

Effets de la surface disponible et du type de sol sur les émissions gazeuses lors de l'élevage de truies gestantes

François-Xavier PHILIPPE (1), Jean-François CABARAUX (1), Bernard CANART (1), Martine LAITAT (2), José WAVREILLE (3),
Nicole BARTIAUX-THILL (3), Baudouin NICKS (1)

(1) Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Département des Productions animales,
Boulevard de Colonster, 20, Bât. B43, B-4000 Liège, Belgique

(2) Université de Liège, Faculté de Médecine vétérinaire, Département clinique des animaux de production,
Boulevard de Colonster, 20, Bât. B42, B-4000 Liège, Belgique

(3) Centre wallon de Recherches agronomiques, Département de Productions et de Nutrition animales,
Rue de Liroux, 8, B-5030 Gembloux, Belgique

fxphilippe@ulg.ac.be

Avec la collaboration technique d'Aurélia Zizo (1)

Effets de la surface disponible et du type de sol sur les émissions gazeuses lors de l'élevage de truies gestantes

L'objectif de cette étude est de comparer les émissions de gaz polluants (NH₃, N₂O, CH₄, CO₂) lors de l'élevage de truies gestantes sur litière paillée en fonction de l'espace disponible (essai 1) et du type de sol (essai 2). Des lots successifs de 10 truies gestantes réparties en deux groupes homogènes sont utilisés pour l'expérience. Pour chaque groupe, l'hébergement consiste en une zone paillée à laquelle est accolé un bâti en béton sur lequel sont disposées cinq cages d'alimentation. Durant l'essai 1 (4 lots), l'accès aux cages est autorisé uniquement durant le repas (alimentation rationnée, 1 repas/jour d'une durée d'1 h) et l'espace disponible est de 2,5 ou 3,0 m²/truie selon le groupe. Durant l'essai 2 (3 lots), l'accès aux cages d'alimentation est autorisé en dehors des repas pour un des deux groupes. Ces truies disposent donc d'une zone bétonnée de 1,2 m²/truie et d'une zone paillée de 1,8 m²/truie. L'autre groupe dispose d'une surface de 3,0 m²/truie entièrement paillée. Les émissions gazeuses sont mesurées par détection photo-acoustique infrarouge durant 3 périodes de 6 jours consécutifs réparties sur la période de gestation. L'augmentation de la surface paillée disponible (essai 1) provoque une augmentation des émissions de NH₃ et une diminution des gaz à effet de serre (N₂O, CH₄ et CO₂). L'accès à la zone bétonnée sans modification de la surface totale disponible (essai 2) a peu d'effet sur les niveaux d'émissions de NH₃ et s'accompagne d'une diminution des émissions de N₂O et d'une augmentation des émissions de CH₄ et CO₂.

Effects of space allowance and floor type on gaseous emissions from gestating sows

This study aims to compare emissions of pollutant gases (NH₃, N₂O, CH₄, CO₂) from gestating sows kept on straw based deep litter depending on the space allowance (trial 1) and the floor type (trial 2). Successive batches of 10 gestating sows were divided in two homogeneous groups. For each group, pen consists in a bedded area placed beside five feeding stalls on concrete floor. For trial 1 (4 batches), the access to the stalls was prevented outside the feeding time (restricted diet, one meal a day during 1 hour) and the space allowance was 2.5 or 3.0 m²/sow for the two groups respectively. For trial 2 (3 batches), the access to the stalls was allowed outside the feeding time for one of the two groups. Space allowance of these sows consists in a concrete area of 1.2 m²/sow and a bedded area of 1.8 m²/sow. Space allowance of the other group consists in a bedded area of 3.0 m²/sow. The gas emissions were measured by infra red photoacoustic detection during 3 periods of 6 consecutive days throughout the gestation period. Increasing bedded space allowance (trial 1) enhanced NH₃-emissions but decreased N₂O-, CH₄- and CO₂-emissions. Free access to the concrete area without modification of space allowance (trial 2) had little impact on NH₃-emissions, decreased N₂O-emissions and increased CH₄- and CO₂-emissions.

INTRODUCTION

Les activités d'élevage ont un impact important sur l'environnement en contribuant notamment à l'émission de plusieurs gaz polluants (FAO, 2006). Les principaux gaz incriminés sont l'ammoniac (NH_3), responsable d'acidification des eaux et des sols et d'eutrophisation, et les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, CO_2 , protoxyde d'azote, N_2O et méthane, CH_4), impliqués dans le réchauffement climatique. L'agriculture est à l'origine d'environ 90 % des émissions totales de NH_3 et de près de 20% des émissions de gaz à effet de serre (FAO, 2006 ; IPCC, 2007 ; CITEPA ; 2009).

Outre les préoccupations environnementales, les attentes sociétales en termes de bien-être animal sont également grandissantes (Vanhonacker et al., 2009). L'effet de la densité animale sur le comportement des porcs élevés en groupe a été largement étudié (par exemple Spooler et al., 1999 ; Sarma et al., 2009). Chez les truies gestantes, l'augmentation de la surface disponible est associée à une amélioration du bien-être animal avec une diminution des niveaux de cortisol salivaire, des comportements agressifs et des blessures pouvant en résulter (Salak-Johnson et al., 2007 ; Remience et al., 2008). Au niveau législatif, la Directive européenne 2001/88/CE relative à la protection et au bien-être des porcs impose l'hébergement en groupe pour les truies gestantes et porte l'espace disponible à 2,25 m² par truie (+10% pour les groupes inférieurs à 6 individus, -10% pour les groupes supérieurs à 40 individus).

