

# Emissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote des porcs engraisés sur litière de paille

Paul ROBIN (1), Mélynda HASSOUNA (1), Claude TEXIER (2)

(1) INRA-UMR Sol-Agronomie-Spatialisation, 65, rue de Saint-Brieuc  
CS 84215, 35042 Rennes cedex

(2) ITP, La Motte au Vicomte, BP3, 35651 Le Rheu cedex

avec la collaboration technique de Antony LORRET (3), Philippe ROCHER (3), Olivier TURPIN (3) et Pierre PERRIN (4)

(3) ITP, Station d'Expérimentation Nationale Porcine, BP 18, 35850 Romillé

(4) INRA CSE, Domaine St-Paul - site Agroparc, 85914 Avignon cedex 9

## Emissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote des porcs engraisés sur litière de paille

L'engraissement de porcs sur litières de paille permet un abattement d'azote supérieur à l'engraissement sur caillebotis mais on connaît mal les quantités d'ammoniac et de protoxyde d'azote émises. De plus l'effet de la densité animale sur les pertes gazeuses a été peu étudié. L'objectif de ce travail est d'évaluer en élevage les émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote. Des mesures d'émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote ont été réalisées de 2001 à 2003 sur plus de six cents porcs, en Station Expérimentale et en élevage commercial, en hiver et en été. Deux méthodes de mesure ont été mises en œuvre, l'une basée sur des hypothèses de production de chaleur des animaux et de la litière, l'autre basée sur l'emploi d'un gaz traceur. Le traçage a permis de valider l'estimation par la méthode simplifiée à condition de tenir compte de la production de chaleur de la litière. L'effet de la densité animale sur les émissions est faible entre 1,0 et 1,4 m<sup>2</sup>/porc mais important à 2,6 m<sup>2</sup>/porc. A cette même densité on constate une baisse hivernale des émissions. Nous proposons un facteur d'émission d'ammoniac compris entre 15 et 25 % de l'azote excrété pour des porcs engraisés avec un taux de paillage compris entre 50 et 80 kg paille/porc sur une durée d'au moins dix semaines, ce facteur diminuant si la surface de litière dépasse 2 m<sup>2</sup>/porc (5-15 %), si le paillage augmente ou si la durée diminue. Les émissions de protoxyde d'azote sont voisines de la moitié de l'émission d'ammoniac.

## Ammonia and nitrous oxide emissions for finishing pigs bred on straw litter

The nitrogen loss in straw-based pig-on-litter systems is higher than in slatted-floor systems but the ammonia and nitrous oxide emissions are not well-known. Moreover, the effect of animal density on emissions has been little studied. Our objective was to evaluate ammonia and nitrous oxide emissions during pig breeding. Ammonia and nitrous oxide emissions were measured between 2001 and 2003 for over six hundreds of pigs, in experimental and commercial pig buildings, in winter and summer. Two measurement methods were used, the first one based on assumptions of animal and litter heat production, the second one based on a tracer gas. The tracer method confirmed the results of the simplified method provided the heat production of the litter is taken into account. The animal density effect is weak between 1.0 and 1.4 m<sup>2</sup>/pig but high at 2.6 m<sup>2</sup>/pig. At this low density, we observed an emission reduction during winter. We propose to use an ammonia emission factor between 15 and 25 % of excreted nitrogen for pigs bred on litter with an input between 50 and 80 kg straw/pig during at least ten weeks. This factor reduces when the litter surface is above 2 m<sup>2</sup>/pig (5-15%), when the straw input increases or when the duration reduces. Nitrous oxide emissions were close to the half of ammonia emissions.

## INTRODUCTION

Si l'élevage de porcs sur litière est peu représenté avec 6 % des places de porcs à l'engrais, ce mode d'élevage permet néanmoins des créations ou des aménagements d'élevage en réponse aux demandes sociales de bien-être animal, de réduction des nuisances olfactives et de différenciation de produit (CORPEN, 2003). Bien que peu nombreux, les élevages sur litière présentent une diversité importante de logement et de conduite (RAMONET et DAPPELO, 2003). La densité animale fait partie des paramètres de différenciation. Ainsi en engraissement, la surface de litière peut varier d'environ 1,2 m<sup>2</sup>/porc en élevage conventionnel à plus de 2,5 m<sup>2</sup>/porc en élevage label. A notre connaissance, ces choix ne résultent pas d'une optimisation technico-économique à l'instar de la densité animale en élevage sur sol ajouré qui résulte d'un compromis entre le coût du bâtiment et la réduction de croissance en fin de bande induite par une densité élevée. En engraissement sur litière, l'augmentation de surface par animal s'accompagne parfois d'un allongement de la durée d'élevage. Comme les animaux regroupent leurs déjections sur une zone privilégiée de la case, cet allongement conduit à un apport plus important de déjections sur la « zone de déjections » tandis que la baisse de densité animale permet d'accroître la surface de « zone de couchage ». L'effet d'un changement de densité animale sur l'émission ammoniacale a été constaté après le départ des premiers animaux en fin d'engraissement dans le cas d'une litière de sciure en couche fine (RAMONET et ROBIN, 2002).

