avec une pompe (KSB, 220V, $8 \text{ m}^3/\text{h}$) et échantillonné.

Pour déterminer les cinétiques d'émissions, leur variabilité spatiale et les facteurs d'émissions en conditions d'élevage, une fosse à lisier cylindrique hors-sol découverte d'une capacité de 300 m^3 ($5,7 \text{ m}$ de rayon) est utilisée. Celle-ci est préalablement vidée, curée et nettoyée, puis alimentée par le bas, avec 5 apports de lisier de porc (engraissement et post-sevrage) répartis de mi-septembre 2006 à janvier 2007 et stocké jusque fin mars 2007. Chaque volume de lisier apporté est mesuré et échantillonné. Deux chambres dynamiques flottantes identiques fonctionnant avec une vitesse d'air intérieur de $0,01 \text{ m/s}$ sont placées en surface du lisier, l'une (FA) est fixée au centre de la surface de lisier pendant toute la durée du stockage, l'autre est déplacée régulièrement entre 3 emplacements prédéfinis (FB). En fin de stockage le lisier de la fosse est homogénéisé avec une pompe (LJM, 15kW, $360 \text{ m}^3/\text{h}$) pendant 8 heures, puis vidangée en 6 fois. Le volume de lisier extrait à chaque vidange est mesuré et échantillonné. Le volume des boues encore présentes en fond de fosse après les séquences d'extraction, est également mesuré et échantillonné.

Les échantillons de lisier et de boues prélevés sont analysés sur les paramètres suivants : masse volumique, matière sèche, pH, carbone total, azote total, azote ammoniacal, phosphore, potassium.

Le volume et la composition de tous les apports et vidanges réalisés sur la fosse, permettent de réaliser un bilan massique azote, carbone, phosphore et potassium. Les bilans des éléments non volatils (P et K) sont utilisés pour valider l'échantillonnage des effluents.

1.2. Mesures des émissions gazeuses des lisiers stockés

Les mesures des émissions gazeuses sont réalisées en continu au cours de périodes de mesures totalisant, respectivement pour les cuves expérimentales et la fosse, 39 jours répartis sur 54 jours de stockage et 88 jours répartis sur 193 jours de stockage.

Pour les deux modalités de stockage, des chambres flottantes de volatilisation en PVC (Peu, 1999) constituées d'un socle en polystyrène carré ($1,20 \text{ m}$ de côté) sont utilisées. Leur volume est de $0,046 \text{ m}^3$. Posées en surface du lisier, elles créent une circulation d'air sur $0,114 \text{ m}^2$ recouvert.

Pour les cuves, 2 vitesses de circulation d'air en surface de lisier dans les chambres flottantes sont appliquées : la chambre de la cuve 1 (C1) est modifiée pour obtenir une vitesse proche de 1 m/s ; la chambre de la cuve 2 (C2) a une vitesse d'environ $0,01 \text{ m/s}$.

C1 est alimentée avec de l'air comprimé et le débit de sortie est de 75 L/min . Le débit de sortie de C2 est de 15 L/min . Une soupape située après l'entrée d'air, permet de maintenir l'intérieur de la chambre à la pression atmosphérique. Pour la fosse, les deux chambres (FA et FB) fonctionnent comme C2.

Les concentrations gazeuses sont mesurées par spectrométrie d'absorption infrarouge photoacoustique au moyen d'un analyseur de gaz (INNOVA 1412) couplé à un échantillonneur doseur 6 voies (INNOVA 1303). Les échantillons d'air sont prélevés successivement et automatiquement toutes les $1 \text{ min}30 \text{ s}$ pendant 15 minutes au niveau de la sortie des chambres flottantes et à l'extérieur. Les gaz analysés sont le NH_3 , le N_2O , le CO_2 , le CH_4 et la vapeur d'eau. Les tuyaux d'échantillonnage d'une longueur de 25 m en téflon (entre le lieu de prélèvement et l'analyseur) sont réchauffés et isolés sur toute leur longueur afin d'éviter la condensation.