Si l'effet bénéfique d'une augmentation de la surface disponible sur le bien-être des animaux semble bien établi, l'impact sur l'environnement doit encore être confirmé, surtout lorsque des truies gestantes sont élevées sur paille, très peu de données étant disponibles à ce sujet.

Chez le porc charcutier, la réduction de la densité animale augmenterait les émissions de NH_3 lors d'élevage sur caillebotis (Guinand, 2007) mais diminuerait les émissions de NH_3 et de N_2O lors d'élevage sur paille (Basset-Mens et al., 2007).

Le type de sol a une influence importante sur les émissions gazeuses, mais des résultats contradictoires sont présentés dans la littérature. Ainsi, des études comparatives montrent des émissions d'ammoniac plus importantes tantôt avec le système sur caillebotis (Groot Koerkamp et al., 1998 ; Kermarrec et Robin, 2002 ; Kavolelis, 2006 ; Kim et al., 2008), tantôt avec le système sur litière (Groot Koerkamp et al., 1998 ; Philippe et al., 2007a ; Cabaraux et al., 2009). De même, selon les auteurs, l'accès à une zone bétonnée en sol plein réduit (Aarnink et al., 1996 ; Groot Koerkamp et al., 1998 ; Sun et al., 2008) ou favorise les émissions de NH_3 (Guinand, 2003 ; Groenestein et al., 2007 ; Philippe et al., 2007b).

Dès lors, l'objectif de cette étude est de comparer les émissions gazeuses (NH_3 , N_2O , CH_4 , CO_2) lors de l'élevage en groupe de truies gestantes sur litière paillée, d'une part, en fonction de l'espace disponible (essai 1 : 2,5 *versus* 3,0 m²/truie) et d'autre part en fonction du type de sol (essai 2 : sol entièrement paillé avec 3,0 m²/truie *versus* sol paillé de 1,8 m²/truie complété par un sol bétonné de 1,2 m²/truie).

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Logement

Pour le premier essai (étude de l'espace disponible), deux locaux identiques en superficie (30,2 m²) et en volume (103 m³) ont chacun été équipés d'une loge permettant d'héberger un groupe de 5 truies gestantes sur litière de paille accumulée. Chaque loge est composée d'une zone paillée de 12,5 m² (2,5 m²/truie) ou de 15 m² (3,0 m²/truie) à laquelle est accolé un bâti en béton surélevé de 30 cm sur lequel sont disposées les stalles individuelles d'alimentation. Chaque stalle a une longueur de 2,2 m pour une largeur de 0,55 m. Une mangeoire se trouve à l'avant de chaque stalle. Un dispositif de fermeture équipe les stalles permettant d'y maintenir les truies durant les repas et d'en empêcher l'accès en dehors des repas.

Pour le deuxième essai (étude du type de sol), les mêmes locaux ont été utilisés. La loge avec la zone paillée de 15 m² (3 m²/truie) est restée inchangée, l'autre loge ayant subi des aménagements. La surface de la zone paillée y a été ramenée à 9 m² mais, contrairement à l'autre loge, l'accès aux stalles d'alimentation est laissé libre en dehors des repas. La surface disponible est donc de 3 m²/truie, avec une zone paillée de 1,8 m² et une zone bétonnée de 1,2 m².

La ventilation des locaux se fait à l'aide d'un ventilateur extracteur dont le débit est automatiquement adapté pour maintenir la température ambiante constante. L'air frais entre par une ouverture de 0,34 m² qui communique avec le couloir de service du bâtiment. Les températures de l'air des locaux expérimentaux, du couloir de service et de l'extérieur du bâtiment sont mesurées automatiquement à raison d'une fois par heure. Le débit de ventilation est mesuré en continu (Exavent, Fancom®) et les moyennes horaires enregistrées.

Dans chaque loge, environ 145 kg de paille ont été disposés avant l'arrivée des animaux pour constituer une couche d'environ 30-40 cm. Pour un bon fonctionnement de la litière, de la paille a été régulièrement apportée au cours du temps en fonction de l'état de propreté des truies. Après le départ de chaque lot, les fumiers sont évacués et les loges nettoyées.

1.2. Animaux

Des lots successifs de 10 truies gestantes de type Landrace belge ont été utilisés pour l'expérience. Les truies sont réparties en 2 groupes homogènes de 5 individus en fonction de la parité, du poids corporel (PC) et de l'épaisseur de lard dorsal (ELD). Elles sont logées dans les locaux expérimentaux quatre semaines après insémination et jusqu'à deux semaines avant le terme de la gestation, soit pour une période d'environ 10 semaines. Quatre et trois lots successifs ont été hébergés respectivement pour le premier et le deuxième essai.

1.3. Alimentation

Les truies sont nourries de manière rationnée au moyen d'un aliment de gestation standard à base de céréales (Tableau 1). La quantité d'aliment est déterminée en fonction de la parité et de l'état corporel des truies. La ration journalière est apportée en un seul repas vers 8h30, les truies étant maintenues dans les stalles d'alimentation pendant environ 1 h. Un abreuvoir d'accès illimité est disposé dans chaque loge.