S'appuyant sur 39 études expérimentales d'élevage en conditions variées pour lesquelles la conservation des éléments non volatiles (P, K, Cu ou Zn) était vérifiée, le CORPEN (2003) a constaté que la perte d'azote par voie gazeuse pouvait être estimée à 57 % de l'azote excrété en élevage sur paille et 72 % en élevage sur sciure. Ces valeurs relativement homogènes observées en élevage contrastent avec la diversité des pertes observées en conditions d'élevage contrôlées (de 45 à 80 %) ou en simulant une zone de couchage et une zone de déjection : absence de pertes de la zone de couchage ; pertes atteignant 100 % de l'azote apporté sur la zone de déjections (KERMARREC et ROBIN, 2002). Les travaux précédents n'ont cependant pas tenu compte de l'effet de la densité animale. Par ailleurs, les élevages sur litière peuvent, dans certaines conditions, conduire soit à de fortes émissions d'ammoniac (RAMONET et ROBIN, 2002) gaz impliqué dans la pollution locale par eutrophisation de milieux sensibles et dans les pollutions transfrontalières par les pluies acides, soit à de fortes émissions de protoxyde d'azote (GROENESTEIN et VAN FAASSEN, 1996 ; KERMARREC et ROBIN, 2002 ; NICKS et al, 2002), gaz à effet serre impliqué dans le changement climatique global.

L'objectif de ce travail est d'évaluer, en élevage, l'effet de la densité animale sur l'émission d'ammoniac et de protoxyde d'azote et de poursuivre l'acquisition de références d'émissions gazeuses azotées afin d'être en mesure de proposer *in fine* des « bonnes pratiques » de conduite de litière. Pour ce faire, des mesures d'émissions d'ammoniac et de protoxyde

d'azote ont été réalisées de 2001 à 2003, à la Station d'Expérimentation Nationale Porcine de l'ITP à Romillé et dans deux élevages commerciaux à densité animale contrastée.

## 1. MATÉRIEL ET MÉTHODE

### 1.1. Conditions d'élevage

Deux bandes d'engraissement de porcs ont été réalisées à la Station d'Expérimentation Nationale Porcine de l'ITP à Romillé, une l'hiver, une l'été, dans trois cases contiguës, conduites à même température ambiante et recevant un aliment standard sec et de l'eau à volonté. La ventilation était dynamique et régulée mais avec une ouverture protégée par un filet brise-vent sur la porte d'accès (long-pan). Trois paramètres ont distingué les traitements (tableau 1) : le poids à l'abattage (entre 115 kg et 145 kg de poids vif), la surface de litière (de 1,0 à 1,4 m<sup>2</sup>/porc) et les apports de paille (de 0,4 à 0,8 kg/porc.jour). La quantité initiale de paille était de 16 kg. La fréquence de paillage était nulle les trois premières semaines, de deux apports par semaine ensuite, puis de trois apports par semaine à partir de la septième semaine. Les porcs ont été abattus en deux fois. Cet élevage est noté « ITP » par la suite.

Une bande d'engraissement a été suivie en été dans un élevage commercial à densité animale « normale » (1,24 m<sup>2</sup> litière/porc). Le bâtiment était isolé thermiquement, la ventilation était statique et régulée manuellement par des volets, il comprenait une seule salle de 8m x 16m occupée par 103 porcs. Les animaux ont été élevés durant 14 semaines de 35 à 115 kg avec un seul abattage. Au début de la bande, 30 kg paille/porc ont été déposés dans le bâtiment puis 4 kg paille/porc ont été apportés toutes les semaines à partir de la sixième semaine soit au total, 70 kg paille/porc. Les animaux étaient en alimentation standard sèche avec de l'eau à volonté. Les mesures ont été réalisées entre 50 et 90 kg. Cet élevage est noté « B1 » par la suite.