Durant le stockage, les conditions climatiques (température et hygrométrie de l'air, vitesse du vent, hauteur des précipitations) sont mesurées à l'aide d'une station météorologique Campbell à 2 m au dessus du sol en espace ouvert. Les températures et humidités de l'air à l'intérieur des chambres dynamiques flottantes C2, FA et FB sont mesurées en continu au moyen de capteurs-enregistreurs TESTO 177-H1. Les mesures de température et d'humidité de l'air servent à calculer la masse volumique de l'air utilisée dans le calcul des gradients de concentrations en gaz.

Les émissions gazeuses moyennes horaires (gN/h et gC/h) sont calculées en multipliant les débits des chambres aux différentiels de concentrations gazeuses. Entre les périodes de mesures, les émissions sont interpolées linéairement. Les mesures des émissions gazeuses, correspondant aux $0,114 \text{ m}^2$ recouverts, sont extrapolées aux surfaces de stockage.

Les vitesses du vent à côté de FA et FB sont mesurées en continu par 2 anémomètres à coupelles (type INT 10).

2. RESULTATS

2.1. Conditions de stockage

Au cours du stockage en cuves expérimentales, les températures horaires extérieures sont comprises entre 9°C et 34°C avec une moyenne à 19,3°C. Au cours des 5 mois de stockage en fosse, les températures horaires extérieures sont comprises entre -3°C et 28°C avec une moyenne à 9,3°C : les températures extérieures (moyennes journalières) sont présentées sur la figure 1. Les températures dans les chambres flottantes suivent globalement les températures extérieures avec une moyenne légèrement supérieure, de 21,5°C pour C1 et 9,6°C pour FA et FB.

Au cours du stockage en cuves, la vitesse du vent extérieur mesurée avec la station météorologique varie entre 0,03 et 4,7 m/s (moyennes horaires) avec une vitesse moyenne de 1,7 m/s. Elle est considérée identique à la surface du lisier stocké dans les cuves, proche du bord. Au cours du stockage en fosse, les vitesses du vent mesurées avec les anémomètres varient entre 0,01 et 4,0 m/s avec une moyenne de 0,8 m/s.

2.2. Pertes totales azotées, carbonées et en eau au cours du stockage

La composition du lisier stocké en cuves expérimentales et dans la fosse (Tableau 1) correspond aux lisiers moyens français recensés par Levasseur (2005).

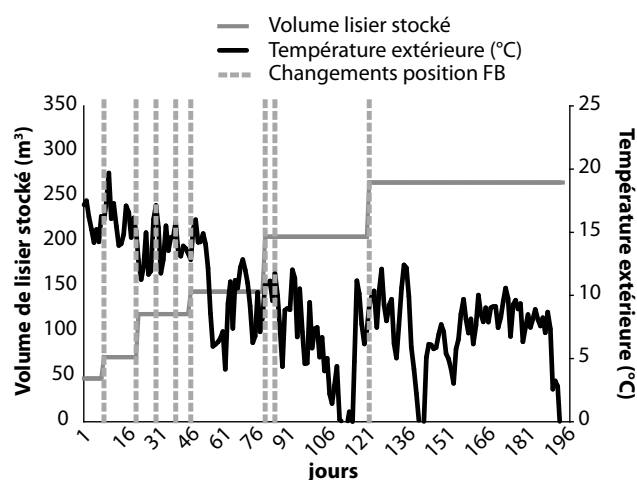


Figure 1 - Variation journalière des températures moyennes extérieures et des vitesses de vent moyennes au cours du stockage dans la fosse

Les bilans massiques des lisiers déterminent les pertes totales en azote, en carbone et en eau qui ont lieu pendant les périodes de stockage. L'erreur liée à la pesée, l'échantillonnage et les analyses physico-chimiques nécessaires à la réalisation du bilan est évaluée à l'aide des bilans massiques des éléments non volatils (phosphore et potassium). Les très faibles valeurs de bilans obtenues (Tableau 2) permettent de valider l'échantillonnage des lisiers.