Tableau 1 - Composition et caractéristiques nutritionnelles de l'aliment

Composition (%)	
Froment	33,03
Rebulet de blé	12,50
Orge	11,90
Maïs	10,00
Pulpes de betterave	6,70
Tourteau de colza	5,00
Pois	4,60
Schilfers de palmiste	4,00
Cosses et coques de soja	4,00
Tourteau de tournesol	3,90
Complexe minéralo-vitaminé	2,44
Saindoux graisse de porc	1,73
Huile de lin	0,20
Caractéristiques nutritionnelles	
MS (%)	89,6
Protéine brute (%)	13,2
Matières grasses (%)	4,4
Cendres brutes (%)	5,1
Cellulose brute (%)	8,2
Amidon (%)	37,4
Sucres (%)	3,4
NSP ^a (%)	26,1
Energie nette (kcal/kg)	2120

^a : NSP correspond à Non-starch polysaccharides, polysaccharides non-amylacés, obtenu par l'équation : $100 - (\text{humidité} + \text{PB} + \text{MG} + \text{Amidon} + \text{sucres} + \text{cendres})$

1.4. Mesure des émissions gazeuses

Les concentrations en gaz de l'air des locaux et du couloir d'apport d'air frais ont été mesurées par un moniteur photo-acoustique infra-rouge (1312 Photoacoustic Multi-gaz Monitor, Innova[®]) équipé pour les mesures simultanées de NH₃, N₂O, CH₄ et CO₂.

L'air des locaux expérimentaux était prélevé en amont du ventilateur extracteur et celui du couloir à 1 m de l'entrée d'air. En présence de chacun des lots, les mesures ont été effectuées à trois reprises pendant des périodes de six jours consécutifs. Les périodes de mesure ont eu lieu lors de la 6^{ème}, 9^{ème} et 12^{ème} semaine de gestation.

L'appareil de mesure était programmé pour effectuer un cycle de quatre mesures par heure, à raison d'une toutes les 15 minutes, l'air étant prélevé successivement dans les deux locaux d'expérimentation, le couloir de service et à un quatrième point de contrôle.

Les émissions (E) ont été calculées sur base horaire et exprimées en mg/h en utilisant la relation suivante :

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

avec D, le débit massique horaire (kg air/h) ; C_i et C_e, les concentrations du gaz dans l'air du local et du couloir (mg/kg d'air sec).

Les débits massiques horaires (kg d'air/h) ont été calculés à partir des débits volumiques (m³/unité de temps) en tenant compte des températures de l'air.

1.5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées séparément pour chacun des essais. Les données de températures ambiantes, taux de ventilation, concentrations et émissions gazeuses ont été testées sous la forme d'un modèle mixte pour données répétées. Les analyses ont été effectuées séparément pour chaque essai avec les données combinées de tous les lots concernés (essai 1 : 4 lots ; essai 2 : 3 lots). Le modèle tient compte du type de logement (1 d.l.), de la période de mesure (2 d.l.), de l'interaction logement-période (2 d.l.), avec le lot comme effet aléatoire. Pour chaque analyse, les données horaires ont été utilisées avec 144 (24 heures x 6 jours) mesures successives par période. La corrélation entre mesures successives était étudiée en utilisant une structure auto-regressive de type 1 (SAS, proc MIXED). Les données zootechniques ont été testées par analyse de la variance (SAS, proc GLM). Pour les paramètres dont on dispose des données individuelles (parité, PC initial et final, ELD initiale et finale, nombre de porcelets nés vivants et totaux), le modèle étudie l'effet du type de logement (1 d.l.), du lot (2 d.l.) et de l'interaction logement-lot (2 d.l.). Pour les consommations alimentaires et les caractéristiques de l'effluent, dont on ne dispose que des données par loge, le modèle tient compte de l'effet du type de logement (1 d.l.).

2. RESULTATS

2.1. Performances zootechniques

Lors des deux essais, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour les paramètres d'état corporel, d'ingestion alimentaire et de prolificité des truies (Tableau 2). Les consommations alimentaires ont été proches de 3,0 kg pour le premier essai et de 2,7 kg pour le second essai, ce qui représente l'ingestion de 63,2 et 57,9 g/j d'azote et de 0,78 et 0,72 kg/j de NSP, respectivement.

2.2. Caractéristiques des litières

Les caractéristiques des litières sont présentées dans le tableau 3. Les apports de paille ont été identiques pour les deux traitements au sein de chaque essai, avec 1,33 et 0,90 kg/jour.truie pour le premier et le deuxième essai, respectivement. Le ratio fumier récolté/paille apportée était proche de 3,0 dans chacun des groupes. Le contenu en matière sèche (MS) était voisin de 30%. Le contenu en azote des litières représente une production journalière de 31 gN/truie dans chacun des groupes. Pour les litières, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements quant aux caractéristiques étudiées.

2.3. Concentrations et émissions gazeuses

Les concentrations en gaz (tableau 4) ne montrent aucune différence significative entre les traitements, à l'exception du CH₄ durant le premier essai ($P < 0,01$) et du N₂O durant le second essai ($P < 0,001$).