Trois bandes d'engraissement ont été suivies dans un élevage commercial à densité animale « faible » (2,6 m<sup>2</sup> litière/porc), une en hiver dans deux salles, deux en été, la première dans deux salles et la seconde dans une salle. Chaque salle comprenait trois cases de 23 porcs chacune. Le bâtiment n'était pas isolé. Il était ventilé par une large ouverture (0,6 m<sup>2</sup>/porc) fermée par un filet brise-vent manœuvré manuellement et un lanterneau étroit en faîtage. Les animaux ont été élevés de 55 à 115 kg durant 13 semaines avec deux départs. Le paillage initial était d'environ 10 kg/porc puis l'apport était hebdomadaire, modulé en fonction de l'état de la litière. La consommation totale de paille était voisine de 80 kg paille/porc en hiver, plus faible et plus variable en été en fonction du climat. Les animaux étaient en alimentation standard sèche rationnée avec de l'eau à volonté. Cet élevage est noté « B2 » par la suite.

### 1.2. Mesure des émissions gazeuses

Deux méthodes de mesure des émissions gazeuses ont été mises en œuvre. La première, dite « méthode simplifiée »,

s'appuie sur une estimation de la production de chaleur totale produite dans le bâtiment (PHILLIPS et al., 1998), la chaleur produite par la litière est déduite des résultats obtenus par OLIVIERA (1999), le débit d'air est déduit de l'écart d'enthalpie entre l'air intérieur et extérieur, calculé à partir des mesures de température et d'hygrométrie de l'air. Une évaluation des émissions est alors possible en utilisant les mesures de concentration en gaz. Cette méthode permet de suivre un élevage de façon simplifiée à un rythme hebdomadaire. L'émission observée, confrontée aux bilans d'azote et d'eau en élevage (RAMONET et ROBIN, 2002) a montré une légère surestimation des émissions. La deuxième méthode, dite « traçage », s'appuie sur l'emploi d'un gaz traceur inerte, le SF<sub>6</sub>, méthode confirmée pour la quantification des émissions gazeuses (PHILLIPS et al, 2000). Le débit d'air est calculé en connaissant d'une part les concentrations en gaz traceur à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment, d'autre part le débit de gaz traceur injecté dans l'air intérieur du bâtiment. Cette méthode a été complétée par le calcul du débit d'air à partir de la décroissance de la concentration en gaz traceur qui suit l'arrêt de l'injection.

Les mesures nécessaires pour ces deux méthodes comprennent des mesures sur les animaux (nombre et poids, enregistrés dans les élevages puis estimés pour les journées de mesure), des mesures de température et d'humidité de l'air et des mesures de concentration en gaz.

Les mesures de température et d'hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment ont été réalisées par des capteurs-enregistreurs de température et d'hygrométrie (MICROLOG, TESTO), installés dans les salles d'élevage, au centre, à environ 1,5 m du sol et à l'extérieur durant les périodes d'engraissement. La fréquence d'acquisition a été fixée à

10 minutes. Régulièrement, des mesures de contrôle ont été réalisées à l'aide d'un thermo-hygromètre manuel (TESTO). Pour les mesures par traçage, les capteurs-enregistreurs ont été complétés par des thermo-hygromètres (VAISALA) reliés à une acquisition (CAMPBELL) effectuant des mesures toutes les 5 à 35 secondes (intérieur et extérieur respectivement) et une moyenne toutes les demi-heures. A l'extérieur, les capteurs étaient installés dans un abri ventilé.

Les concentrations en ammoniac et en protoxyde d'azote ont été relevées manuellement avec une périodicité comprise entre 8 et 15 jours au moyen d'un analyseur de gaz par spectrométrie d'absorption infrarouge photoacoustique de type 3426 (INNOVA) dans le cas de la première méthode de mesure des émissions. Les échantillons d'air ont été prélevés au voisinage des capteurs de température et d'hygrométrie à travers un filtre et un tuyau de polyamide installé dans chaque salle d'élevage et à l'extérieur. La durée de stabilisation des mesures variait entre 10 minutes (intérieur des salles) et 30 à 60 minutes (extérieur). La concentration moyenne pour chaque gaz était déduite d'une dizaine de mesures. Régulièrement, des mesures de concentrations en ammoniac ont été réalisées au moyen de tubes colorimétriques (DRÄGER) de façon à vérifier l'absence de dérive de l'analyseur. Dans le cas du traçage, les mesures ont été réalisées en continu grâce à un système comprenant un échantillonneur-doseur type 1303 couplé à un analyseur de gaz de type 1312 (spectromètre d'absorption infrarouge photoacoustique, INNOVA) pilotés par ordinateur.