Tableau 1 - Composition des lisiers stockés dans les cuves expérimentales et la fosse

	Densité (kg/l)	MS (%)	pH	NTK (g/kg)	NH ₄ ⁺ (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)	C tot (g/kg)
Lisier E début cuve 1	1,05	6,5	7,2	5,1	3,9	2,3	4,2	27,8
Lisier E fin cuve 1	1,01	6,6	6,9	5,4	4,2	2,6	4,8	28
Lisier E début cuve 2	1,05	6,5	7,3	5,0	3,8	2,5	4,1	25,9
Lisier E fin cuve 2	1,01	6,4	6,9	5,3	4,2	2,5	4,7	25,9
Lisier E apport 1 fosse	1,04	4,7	8,0	3,7	2,5	2,0	3,2	15,5
Lisier PS apport 2 fosse	1,04	4,3	7,6	2,5	1,3	1,6	1,8	16,5
Lisier E apport 3 fosse	1,03	4,8	7,9	3,2	2	1,9	2,6	12,4
Lisier PS apport 4 fosse	1,02	2,2	7,9	2,0	1,3	0,7	2,5	7,2
Lisier E apport 5 fosse	1,04	5,2	8,0	4,5	3,1	2,3	3,2	15,5
Lisier E apport 6 fosse	1,06	4,7	8,0	4,2	2,7	2,2	3,3	15,6
Lisier moyen apporté fosse *	1,04	4,6	7,9	3,6	2,4	1,9	2,9	14,3

* : pondération par la masse de chaque apport

Tableau 2 - Bilans massiques des lisiers des cuves 1 et 2 et de la fosse (entre le début et la fin des stockages)

	Masse (kg)	Volume (m ³)	MS (kg)	Eau (kg)	C tot (kg)	NTK (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)
Cuve 1 début	10847	10,4	700	10148	301	55,0	25,4	45,2
Précipitations des 2 mois	247	0,2	-	247	-	-	-	-
Cuve 1 fin	9434	9,3	623	8812	264	50,7	24,4	44,9
Pertes Cuve 1	1660	1,3	77	1583	37	4,3	1,0	0,3
% pertes Cuve 1	15 %	12 %	11 %	15 %	12 %	8 %	4 %	1 %
Cuve 2 début	11054	10,6	719	10336	286	55,7	27,8	45,3
Précipitations des 2 mois	247	0,2	-	247	-	-	-	-
Cuve 2 fin	9515	9,4	604	8911	247	50,5	23,5	44,4
Pertes Cuve 2	1786	1,4	115	1672	39	5,2	4,3	0,9
% pertes Cuve 2	16 %	13 %	16 %	16 %	14 %	9 %	14 %	2 %
Fosse : total apports 1 à 6	254361	265	11529	242832	3626	920	487	746
Précipitations des 5 mois	64221	64	-	64221	-	-	-	-
Fosse : total vidanges 1 à 6	252321	261	7483	244837	2676	713	390	622
Fosse : boues	40670	43	1891	38779	600	124	101	99
Pertes Fosse	25591	25	2155	23437	350	83	-4	25

Respectivement pour la cuve 1, la cuve 2 et la fosse, les bilans massiques indiquent des pertes azotées de 7 %, 9 % et 9 % de l'azote stocké (apport initial et apports successifs pour la fosse) et des pertes carbonées de 12 %, 14 % et 10 % du carbone stocké. Les pertes en eau représentent 15 %, 14 % et 8 % de l'eau stockée en tenant compte des précipitations.