Concernant les émissions gazeuses (tableau 4), durant le premier essai, l'accroissement de la surface disponible se traduit par une augmentation de la production de NH₃ de 17% et une réduction des émissions de N₂O de 28%, de CH₄ de 33% et de CO₂ de 12%. Durant le second essai, l'accès à une zone bétonnée sans modification de l'espace total disponible

Tableau 2 – Performances zootechniques des truies

	Essai 1		Essai 2	
	2,5 m ² -Paille (n=4)	3,0 m ² -Paille (n=4)	3,0 m ² -Paille/Béton (n=3)	3,0 m ² -Paille (n=3)
Durée (j)	70,0 ± 5,0	70,0 ± 5,0	74,7 ± 4,6	74,7 ± 4,6
Parité	4,4 ± 1,3	4,6 ± 1,4	6,4 ± 0,7	7,1 ± 1,0
PC initial (kg)	202,9 ± 5,3	206,2 ± 7,8	215,7 ± 2,9	220,9 ± 8,4
PC final (kg)	255,4 ± 8,0	263,2 ± 10,3	261,0 ± 3,2	260,3 ± 8,7
ELD initiale (mm)	14,5 ± 2,4	15,2 ± 1,8	17,6 ± 1,3	17,8 ± 1,5
ELD final (mm)	20,7 ± 2,2	21,5 ± 3,1	21,7 ± 3,4	21,2 ± 2,0
Aliment ingéré (kg/j.truie)	2,99 ± 0,26	2,99 ± 0,22	2,74 ± 0,09	2,74 ± 0,14
Eau consommée (L/j.truie)	7,6 ± 1,9	7,0 ± 0,3	6,1 ± 1,0	6,1 ± 0,5
Nés vivants	11,0 ± 1,1	10,0 ± 1,1	10,8 ± 2,2	10,3 ± 2,2
Nés totaux	12,7 ± 0,9	11,1 ± 1,5	12,4 ± 2,8	11,3 ± 2,9

PC : Etat corporel, ELD : Epaisseur de lard dorsal

Tableau 3 – Caractéristiques des litières

	Essai 1		Essai 2	
	2,5 m ² -Paille (n=4)	3,0 m ² -Paille (n=4)	3,0 m ² -Paille/Béton (n=3)	3,0 m ² -Paille (n=3)
Quantité récoltée (kg/j.truie)	3,93 ± 0,96	3,88 ± 0,42	2,97 ± 0,58	2,62 ± 0,41
Matière sèche (%)	28,8 ± 5,0	29,40 ± 4,29	32,8 ± 3,6	31,8 ± 1,6
Matière organique (%)	24,1 ± 4,4	25,15 ± 3,45	27,9 ± 2,8	26,7 ± 1,6
Azote total (%)	8,49 ± 1,36	8,05 ± 2,29	11,5 ± 0,7	10,5 ± 1,6
C/N	16,6 ± 1,8	19,22 ± 9,07	13,6 ± 2,2	14,5 ± 1,6
pH	8,24 ± 0,13	8,30 ± 0,18	8,61 ± 0,30	8,56 ± 0,11

C/N : Rapport carbone/azote

Tableau 4 – Paramètres d'ambiance relevés dans les locaux expérimentaux

	Essai 1		Essai 2	
	2,5 m ² -Paille (n=4)	3,0 m ² -Paille (n=4)	3,0 m ² -Paille/Béton (n=3)	3,0 m ² -Paille (n=3)
Température (°C)	18,7 ± 2,1	18,6 ± 2,0	19,3 ± 1,6	19,2 ± 1,3
Ventilation (m ³ /h.truie)	263 ± 84	240 ± 57	336 ± 175	305 ± 146
Concentrations				
NH ₃ (ppm)	4,34 ± 1,24	4,82 ± 1,43	4,34 ± 1,87	3,92 ± 0,88
N ₂ O (ppm)	0,83 ± 0,35	0,70 ± 0,17	0,74 ^a ± 0,17	1,16 ^b ± 0,35
CH ₄ (L/m ³)	9,82 ^a ± 2,70	8,57 ^b ± 1,57	9,08 ± 3,19	8,59 ± 3,02
CO ₂ (g/kg)	0,71 ± 0,09	0,70 ± 0,08	0,75 ± 0,16	0,75 ± 0,16
Emissions (/j.truie)				
NH ₃ (g)	6,52 ^a ± 1,40	7,65 ^b ± 1,60	8,44 ± 1,03	7,50 ± 0,81
N ₂ O (g)	3,89 ^a ± 1,76	2,80 ^b ± 1,10	3,16 ^a ± 2,41	6,14 ^b ± 0,90
CH ₄ (g)	15,21 ^a ± 8,08	10,15 ^b ± 2,99	12,77 ^a ± 2,57	9,90 ^b ± 0,28
CO ₂ (kg)	2,41 ^a ± 0,26	2,12 ^b ± 0,36	3,13 ^a ± 0,19	2,91 ^b ± 0,51

^{a,b} : Pour chaque gaz, au sein de chaque essai, les nombres agrémentés de lettres différentes diffèrent statistiquement entre eux (P<0,01)

tend à augmenter les émissions de NH₃ de 12,5% (P=0,052). Les émissions de N₂O sont réduites de moitié, alors que les émissions de CH₄ et de CO₂ sont augmentées de respectivement 29,0% et 7,6%.

L'évolution des émissions gazeuses en cours de gestation est présentée à la figure 1. Pour le NH₃, on n'observe pas d'évolution nette des émissions, contrairement aux autres gaz qui présentent un accroissement du niveau de production tout au long de la gestation. L'augmentation la plus importante est observée avec le N₂O pour lequel les émissions en début de séjour sont d'environ 1g/jour.truie pour atteindre en fin de séjour 5 à 10 g/jour.truie selon le traitement.