L'échantillonneur-doseur possède six voies d'échantillonnage et six voies de dosage calibrées dont deux ont été utilisées pour cette étude. L'air à l'intérieur du bâtiment a été échantillonné à 4 endroits différents et pompé jusqu'à l'échantillonneur-doseur à travers un filtre et un tuyau de polyamide

**Tableau 1** - Caractéristiques générales des essais dont les émissions gazeuses ont été caractérisées

Essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bâtiment	ITP	ITP	ITP	ITP	ITP	ITP	B1	B2	B2	B2	B2	B2
N° salle	250	251	252	250	251	252	-	1	2	1	2	2
Saison	Hiver 2002	Hiver 2002	Hiver 2002	Été 2002	Été 2002	Été 2002	Été 2003	Été 2002	Été 2002	Hiver 2001	Hiver 2001	Été 2003
Durée (semaines)	18	14	20	21	21	16	13	13	13	13	13	13
Effectif	30	40	30	30	35	40	103	3x23	3x23	3x23	3x23	3x23
Poids initial (kg)	35	35	32	25	24	24	35	55	55	55	55	55
Poids final (kg)	146	117	146	143	144	110	115	115	115	115	115	115
Méthode de mesure <sup>(1)</sup>	simpl.	simpl.	Simpl.	Simpl.	Simpl.	Simpl.	Traçage	Simpl.	Simpl.	Simpl.	Simpl.	Traçage
Isolation du bâtiment	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Ventilation <sup>(2)</sup>	Dyn. Régulée	Dyn. Régulée	Dyn. Régulée	Dyn. Régulée	Dyn. Régulée	Dyn. Régulée	Stat. manuel	Stat. Élevée	Stat. Élevée	Stat. Élevée	Stat. Élevée	Stat. Élevée
Paillage initial (kg/porc)	16	58	16	16	16	16	30	10	10	10	10	10
Apports (kg/jour.porc)	0,8	0	0,5	0,5	0,7	0,6	≈0,6	≈0,6	≈0,6	≈0,6	≈0,6	≈0,6
Surface litière (m <sup>2</sup> /porc)	1,4	1,0	1,4	1,4	1,2	1,0	1,2	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
Nbre de départs des animaux	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2

<sup>(1)</sup> cf. § 1.2. ; *Simpl.* : Méthode simplifiée ;

<sup>(2)</sup> *Dyn.* : Ventilation dynamique ; *Stat.* : Ventilation statique.

par voie. Deux voies d'échantillonnage ont été utilisées pour l'extérieur et les tuyaux étaient en téflon. La stabilisation des mesures était plus rapide qu'avec l'analyseur 3426 utilisé pour la première méthode. Néanmoins, les deux premières mesures de concentration ont été systématiquement rejetées. L'injection du SF<sub>6</sub> a été réalisée à l'entrée d'une gaine de brassage percée de trous sur toute sa longueur et équipée d'un ventilateur permettant un taux de brassage d'environ 10 volumes/heure et favorisant la dispersion du gaz traceur et l'homogénéisation des concentrations en gaz dans le bâtiment. Le système a été adapté à chaque bâtiment (perçage de la gaine et taux de brassage) selon les recommandations de M. PHILIBERT (Saint-Nolff, 56).

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Conditions d'élevage

L'engraissement s'est déroulé dans des conditions normales sur les trois sites, aucun événement particulier (baisse de performance, mortalité, consommation alimentaire, état de la litière) ne nous conduisant à éliminer certaines bandes pour des raisons de représentativité.

La température des bandes d'hiver a varié entre 0 et 18°C à l'extérieur tandis qu'à l'intérieur, elle variait entre 17 et 22°C dans le bâtiment ITP et entre 4 et 16°C dans le bâtiment B2. Le bâtiment B1 n'a pas été suivi en hiver. En été, la température extérieure a varié entre 8 et 35°C tandis qu'à l'intérieur, elle variait entre 13 et 35°C, les conditions froides étant observées la nuit lors des mesures par traçage. L'amplitude de variation était accrue dans le bâtiment B1 en raison de la régulation manuelle de la ventilation et dans le bâtiment B2 en raison de la surface d'ouvrant importante.

Dans le bâtiment B2, la température intérieure suivait la température extérieure avec un écart généralement inférieur à 5°C.

### 2.2. Emissions d'ammoniac

Les émissions d'ammoniac ont été aussi variables au cours d'une bande qu'entre deux expérimentations pour l'ensemble des essais suivis à l'ITP (figure 1). Elles étaient comprises entre 200 et 600 mg N-NH<sub>3</sub>/h.porc durant le premier mois et 600 et 1200 mg N-NH<sub>3</sub>/h.porc en fin d'élevage. L'émission a été plus faible dans le bâtiment B2 où elle a varié entre 100 et 600 mg N-NH<sub>3</sub>/h.porc sur l'ensemble des essais d'été (deux salles suivies par la méthode simplifiée le premier été ; une salle suivie par traçage le deuxième été) et entre 30 et 200 mg N-NH<sub>3</sub>/h.porc pour les deux bandes d'hiver malgré un apport total et un rythme de paillage voisins de ceux du bâtiment B1.