2.3. Emissions gazeuses (NH₃, N₂O, CH₄, CO₂, H₂O) mesurées avec les chambres flottantes

Pour les cuves expérimentales, les émissions gazeuses azotées mesurées représentent, respectivement pour la cuve 1 (C1 : 1 m/s) et la cuve 2 (C2 : 0,01 m/s), 1,64 kg et 0,99 kg N-NH₃ et 13 g et 3 g N-N₂O (i.e. au total respectivement 3,0 % et 1,8 % de l'azote initial stocké). Les émissions carbonées des cuves mesurées sont de 3,2 kg et 4,3 kg C-CH₄ et de 19,5 kg et 23,9 kg C-CO₂ (i.e. respectivement 7,5 % et 9,8 % du carbone initial stocké) (Tableau 3). Les émissions mesurées en eau des cuves, respectivement par C1 et C2, sont de 1415 kg et 232 kg H₂O. Les émissions carbonées mesurées de la cuve 2 sont supérieures de 34 % (CH₄) et 23 % (CO₂) à celles de la cuve 1. Par contre, les émissions de NH₃, N₂O et H₂O sont respectivement inférieures de 40 %, 77 % et 84 %. Une analyse statistique (Test Student, P<=0,05) indique que les émissions mesurées de NH₃, N₂O, CH₄ et H₂O des cuves 1 et 2 sont significativement différentes. Ceci n'est pas le cas des émissions de CO₂.

Pour la fosse, les émissions gazeuses azotées mesurées, respectivement avec FA (fixe) et FB (mobile), représentent 5,2 kg et 3,6 kg N-NH₃ et 89 g et 43 g N-N₂O (i.e. respectivement 0,6 % et 0,4 % de l'azote stocké) et les émissions carbonées mesurées sont de 655 kg et 357 kg C-CH₄ et 344 kg et 190 kg C-CO₂ (i.e. respectivement 27,6 % et 15,1 % du carbone stocké). Les émissions mesurées par FA sont supérieures à celles mesurées par FB : de 83 %, 81 %, 104 % et 42 % respectivement pour le CH₄, CO₂, N₂O et NH₃. La tendance est observée pendant toute la durée du stockage.

Pour les différentes modalités de stockage, les émissions azotées mesurées se font en quasi-totalité sous forme de NH₃ (environ 99 %). Les émissions carbonées se font principalement sous forme de CO₂ pour les cuves (environ 85 %) et principalement sous forme de CH₄ pour la fosse (65 %).

2.4. Taux de recouvrement des pertes avec les mesures d'émissions gazeuses

Les émissions azotées (NH₃ et N₂O) des cuves expérimentales et de la fosse mesurées avec les chambres dynamiques C1, C2, FA et FB expliquent respectivement, 38 %, 19 %, 6 % et 4 % des pertes azotées mesurées par les bilans massiques des lisiers. Une partie des émissions azotées se fait sous forme de diazote et n'est pas mesurée (donc pas prise en compte dans le calcul du taux de recouvrement des pertes azotées). Néanmoins, le stockage des lisiers en fosse est essentiellement anaérobie et les émissions de N₂ sont considérées comme négligeables.

Au cours du stockage, les émissions carbonées ont lieu principalement sous forme de CO₂ et CH₄. Les émissions carbonées mesurées avec les chambres expliquent 61 % (C1), 72 % (C2), 285 % (FA) et 156 % (FB) des pertes en carbone estimées avec les bilans massiques des effluents. Les émissions d'eau mesurées expliquent 89 % (C1), 14 % (C2), 13 % (FA) et 15 % (FB) des pertes d'eau mesurées avec les bilans massiques.

2.5. Variations des émissions gazeuses du lisier de la fosse au cours du stockage

Au cours des 5½ mois de stockage du lisier dans la fosse (Figure 2), les émissions carbonées exprimées en gC-CH₄/j et gC-CO₂/j augmentent pendant les 2 premiers mois de stockage où 4 apports de lisier sont réalisés et le volume stocké passe de 46,8 m³ à 143,2 m³. Les émissions les plus importantes sont atteintes vers fin octobre puis diminuent ensuite à partir de novembre.

Les mêmes évolutions sont constatées en calculant les émissions moyennes exprimées en gC/m³/j pour chaque période associée à un volume de lisier stocké donné (Tableau 3).