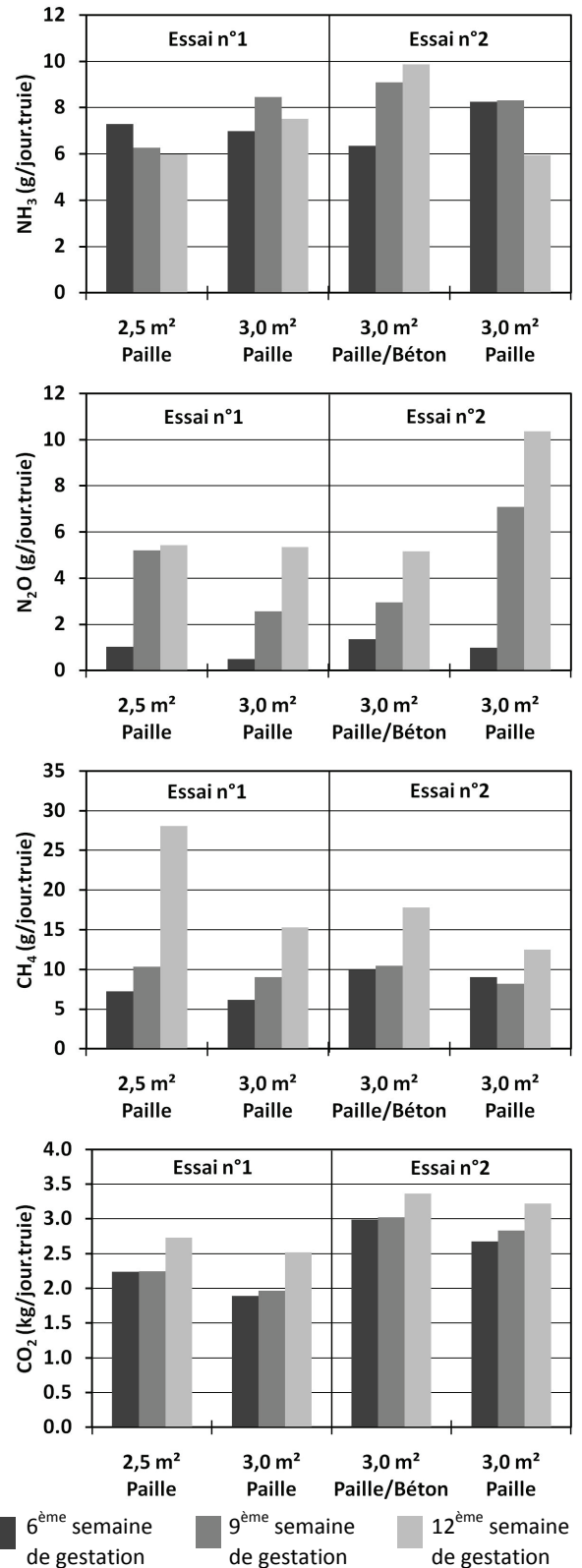
3. DISCUSSION

Les émissions d'ammoniac mesurées dans cette étude sont comparables à celles présentées dans la littérature pour des truies gestantes élevées sur litière, les valeurs variant généralement entre 7 et 15 g/jour.truie (Misselbrook *et al.*, 2000 ; Bos *et al.*, 2003 ; Gac *et al.*, 2007). En augmentant la surface disponible de 20%, les émissions de NH₃ exprimées par truie ont augmenté de 17%. On rejoint ainsi les résultats obtenus par Guingand (2007) avec des porcs charcutiers sur caillebotis qui observe une augmentation des émissions de 35% lorsque l'espace disponible est accru de 43%. L'explication provient de la surface d'échange effluent-air plus importante lorsque la densité diminue. Avec des porcs charcutiers élevés sur litière paillée, Basset-Mens *et al.* (2007) relèvent quant à eux des émissions de NH₃ doublées avec une superficie réduite de moitié. Ils expliquent ces résultats par une augmentation de la température ambiante et de la ventilation en cas de densité plus élevée. Dans notre étude, ces deux paramètres sont identiques entre les traitements. Avec les systèmes paillés, les propriétés physico-chimiques des litières peuvent fortement influencer les émissions. Ainsi, la production de NH₃ est favorisée par des températures élevées, un pH basique et une forte concentration en ions ammonium (Andersson *et al.*, 1996). Elle peut être diminuée par l'ajout de quantités supplémentaires de substrat, ce qui augmente le ratio C/N et favorise ainsi l'immobilisation de l'azote dans les protéines bactériennes (Dewes *et al.*, 1996 ; Sommer et Møller, 2000). Sur sol bétonné, il a été démontré que le développement de l'activité de l'uréase, enzyme microbienne fécale responsable de la synthèse d'ammoniac, était rapide et très élevé (Elzing et Monteny, 1997 ; Braam et Swijstra, 1999). Un modèle élaboré par Groenestein *et al.* (2007) pour des truies en groupe suggère une diminution des émissions d'ammoniac d'environ 85% avec la litière paillée en comparaison au sol bétonné. La localisation préférentielle de la zone de déjection influe également sur les émissions. Ainsi, en période estivale, les porcs ont tendance à choisir les surfaces pleines à la fois comme zone de déjections et de couchage afin de favoriser le refroidissement par évaporation (Aarnink *et al.*, 1996; Guingand, 2003; Huynh *et al.*, 2005). Cela a pour conséquence une augmentation des émissions de NH₃.