Les mesures par traçage dans les bâtiments B1 et B2 ont permis de confirmer l'ordre de grandeur et la variabilité des émissions d'ammoniac au cours d'une bande. Les mesures en continu ont montré la hausse des émissions le jour et la baisse la nuit, ainsi que la variabilité hebdomadaire liée aux apports de paille. Ce résultat fait ressortir l'intérêt de l'estimation simplifiée des émissions, beaucoup moins coûteuse et plus rapide à mettre en œuvre que le traçage, à condition d'effectuer les mesures en période diurne, d'éviter les mesures juste après les apports de paille et de tenir compte de la production de chaleur de la litière. Le traçage s'est avéré robuste pour le suivi en continu des émissions sur plusieurs mois dans des bâtiments commerciaux, nécessaire à la validation des travaux conduits en station expérimentale. Les opérations de démontage-désinfection-remontage des

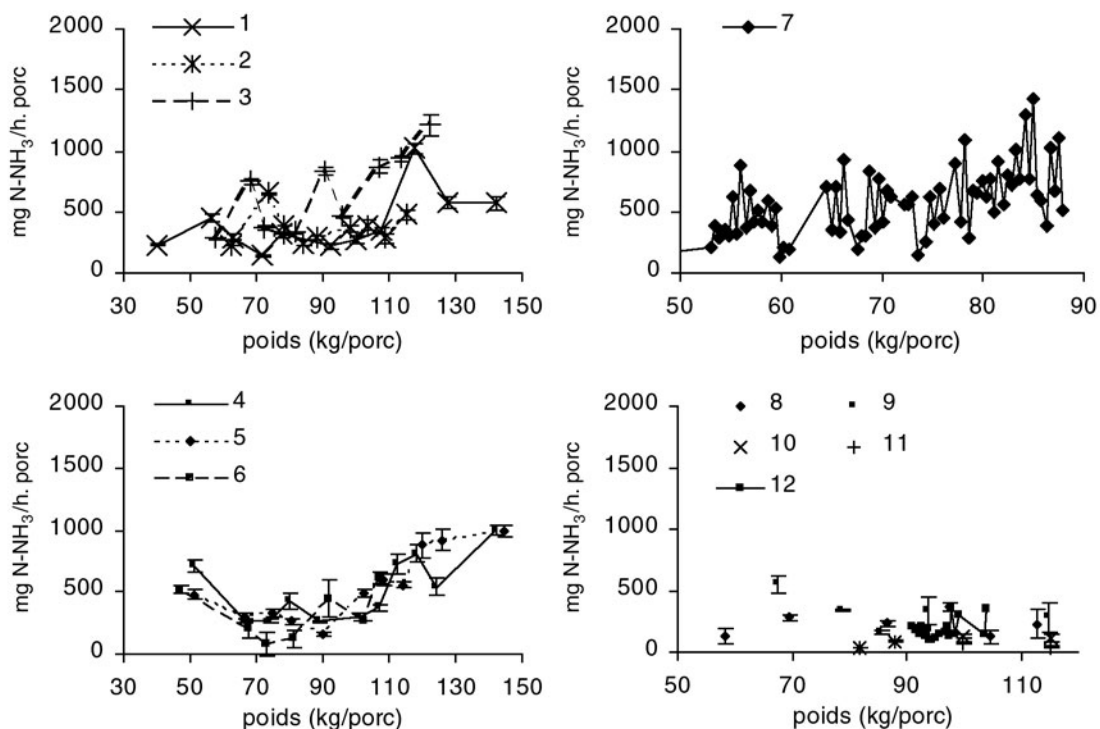
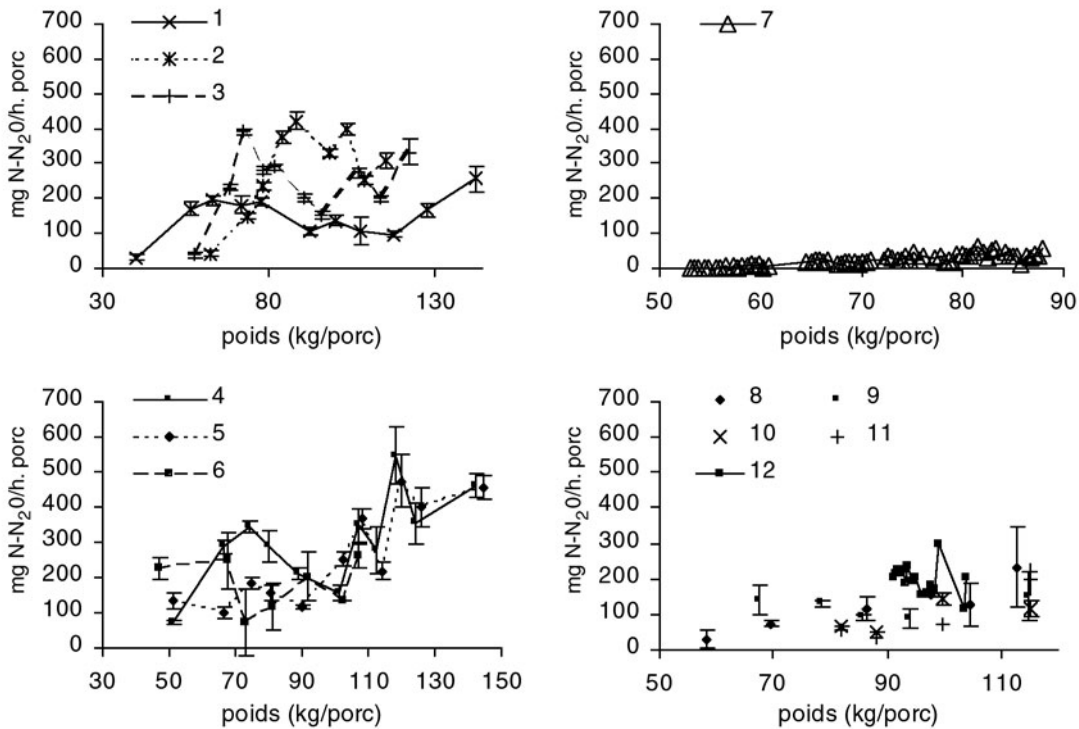