Les émissions d'ammoniac augmentent rapidement au démarrage du stockage puis diminuent globalement jusqu'à la fin du stockage, sauf pour les émissions mesurées avec FA : elles sont relancées sur quelques jours fin octobre. Ce phénomène est concomitant au réajustement de débit de sortie de FA à 15 L/min (identique à FB). En raison d'un problème technique FA a fonctionné avec un débit de sortie de 3 L/min pendant les 39 premiers jours de stockage.

Tableau 3- Emissions gazeuses mesurées des cuves expérimentales et de la fosse

		Période (nbre de jours)	N-NH ₃	N-N ₂ O	C-CH ₄	C-CO ₂	H ₂ O
Emissions totales (kg)	Cuve 1 C1	Total (54 j)	1,64	0,013	3,2	19,5	1 415
	Cuve 2 C2	Total (54 j)	0,99	0,003	4,3	23,8	232
	Fosse FA	Total (193 j)	5,2	0,089	655	344	2 970
	Fosse FB	Total (193 j)	3,6	0,043	357	190	3 499
Emissions moyennes journalières (g/m ² /j pour NH ₃ et g/m ³ /j pour N ₂ O, CH ₄ et CO ₂)	Fosse FA	Mesures (88 j)	0,23	0,0014	21,96	14,47	
		46,8 m ³ (8 j)	0,36	0,0015	18,87	21,42	
		70,7 m ³ (7 j)	0,21	0,0026	23,18	30,76	
		118,3 m ³ (21 j)	0,21	0,0009	21,64	13,91	
		143,2 m ³ (16 j)	0,38	0,0021	40,35	19,94	
		204 m ³ (14 j)	0,26	0,0013	18,71	8,90	
		264,1 m ³ (22 j)	0,10	0,0011	12,85	7,56	
	Fosse FB	Mesures (88 j)	0,21	0,0014	13,5	8,9	
		46,8 m ³ (8 j)	0,47	0,0034	11,00	14,35	
		70,7 m ³ (7 j)	0,31	0,0019	12,72	18,87	
		118,3 m ³ (21 j)	0,28	0,0014	21,49	13,17	
		143,2 m ³ (16 j)	0,18	0,0011	18,93	8,64	
		204 m ³ (14 j)	0,14	0,0009	8,41	3,57	
		264,1 m ³ (22 j)	0,08	0,0009	6,79	3,58	

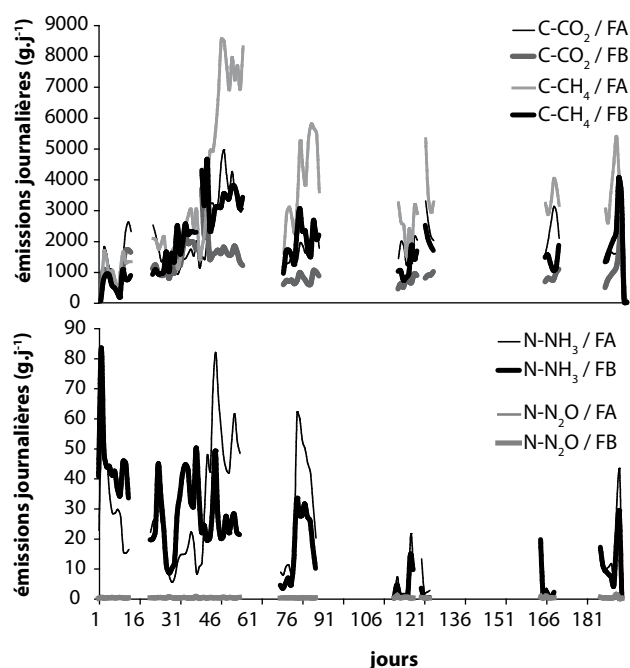


Figure 2 - Variations des émissions journalières carbonées et azotées mesurées de la fosse

Les émissions de N_2O varient peu et sont faibles au cours de la période de stockage et très faibles au regard des émissions azotées.

Pour l'ensemble des gaz les émissions moyennes horaires sont constatées très variables à l'échelle d'une journée. Leur variabilité intra journée est constatée supérieure à la variabilité inter journées des émissions moyennes journalières.