Le protoxyde d'azote est un sous-produit des réactions de nitrification/dénitrification qui convertissent le NH₃ en N₂, gaz non-polluant. Durant la nitrification, le N₂O est synthétisé en cas de manque d'oxygène et/ou d'accumulation de nitrite. Durant la dénitrification, il est synthétisé en cas de présence d'oxygène et/ou de faible disponibilité en hydrates de carbone

dégradables (Poth et Focht, 1985 ; Driemer *et al.*, 1997). Sa production nécessite donc la combinaison de zones aérobies proches de zones anaérobies. Cet environnement hétérogène est rencontré dans les litières, expliquant les émissions généralement plus élevées en comparaison à celles observées avec les lisiers, où le caractère anaérobie conduit à des émissions négligeables (Gac *et al.*, 2007 ; Philippe *et al.*, 2007a). Cependant, une grande variabilité des facteurs d'émission est

Figure 1 – Evolution des émissions gazeuses en cours de gestation



présentée dans la littérature, avec des valeurs allant de 0,03 à 10 g/jour pour des porcs élevés sur litière (Robin *et al.*, 1999 ; Nicks *et al.*, 2004 ; Gac *et al.*, 2007). Ainsi, des litières fortement poreuses sont peu productrices de N₂O (Veeken *et al.*, 2002). A l'inverse, des litières comportant de nombreuses zones anaérobies favorisent les émissions de N₂O (Kaiser et Van den Wegh, 1997). L'équilibre entre zones aérobies et anaérobies semble donc un critère déterminant sur lequel l'espace alloué et les apports de paille ont une influence combinée. Dans notre expérience, en augmentant la surface disponible de 2,5 à 3,0 m² (essai 1), on augmente également le taux d'aération de la litière dont une plus grande partie est en contact avec l'air. Les conditions plus aérobies induisent alors une réduction des émissions. Dans le second essai, la quantité de paille est identique pour les zones paillées de 3,0 et 1,8 m²/truie. Rapportés à la superficie, les apports de paille sont donc respectivement de 0,3 et 0,5 kg/m². Une étude a montré qu'une augmentation de la quantité de paille réduit les émissions de N₂O en raison de l'aspect plus aéré de la litière (Kermarrec et Robin, 2002). On peut ainsi expliquer les émissions plus basses obtenues avec la superficie paillée de 1,8 m²/truie. La quantité de paille permet aussi d'expliquer la différence d'émissions entre les essais 1 et 2 pour la surface de 3 m²/truie. En effet, les apports de paille ont été réduits entre les deux essais, passant de 1,33 à 0,90 kg/jour.truie, respectivement. Cela favorise des conditions anaérobies et donc les émissions de N₂O. De même, l'augmentation de la production en cours d'hébergement dans les quatre groupes s'explique par l'accumulation d'excrément et le tassement de la litière.

Le méthane provient de la dégradation strictement anaérobie de la matière organique (Hellmann *et al.*, 1997). En porcherie, les deux sources principales sont le tube digestif des animaux et les fermentations de l'effluent. La production entérique est directement fonction de l'ingestion de fibres et peut être estimée à partir de l'équation suivante (Philippe *et al.*, 2008):

$$\text{CH}_4 \text{ (g)} = 7,05 \text{ NSP (kg)} + 3,05.$$

Ainsi, le CH₄ issu du tube digestif équivaldrait 8,55 g/jour.truie pour le premier essai et de 7,84 g/jour.truie pour le second essai. La quantité de fibres ingérées étant similaire au sein d'un même essai, la différence entre les traitements provient des caractéristiques de la litière. Au sein de l'effluent, la méthanogenèse est principalement réalisée par une flore mésophile (25°-40°C) à un pH optimal de 7,0-7,2 (El-Mashad *et al.*, 2004). Elle est favorisée par des températures et un contenu en matière sèche élevés (Amon *et al.*, 2006 ; Haeussermann, 2006). La présence de paille dans l'effluent peut augmenter les émissions de CH₄, car elle accroît son contenu en MS et constitue une source de carbone supplémentaire pour la méthanogenèse. Par contre, elle peut limiter la production de méthane via une aération trop importante de la litière (Amon *et al.*, 2006 ; Yamulki *et al.*, 2006).

Dans le premier essai, la surface de contact entre l'effluent et l'ambiance étant plus importante avec la surface de 3,0 m²/truie, l'aération de la litière y est favorisée et la production de CH₄ limitée. Dans le second essai, la différence entre les groupes ne s'accroît qu'en fin de séjour, quand le tassement et l'accumulation des déjections favorisent des conditions anaérobies. C'est alors avec la plus petite zone paillée que l'on obtient les émissions les plus élevées.

Le dioxyde de carbone issu des porcheries provient principalement de la respiration des animaux, la contribution de l'effluent étant plus faible. La production de CO₂ respiratoire est fonction du poids corporel, des consommations alimentaires et de l'activité des animaux (CIGR, 2002). Dans notre étude, les deux premiers paramètres sont identiques entre les groupes comparés. Les différences observées dans les deux essais pourraient donc être expliquées par le niveau d'activité des truies. En effet, Remience *et al.* (2008) ont observé davantage d'agressions entre truies avec un espace disponible de 2,25 m²/truie comparé à 3,0 m²/truie. Une densité plus élevée augmente donc l'activité des truies avec comme conséquence, une production de CO₂ plus importante. Les émissions en provenance des litières, bien que réduites, ne doivent cependant pas être négligées. Des études menées avec des porcs charcutiers montrent des émissions allant de 0,2 à 0,5 kg/jour.porc tant à partir des lisiers que des litières (Philippe *et al.*, 2007a, Ni *et al.*, 1999 ; Jeppsson, 2000). La production au sein de l'effluent provient de l'hydrolyse de l'urée menant au NH₃ et au CO₂, mais surtout de la dégradation de la matière organique (Ni *et al.*, 1999). La synthèse de CO₂ y est favorisée par des températures élevées et un environnement anaérobie. Le niveau d'aération de la litière influence donc également les émissions. Il faut en outre tenir compte de la conjonction de différents paramètres tels la surface disponible, le taux de paillage, la quantité de déjections et le niveau d'activité des animaux. Ainsi, dans les groupes stables, l'activité des truies a tendance à diminuer en fin de gestation. A l'opposé, l'accumulation de déjections favorise les émissions.