Figure 1 - Émissions d'ammoniac



**Figure 2** - Émissions de protoxyde d'azote

appareils de mesure lors d'un changement de bâtiment peuvent être effectuées en une journée à quatre personnes lorsque le système d'homogénéisation d'ambiance est installé dans les bâtiments.

### 2.3. Émissions de protoxyde d'azote

Les émissions de protoxyde d'azote observées dans le bâtiment ITP ont été aussi variables au cours d'une bande qu'entre deux traitements, comprises entre 30 et 300 mg N-N<sub>2</sub>O/h.porc durant le premier mois et entre 100 et 600 mg N-N<sub>2</sub>O/h.porc en fin d'élevage. Ces valeurs n'ont pas été confirmées lors des mesures par traçage dans le bâtiment B1 où les émissions sont restées inférieures à 100 mg N-N<sub>2</sub>O/h.porc. Dans le bâtiment B2, les émissions ont varié entre 30 et 300 mg N-N<sub>2</sub>O/h.porc en été et sont restées légèrement plus faibles en hiver, elles ont été confirmées par les mesures de traçage.

## 3. DISCUSSION

L'émission d'ammoniac a été peu affectée par les conditions de climat, d'élevage et de conduite de litière pour les bâtiments ITP et B1, c'est-à-dire pour des densités animales comprises entre 1,0 et 1,4 m<sup>2</sup>/porc avec des apports réguliers de paille en cours de bande et un bâtiment isolé thermiquement. Ce résultat sur la nature des émissions gazeuses va dans le même sens que celui du CORPEN (2003) pour l'abattement d'azote (i.e. la différence entre azote excrété et azote retrouvé dans le fumier). Il est du même ordre de grandeur que les valeurs observées au Royaume-Uni et au Danemark (100 à 400 mg NH<sub>3</sub>/h.animal ; GROOT KOERKAMP et al, 1998). Il nous permet de proposer un fac-

teur d'émission de l'ammoniac variant de 15 à 25 % de l'azote excrété pour des porcs engraisés avec un taux de paillage compris entre 50 et 80 kg paille/porc sur une durée d'au moins dix semaines.