3. DISCUSSION

3.1. Incidence de la méthode de mesure sur les émissions gazeuses

La comparaison des émissions gazeuses mesurées avec les pertes globales estimées par les bilans massiques des lisiers (des cuves et de la fosse) montre que les chambres sous-estiment les émissions d'ammoniac. Les vitesses d'air appliquées aux surfaces de lisier recouvertes dans C2, FA et FB (0,01 m/s), bien inférieures aux vitesses de vent mesurées sur les surfaces de lisier découvertes, expliquent ces résultats, comme le démontrent Sommer et al. (1993) et Balsari et al. (2007). Ceci est confirmé par les résultats des cuves 1 et 2 qui indiquent des émissions d'ammoniac significativement différentes (Student, 0,05) selon la vitesse d'air appliquée (0,01 ou 1 m/s).

Les résultats montrent l'effet d'autres facteurs influençant les émissions d'ammoniac : la différence entre les émissions d'ammoniac mesurées des cuves 1 et 2 (< facteur 2) n'est pas

proportionnelle à la différence entre les deux vitesses de C1 et C2 (facteur 100). Les températures estivales ont pu fortement stimuler les émissions d'ammoniac comme le signale Balsari et al. (2007), d'autant que la température intérieure de C2 était légèrement supérieure à celle de l'extérieur.

Concernant les émissions carbonées, l'incidence des chambres diffère entre les 2 modalités de stockage (cuves et fosse) : les pertes y sont respectivement sous-estimées et surestimées par les émissions mesurées.

Pour les cuves, les émissions carbonées seraient plus importantes pour la partie du lisier découvert. La vitesse du vent y était supérieure (par rapport à l'intérieur de C1 et C2) : elle a pu stimuler la part des émissions carbonées (Sebacher et al., 1983) produites à l'interface lisier/air par des processus de dégradation microbienne aérobie (Moller et al., 2004). Ceci n'est pas confirmé en comparant les résultats entre cuves, car des émissions supérieures en méthane sont mesurées par C2, avec la plus faible vitesse d'air (0,01 m/s). Dans C2, les températures plus élevées liées au faible débit, peuvent être davantage responsables des émissions carbonées que la vitesse d'air.

Pour la fosse, la surestimation des pertes totales s'explique partiellement par la variabilité spatiale des émissions carbonées (Safley et Westerman, 1988). Ceci est confirmé par la différence significative entre les émissions carbonées mesurées par FA et FB. FA était plus proche de la zone de remplissage de la fosse que les différents emplacements de FB. Cette zone devait avoir une plus épaisse couche de boues en fond de fosse induisant des émissions carbonées supérieures. De plus, une fine croûte s'est formée sur la surface de lisier découvert au cours du stockage mais pas à l'intérieur de FA et FB. Cette croûte a limité les émissions carbonées au niveau de la surface découverte (Husted, 1994).

3.2. Facteurs d'émissions des lisiers stockés

D'après Steed et Hashimoto (1994), les processus à l'origine des émissions de CH_4 et CO_2 sont anaérobie et internes au lisier. Les chambres ne devraient donc pas modifier la proportion entre les deux gaz. C'est pourquoi nous avons utilisé les ratios moyens de leurs concentrations mesurées ($\Delta[C-CH_4]/\Delta[C-CO_2]$) au cours des stockages, pour évaluer les fractions respectives de CH_4 et CO_2 correspondant au défaut de carbone des bilans massiques des lisiers. Les facteurs d'émissions déduits (Tableau 4) avec les mesures de C1, C2, FA et FB sont respectivement de 9,4 g, 10 g, 6,4 g et 7 g $C-CH_4/m^3/j$ et 59,3 g, 63,3 g, 4,1 g et 4,7 g $C-CO_2/m^3/j$. Ces résultats attestent que les chambres n'ont pas affecté la proportion entre les 2 gaz car des facteurs très semblables sont obtenus entre C1 et C2, et entre FA et FB. Toutefois, cette hypothèse sera à confirmer car les résultats de Moller et al. (2004) obtenus à 15°C montrent une part significative de CO_2 produite à l'interface lisier/air par une dégradation microbienne aérobie, donc potentiellement dépendante de la vitesse d'air en surface