Les émissions de gaz à effet de serre peuvent être exprimées en équivalents-CO₂ (Eq_{CO2}) en tenant de leur potentiel de réchauffement global (PRG). Pour le N₂O et le CH₄, le PRG vaut respectivement 310 et 21 fois celui du CO₂ sur une période de 100 ans (IPCC, 2007). Les émissions de N₂O, bien que relativement faibles, participent donc de manière importante au réchauffement global, leur contribution en terme d'Eq_{CO2} allant de 80 à 90% dans notre étude. En accord avec l'IPCC (2006), le CO₂ issus des activités d'élevage n'est pas pris en compte dans le PRG. Il est estimé que les quantités produites par les animaux sont compensées par la consommation de CO₂ lors de la photosynthèse effectuée par les plantes qui constituent les aliments ingérés. Néanmoins, nos résultats montrent des niveaux d'émissions différents entre les groupes alors que la composition de l'aliment, les ingestions alimentaires, les performances zootechniques et les conditions climatiques sont identiques.

CONCLUSION

L'augmentation de la surface paillée disponible de 2,5 à 3,0 m²/truie, bien que bénéfique pour le bien-être des truies, présente des résultats contradictoires d'un point de vue environnemental. En effet, on observe d'une part une augmentation des émissions de NH₃ mais d'autre part une diminution des gaz à effet de serre (N₂O, CH₄ et CO₂). L'accès à une zone bétonnée en complément à une zone paillée sans modification de la surface totale disponible a peu d'effet sur les niveaux d'émissions de NH₃, diminue les émissions de N₂O et augmente les émissions de CH₄ et CO₂.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarnink, A.J.A., vanden Berg, A.J., Keen, A., Hoeksma, P., Verstegen, M.W.A., 1996. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *J. agric. Engng Res.* 64, 299-310.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S., 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 153-162.
- Andersson, M., 1996. Performance of bedding materials in affecting ammonia emissions from pig manure. *J. agric. Engng Res.* 65, 213-222.
- Basset-Mens, C., van der Werf, H.M.G., Robin, P., Morvan, T., Hassouna, M., Paillat, J.M., Vertes, F., 2007. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. *J. Cleaner Prod.* 15, 1395-1405.
- Bos, B., Groot Koerkamp, P.W.G., Groenestein, K., 2003. A novel design approach for livestock housing based on recursive control - with examples to reduce environmental pollution. *Livest. Prod. Sci.* 84, 157-170.
- Braam, C.R., Swierstra, D., 1999. Volatilization of ammonia from dairy housing floors with different surface characteristics. *J. agric. Engng Res.* 72, 59-69.
- Cabaraux, J.F., Philippe, F.X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., Nicks, B., 2009. Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 130, 86-92.
- CIGR, 2002. Fourth report of working group on climatization of animal houses. Horsens, Denmark, p. 45.
- CITEPA, 2009. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France au titre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance et de la directive européenne relative aux plafonds d'émissions nationaux. CITEPA.
- Dewes, T., 1996. Effect of pH, temperature, amount of litter and storage density on ammonia emissions from stable manure. *J. Agric. Sci.* 127, 501-509.
- Driemer, J., Van den Weghe, H., 1997. Nitrous oxide emissions during nitrification and denitrification of pig manure. In: Voermans, J.A.M., Monteny, G.J. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on ammonia and odour control from animal production facilities*. Dutch Society of Agricultural Engineering, Wageningen, The Netherlands, Vinkeloord, The Netherlands, pp. 389-396.
- El-Mashad, H.M., Zeeman, G., van Loon, W.K.P., Bot, G.P.A., Lettinga, G., 2004. Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure. *Bioresour. Technol.* 95, 191-201.
- Elzing, A., Monteny, G.J., 1997. Ammonia emission in a scale model of a dairy-cow house. *Transactions of the ASAE* 40, 713-720.
- FAO, 2006. *Livestock's long shadow, environmental issues and options*. FAO, Rome.
- Gac, A., Beline, F., Bioteau, T., Maguet, K., 2007. A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach. *Livest. Sci.* 112, 252-260.
- Groenestein, C.M., Monteny, G.J., Aarnink, A.J.A., Metz, J.H.M., 2007. Effect of urinations on the ammonia emission from group-housing systems for sows with straw bedding: Model assessment. *Biosyst. Engng* 97, 89-98.
- 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., Hartung, J., Seedorf, J., Schroder, M., Linkert, K.H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O., Wathes, C.M., 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng Res.* 70, 79-95.
- Guingand, N., 2003. Influence de la mise en place de caillebotis partiel et de la taille de la case sur les émissions d'ammoniac et d'odeurs en engraissement. *Journées Rech. porcine* 35, 15-20.
- Guingand, N., 2007. Réduire la densité animale en engraissement: quelles conséquences sur l'émission d'odeurs et d'ammoniac ? *Journées Rech. porcine* 39, 43-48.
- Haeussermann, A., Hartung, E., Gallmann, E., Jungbluth, T., 2006. Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pig houses. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 115-121.
- Hellmann, B., Zelles, L., Palojarvi, A., Bai, Q.Y., 1997. Emission of climate-relevant trace gases and succession of microbial communities during open-window composting. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 1011-1018.
- Huynh, T.T.T., Aarnink, A.A., Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.H., Canh, T.T., Spoolder, H.A.M., Kemp, B., Verstegen, M.W.A., 2005. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 91, 1-16.
- IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007. Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jeppsson, K.H., 2000. Carbon dioxide emission and water evaporation from deep litter systems. *J. agric. Engng Res.* 77, 429-440.
- Kaiser, S., Van den Weghe, H., 1997. Regulatory control of nitrogen emissions in a modified deep litter system. In: Voermans, J.A.M., Monteny, G. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium : Ammonia and odour control from animal production facilities*, Vinkeloord, The Netherlands, pp. 667-675.
- Kavolelis, B., 2006. Impact of animal housing systems on ammonia emission rates. *Polish J. Environ. Stud.* 15, 739-745.
- Kermarrec, C., Robin, P., 2002. Nitrogenous gas emissions during the rearing of pigs on sawdust litter. *Journées Rech. Porcine* 34, 155-160.
- Kim, K.Y., Jong Ko, H., Tae Kim, H., Shin Kim, Y., Man Roh, Y., Min Lee, C., Nyon Kim, C., 2008. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *J. Environ. Manag.* 88, 195-202.
- Misselbrook, T.H., Van der Weerden, T.J., Pain, B.F., Jarvis, S.C., Chambers, B.J., Smith, K.A., Phillips, V.R., Demmers, T.G.M., 2000. Ammonia emission factors for UK agriculture. *Atmos. Environ.* 34, 871-880.
- Ni, J.Q., Vinckier, C., Coenegrachts, J., Hendriks, J., 1999. Effect of manure on ammonia emission from a fattening pig house with partly slatted floor. *Livest. Prod. Sci.* 59, 25-31.
- Nicks, B., Laitat, M., Farnir, F., Vandenheede, M., Desiron, A., Verhaeghe, C., Canart, B., 2004. Gaseous emissions from deep-litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. *Anim. Sci.* 78, 99-107.
- Philippe, F.X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., Nicks, B., 2007a. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livest. Sci.* 111, 144-152.
- Philippe, F.X., Canart, B., Laitat, M., Vandenheede, M., Cabaraux, J.F., Wavreille, J., Bartiaux-Thill, N., Nicks, B., 2008. Evaluation environnementale de la technique d'élevage des truies en groupe sur litière. *Projet n°2740/2. ULg, Liège. CRA-W, Gembloux*, p. 20.
- Philippe, F.X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M., Nicks, B., 2007b. Gaseous emissions during the fattening of pigs kept either on fully slatted floors or on straw flow. *Animal* 1, 1515-1523.
- Poth, M., Focht, D.D., 1985. N-15 kinetic-analysis of N₂O production by nitrosomonas-europaea - An examination of nitrifier denitrification. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 1134-1141.
- Remience, V., Wavreille, J., Canart, B., Meunier-Salaün, M.C., Prunier, A., Bartiaux-Thill, N., Nicks, B., Vandenheede, M., 2008. Effects of space allowance on the welfare of dry sows kept in dynamic groups and fed with an electronic sow feeder. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 112, 284-296.