L'émission d'ammoniac a été sensiblement plus élevée dans le bâtiment B1 que pour les expérimentations conduites à l'ITP si l'on compare les résultats entre 50 et 80 kg poids vif/porc. Cette émission accrue est accompagnée d'une forte diminution de l'émission de protoxyde d'azote. Nous avons constaté cette divergence des évolutions d'ammoniac et de protoxyde d'azote dans d'autres élevages. Elle ne peut s'expliquer par la différence de méthode de mesure (méthode simplifiée à l'ITP, traçage dans B1). Par contre, elle peut s'expliquer par l'extension de la zone de déjections au détriment de la zone de couchage. Dans ce cas l'humidité de la litière sature la porosité, empêchant la diffusion d'oxygène et freinant les biotransformations de l'azote ammoniacal qui requièrent la disponibilité de carbone et d'oxygène (MANCINELLI, 1992 ; VAN FAASSEN, 1992). L'évolution est irréversible dans la pratique car pour recréer une porosité libre à l'air dans ces zones, il faudrait y incorporer une quantité trop importante de litière fraîche. Lorsque cette situation intervient plusieurs semaines avant l'abattage, elle conduit aux valeurs élevées d'émission ammoniacale sans atteindre le maximum observé par RAMONET et ROBIN (2002 ; 63 % de l'azote excrété) en raison des apports réguliers de paille.

Lorsque la surface de litière par animal est nettement accrue (B2), la perte d'ammoniac est réduite, en particulier en hiver. L'effet hivernal peut s'expliquer par la baisse de température ambiante liée à la moindre isolation thermique du

bâtiment, au renouvellement d'air élevé et à la moindre production de chaleur des animaux par unité de surface au sol. La baisse de température n'est pas dommageable sur le plan zootechnique pour des animaux rationnés et si la surface de couchage sèche permet leur isolation thermique. L'effet observé en été ne s'explique pas par la température ambiante qui était voisine dans tous les bâtiments. L'effet de la conduite de litière ne suffit pas non plus à expliquer la moindre émission ammoniacale car la différence de conduite entre B1 et B2 est faible alors que les conduites variées testées à l'ITP ont amené des émissions similaires. C'est pourquoi nous attribuons la moindre émission ammoniacale à la densité animale. La baisse d'émission peut être due à une organisation accrue de l'azote ammoniacal. Cette hypothèse est cohérente avec l'émission significative de protoxyde d'azote observée durant tous les essais dans B2, émission qui accompagne les biotransformations de nitrification et dénitrification de l'azote. La densité animale peut agir indirectement sur l'organisation de l'azote ammoniacal via deux phénomènes. Premièrement, l'augmentation de surface de litière par porc entraîne une augmentation des échanges gazeux en surface. Lorsque la surface de zone de couchage (i.e. où la porosité n'est pas saturée de liquide) augmente, les échanges gazeux avec le cœur de la litière augmentent aussi entraînant une augmentation du volume de litière actif sur les biotransformations de l'azote utilisatrices de carbone et d'oxygène (compostage). Deuxièmement, l'augmentation de surface de litière par porc réduit la gêne des animaux lors de leurs déplacements. Nous pensons qu'il en résulte une activité accrue d'exploration de la litière amplifiant le nombre de « micro-retournements ». Dans le cas B2, cette activité était probablement accentuée par le mode d'alimentation des animaux (un repas rationné par jour et de l'eau à volonté) qui redirigeaient leur activité d'alimentation vers la litière. Des travaux expérimentaux supplémentaires sont nécessaires pour évaluer et pondérer ces deux effets. Nous penchons vers l'importance du second car l'effet « densité » n'est pas ressorti des essais conduits à l'ITP entre 1,0 et 1,4 m<sup>2</sup> litière/porc alors qu'un « seuil comportemental » peut exister entre 1,4 et 2,6 m<sup>2</sup>/porc du fait de la dimension des animaux. C'est pourquoi nous proposons un facteur d'émission ammoniacale compris entre 5 et 15 % de l'azote excrété dans le cas des bâtiments sans courette bétonnée où la surface de litière par animal dépasse 2 m<sup>2</sup>/porc.

Les émissions de protoxyde d'azote ont été voisines de la moitié des émissions ammoniacales et moins dépendantes du climat pour les bâtiments ITP et B2. L'émission de protoxyde d'azote a été notablement réduite dans B1 mais nous attribuons cela à l'humidité de la litière, ce qu'il n'est pas souhaitable de généraliser pour l'état des animaux et l'émission ammoniacale. Nous proposons donc d'utiliser un facteur d'émission du protoxyde d'azote compris entre 4 et 12 % de l'azote excrété pour les bâtiments à densité animale normale et compris entre 2 et 8 % pour les bâtiments à faible densité animale. L'organisation de l'azote étant nettement accrue lorsque la disponibilité du carbone augmente, il conviendrait de réduire ces facteurs lorsque les apports de litière dépassent 100 kg litière/porc.