Tableau 4 - Facteurs d'émissions gazeuses estimés pour les cuves expérimentales et la fosse

	Gaz	Emissions totales estimées (kg)	Emissions / t lisier stocké (kg/t)	% émissions / C ou N stocké	Facteurs d'émissions
Cuves 54 jours de stockage (C1-C2)	N-NH ₃	4,3 - 5,2	0,40 - 0,47	7,8 - 9,3	12,1 - 14,6 g.m ⁻² .j ⁻¹
	C-CH ₄	5,4 - 5,1	0,49 - 0,47	1,9 - 1,8	9,4 - 9,1 g.m ⁻³ .j ⁻¹
	C-CO ₂	32,0 - 34,2	2,95 - 3,09	10,6 - 12,0	57,0 - 59,7 g.m ⁻³ .j ⁻¹
Fosse 193 jours de stockage (FA-FB)	N-NH ₃	82	0,32	8,9	4,1 - 5,5 g.m ⁻² .j ⁻¹
	C-CH ₄	211 - 230	0,83 - 0,90	5,8 - 6,3	7,3 - 9,5 g.m ⁻³ .j ⁻¹
	C-CO ₂	139 - 120	0,55 - 0,47	3,8 - 3,3	6,3 - 6,8 g.m ⁻³ .j ⁻¹

du lisier, contrairement aux émissions carbonées liées aux processus internes anaérobie.

Les émissions carbonées de la fosse sont inférieures à celles obtenues par d'autres auteurs dans des conditions d'élevages (entre, 49,8 et 66,6 g C-CH₄/m³/j, et 34,6 et 41,9 g C-CO₂/m³/j (Loyon et al., 2004 et 2007)). Ceci s'explique partiellement par le curage préalable de la fosse. Le manque de couche de sédiments initiale en fond de fosse, fortement chargée en carbone et abritant une flore méthanogène, a pu retarder les émissions (Sommer et al., 2007). Par ailleurs les émissions étant souvent mesurées avec des chambres flottantes, les références peuvent être biaisées par la méthode de mesure.

Les facteurs d'émissions d'ammoniac moyens obtenus, respectivement pour la cuve 1, la cuve 2 et la fosse avec FA, et FB, sont de 12,1 g, 14,6 g et 4,1 g et 5,5 g N-NH₃/m². Ces derniers sont globalement supérieurs à ceux de la bibliographie mesurés avec des chambres flottantes : entre 0,5 et 3,5 gN/m²/j (Balsari et al., 2007 ; Loyon et al., 2007). Par contre, ils sont proches de résultats obtenus avec des dispositifs de mesures ayant une vitesse d'air supérieure : 8,63 gN/m²/j en été avec 0,5 m/s (Balsari et al., 2007) et entre 3,9 g et 4,6 g N/m²/j en automne avec environ 4 m/s (Sommer et al., 1993).

3.3. Incidence des conditions de stockage sur les émissions gazeuses

Les résultats montrent des variations d'émissions entre périodes définies par le volume stocké. Jusqu'en novembre, l'augmentation du volume stocké a pu favoriser les conditions anaérobies : les bactéries ont dégradé le lisier frais, augmentant ainsi les émissions carbonées (Loyon et al., 2004). A partir de novembre, la température extérieure passe sous les 10°C. Cette température extérieure plutôt basse a donc pu inhiber la dégradation du carbone du lisier frais par les bactéries méthanogènes (Husted, 1994).

En conditions terrain, l'intervention de nombreux facteurs indissociables qui agissent proportionnellement différemment d'une saison à l'autre, rend difficile l'interprétation des émissions. Toutefois, obtenir de nouvelles dynamiques d'émissions en

conditions d'élevage avec des fosses régulièrement alimentées sur plusieurs mois est indispensable pour être capable de calculer des facteurs d'émissions à partir de mesures ponctuelles.