- Robin, P., de Oliveira, P.A., Kermarrec, C., 1999. Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porcs durant la phase de croissance. Journées Rech. porcine 31, 111-115.
- Salak-Johnson, J.L., Niekamp, S.R., Rodriguez-Zas, S.L., Ellis, M., Curtis, S.E., 2007. Space allowance for dry, pregnant sows in pens: Body condition, skin lesions, and performance. J. Anim. Sci. 85, 1758-1769.
- Sarma, P.K., Saikia, S., Baruah, K.K., Bora, M.C., 2009. Effect of stocking density and floor space allowance upon the behaviour of growing-finishing pigs. Livest. Internat. 13, 20-22.
- Sommer, S.G., Moller, H.B., 2000. Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production - effect of straw content. J. Agric. Sci. 134, 327-335.
- Spoolder, H.A.M., Edwards, S.A., Corning, S., 1999. Effects of group size and feeder space allowance on welfare in finishing pigs. Anim. Sci. 69, 481-489.
- Sun, G., Guo, H.Q., Peterson, J., Predicala, B., Lague, C., 2008. Diurnal Odor, Ammonia, Hydrogen Sulfide, and Carbon Dioxide Emission Profiles of Confined Swine Grower/Finisher Rooms. Journal of the Air & Waste Management Association 58, 1434-1448.
- Vanhonacker, F., Verbeke, W., Van Poucke, E., Buijs, S., Tuytens, F.A.M., 2009. Societal concern related to stocking density, pen size and group size in farm animal production. Livest. Sci. 123, 16-22.
- Veeken, A., de Wilde, V., Hamelers, B., 2002. Passively aerated composting of straw-rich pig manure: Effect of compost bed porosity. Compost Science & Utilization 10, 114-128.
- Yamulki, S., 2006. Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. Agric. Ecosyst. Environ. 112, 140-145.