## CONCLUSION

Ce travail conduit en station et en élevage a montré l'intérêt des mesures simplifiées d'émissions d'ammoniac et de protoxyde d'azote pour caractériser les facteurs d'émission de ces gaz. La validation de la méthode simplifiée reste souhaitable si des variations diurnes ou hebdomadaires risquent de remettre en cause la représentativité temporelle des mesures manuelles ou bien si la production de chaleur de la litière est susceptible de sortir des limites connues. Dans ce cas, le traçage permet des mesures continues sur plusieurs mois avec un investissement en matériel et personnel qui diminuerait avec le développement de modèles de fonctionnement.

Les émissions d'ammoniac en élevage sont moins variables que les expérimentations en conditions contrôlées ou *in vitro* ne le laissent supposer. Elles varient probablement entre 15 et 25 % de l'azote excrété pour des porcs engraisés avec un taux de paillage compris entre 50 et 80 kg paille/porc sur une durée d'au moins dix semaines, ce facteur diminuant si la surface de litière dépasse 2 m<sup>2</sup>/porc, si le paillage augmente ou si la durée diminue. Les émissions de protoxyde d'azote sont voisines de la moitié de l'émission d'ammoniac lorsque la litière est maintenue globalement aérobie par des apports de litière neuve.

La surface de litière par porc était le principal facteur de variation des émissions des élevages que nous avons caractérisés. Les variations observées résultent probablement d'une part de l'interaction densité animale-ambiance qui conduit à des températures hivernales froides, d'autre part de l'interaction densité animale-organisation de l'azote qui augmente avec les échanges gazeux au cœur de la litière et l'activité d'exploration et de mélange de la litière.

La prise en compte de l'élevage sur litière parmi l'ensemble des options techniques d'une exploitation d'élevage a permis dans quelques départements français d'engager un dialogue entre éleveurs et « opposants aux porcheries ». Il nous semble souhaitable de poursuivre les travaux scientifiques en élevage et en station permettant une meilleure compréhension de ce mode d'élevage et son optimisation technique sur des bases objectives.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le GIS « Porcherie Verte » pour son soutien financier à cette action et la valorisation des résultats qu'il favorise, ainsi que l'INRA pour l'acquisition du système de mesure d'émissions par traçage, Michel PHILIBERT pour sa contribution au système d'homogénéisation des gaz, Mmes et MM. DAUCÉ, COUDRAY et HARZO pour l'accueil dans leurs installations, MM. Jean-Marie PAILLAT, Jean-Claude FERREN, Rémy DUBOIS et Yannick BÉNARD pour leur participation aux expérimentations, MM. RAMONET et PONDAVEN pour leur contribution au montage du projet, le Conseil Général des Côtes d'Armor et MM. POCHON et LE BRIQUIR pour leur contribution au choix des bâtiments.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- C.O.R.P.E.N, 2003. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. MAAPAR - MEDD, 44p.
- VAN FAASSEN H.G., 1992. Proc. Workshop Deep Litter Systems for Pig Farming, 157-165.
- GROENESTEIN C.M., van FAASSEN H.G., 1996. J. Agric. Engng. Res., 65, 269-274.
- GROOT KOERKAMP P.W.G., METZ J.H.M., UENK G.H., PHILLIPS V.R., HOLDEN M.R., SNEATH R.W., SHORT J.L., WHITE R.P., WHITE J., SEEDORF J., SCHRÖDER M., LINKERT K.H., PEDERSEN S., TAKAI H., JOHNSEN J.O., WATHES C.M., 1998. J. Agric. Engng. Res., 70, 79-95.
- KERMARREC C., ROBIN P., 2002. Journées Rech Porcine, 34, 155-160.
- MANCINELLI R.L., 1992. Encyclopedia of Microbiology, vol. 3, 229-237.
- NICKS B., LAITAT M., DÉSION A., VANDENHEEDE M., CANARD B., 2002. Journées Rech. porcine, 34, 149-154.
- De 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. 264p.
- PHILLIPS V.R., HOLDEN M.R., SNEATH R.W., SHORT J.L., WHITE R.P., HARTUNG J., SEEDORF J., SCHRÖDER M., LINKERT K.H., PEDERSEN S., TAKAI H., JOHNSEN J.O., GROOT KOERKAMP P.W.G., UENK G.H., SCHOLTENS R., METZ J.H.M., WATHES C.M., 1998. J. Agric. Engng. Res., 70, 11-24.
- PHILLIPS V.R., SCHOLTENS R., LEE D.S., GARLAND J.A., SNEATH, R.W., 2000. J. agric. Engng. Res. 77 (4), 355-364.
- RAMONET Y., DAPELLO C., 2003. Journées Rech. Porcine, 35, 1-6.
- RAMONET Y., ROBIN P., 2002. Journées Rech. Porcine, 34, 143-148.