CONCLUSION

Cette expérimentation démontre l'importance de la méthode de mesure pour estimer des facteurs d'émissions gazeuses au stockage de lisier porcin. En comparant les émissions gazeuses mesurées aux pertes totales estimées par les bilans massiques des lisiers, les chambres dynamiques flottantes de 46 L avec une vitesse de 0,01 m/s ne semblent pas adaptées. Leur faible vitesse d'air interne, relativement à celles qui s'appliquent sur la surface découverte, explique partiellement les résultats obtenus sur l'ammoniac surtout et le méthane. Un autre biais tient au fait que la chambre ne recouvre qu'une partie restreinte de la surface de lisier stocké : utilisée fixe, elle ne peut pas prendre en compte l'éventuelle variabilité spatiale des émissions gazeuses. Enfin, la surface de lisier recouverte peut évoluer différemment de celle découverte (formation ou pas d'une croûte) et engendrer des émissions non représentatives de la surface totale. Il est donc nécessaire d'envisager de nouveaux dispositifs de mesures, restant simples à appliquer en élevages et moins perturbateurs de la surface d'émissions.

Au cours des 5 mois de stockage en fosse, la variabilité des émissions gazeuses mesurées dans le temps ne montre pas de forte incidence des apports. Les émissions carbonées semblent plutôt dépendantes du volume stocké qui est indissociable de la durée de stockage et des variations de température. Il semble nécessaire d'obtenir de nouvelles dynamiques d'émissions pour différentes configurations et périodes de stockage pour pouvoir identifier les périodes propices aux mesures ponctuelles destinées à calculer des facteurs d'émissions. Cela dit, sur la base de la variabilité des émissions mesurées, la durée de la mesure minimum semble être la journée.

REMERCIEMENTS

Etude financée dans le cadre des appels à projets de l'ACTA et du programme national de développement agricole et rural.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Balsari P, Airoldi G., Dinuccio E., Gioelli F., 2007. Ammonia emissions from farmyard manure heaps and slurry stores: effect of environmental conditions and measuring methods. *Biosystems Engineering*, 97, 456-463.
- Gac A., Béline F., Bioteau T., Maguet K., 2007. A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach. *Livestock Science*, 112, 252-260.
- Husted S., 1994. Seasonal-variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *Journal of environmental quality*, 23(3), 585-592.
- Lévasseur P., 2005. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement : quantités produites. ITP.
- Loyon L., Guiziou F., Picard S., Saint-Cast P., 2007. Réduction des émissions d'ammoniac au cours du stockage du lisier porcin : évaluation grandeur réelle d'une couverture de balles en polystyrène. *Journées Recherche Porcine*, 39, 49-54.
- Loyon L., Guiziou F., Béline F., 2004. Evaluation des émissions gazeuses (NH₃, N₂O, CH₄ et N₂O) d'une filière de traitement biologique aérobie de lisier de porc : résultats préliminaires. *Journées Recherche Porcine*, 36, 71-76.
- Moller H.B., Sommer S.G., Ahring B.K., 2004. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *J. Environ. Qual.*, 33, 27-36.
- Peu P., Béline F., Martinez J., 1999. A Floating chamber for estimating nitrous oxide emissions from farm scale treatment units for livestock wastes. *J. Agric. Engng Res.*, 73, 101-104.
- Safley L.M., Westerman P.W., 1988. Biogas production from anaerobic lagoons. *Biological Wastes*, 23, 181-193.
- Sebacher D.J., Harris R.C., Bartlett K.B., 1983. Methane flux across the air-water interface: air velocity effects. *Tellus. Ser. B*, 35, 103-109.
- Sommer S.G., Christensen B.T., Nielsen N.E., Schjorring J.K., 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. *Journal of agricultural Science*, 121, 63-71.
- Sommer S.G., Petersen S.O., Sorensen P., Poulsen H.D., Moller H.B., 2007. Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 78, 27-36.
- Steed J., Hashimoto A.G., 1994. Methane emissions from typical management systems. *Bioresour Technol.*, 50, 123-130.