



# Etude de l'influence du refroidissement du lisier sur les émissions gazeuses de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> de porcs à l'engraisement

Nadine GUINGAND (1), Yvonnick ROUSSELIERE (1), Solène LAGADEC (2), Mélynda HASSOUNA (3)

(1) Ifip institut du porc, Pacé, France

(2) Chambre d'agriculture de Bretagne, Rennes, France

(3) Inrae UMR SAS, Rennes, France

[nadine.guingand@ifip.asso.fr](mailto:nadine.guingand@ifip.asso.fr)

Avec la collaboration technique de Loréna Girre, Romain Richard et Aurélien Collin de l'Ifip institut du porc et de Khaled Amin de la Chambre d'agriculture de Bretagne

## Etude de l'influence du refroidissement du lisier sur les émissions gazeuses de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> de porcs à l'engrais

L'objectif de cette étude est de déterminer comment le refroidissement du lisier peut contribuer à réduire les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et de méthane (CH<sub>4</sub>) d'un bâtiment d'engraisement de porcs. Ce refroidissement s'opère par la mise en œuvre de lisiothermie dans la préfosse où est stocké le lisier. L'étude s'est déroulée sur deux sites (1) au sein de la station expérimentale de l'Ifip à Romillé et en parallèle (2) dans un élevage commercial en Vendée. Sur le site de Romillé, deux types de lisiothermie ont été comparés, la lisiothermie de surface et fond de fosse, alors que seule la lisiothermie de fond de fosse était suivie dans l'élevage commercial. Pour les deux sites, une salle de configuration identique avec du lisier non refroidi servait de témoin. Le protocole appliqué aux deux sites est très proche (suivi des performances zootechniques, mesures des concentrations gazeuses, température et composition des lisiers). Le suivi en semi-continu des concentrations gazeuses avec un analyseur photoacoustique à infra-rouge des salles témoins et de celles équipées de lisiothermie dans les deux sites montre un faible effet du refroidissement du lisier sur les émissions d'ammoniac (inférieur à -20%) alors que les émissions de méthane étaient drastiquement réduites (jusqu'à 59% pour la lisiothermie de fond de fosse). La comparaison des deux lisiothermies montre que celle en fond de fosse se révèle être plus efficace sur la réduction des émissions de NH<sub>3</sub> et de CH<sub>4</sub> que celle installée en surface malgré la réduction importante des températures des effluents. Aucun effet n'a été mesuré sur les performances zootechniques.

## Influence of manure cooling on NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emitted by a pig-fattening building

The objective of this study was to determine how manure cooling can help reduce emissions of ammonia (NH<sub>3</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), and methane (CH<sub>4</sub>) from a pig fattening building. The temperature is decreased by placing a manure-cooling system in the pre-pit where slurry is stored. The study was conducted at two sites in France: (1) the Ifip experimental station in Romillé and (2) a commercial farm in Vendée. Two manure-cooling systems were compared (surface or bottom) at the experimental station, while only the bottom system was monitored on the commercial farm. At both sites, an identical room with non-cooled slurry served as a control. The measurement protocol applied to both sites was similar (e.g., zootechnical performances, gas concentrations, slurry temperature and composition). Semi-continuous monitoring of gas concentrations using an infrared photoacoustic analyser in both the control and slurry-cooled rooms at both sites revealed only a small influence of manure-cooling systems on NH<sub>3</sub> emissions (less than a 20% decrease), but a large influence on decreasing methane emissions (up to a 59% decrease). Comparison of the two manure-cooling systems revealed that the bottom system decreased gaseous emissions more than the surface system did, despite decreasing the temperature of the manure greatly. The systems did not influence zootechnical performance.

## INTRODUCTION

Les objectifs de réduction des émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et de gaz à effet de serre (GES) au niveau européen et donc français conduisent les acteurs de la filière à réfléchir aux différentes solutions applicables à plus ou moins long terme en conditions d'élevage. Avec plus de 60% des émissions de  $\text{NH}_3$  liées aux porcs charcutiers, ce stade physiologique fait l'objet de nombreuses recherches. Différentes stratégies peuvent être implantées au sein d'un bâtiment d'engraissement afin de réduire ses émissions gazeuses (Santonja *et al.*, 2017 ; RMT Elevage et Environnement, 2018). Leurs efficacités ne sont pas toujours corrélées à leurs complexités techniques. Certaines de ces stratégies sont fondées sur l'influence de facteurs majeurs de la volatilisation d'ammoniac dans l'équilibre  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  du lisier comme la température (Chaoui *et al.*, 2008 ; Pouliot *et al.*, 2011). Agir sur la température du lisier pour réduire les émissions de gaz implique l'installation de systèmes de lisiothermie plus ou moins facilement adaptables à la configuration de bâtiments existants. Ces systèmes sont basés sur la récupération des calories du lisier *via* un liquide caloporteur circulant dans un réseau installé dans le lisier au niveau de la préfosse.

L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence du refroidissement du lisier sur les émissions de  $\text{NH}_3$  et de GES de porcs charcutiers en fonction de deux types de lisiothermie (fond de fosse et surface) et de comparer les résultats obtenus en conditions expérimentales et en élevage pour la lisiothermie de fond de fosse.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. Salles et conduites

Pour la partie expérimentale, l'étude a été conduite au sein de la station de l'Ifip à Romillé (35) sur trois salles d'engraissement de configuration identique sur deux bandes de porcs élevés sur des périodes climatiques contrastées. Le sol est de type caillebotis intégral béton avec stockage des effluents en préfosse (profondeur : 80 cm utile) sur toute la durée de présence des animaux. La ventilation est de type dynamique avec l'entrée d'air par un plafond diffuseur alors que l'extraction est dite basse, sous caillebotis, à l'aide d'un ventilateur de 45 cm de diamètre. Chaque salle abrite un total de 54 porcs, de 30 à 110 kg, répartis en six cases de neuf animaux avec une surface de vie par porc de 0,79 m<sup>2</sup>. Les animaux sont alimentés à volonté avec un régime biphasé constitué d'un aliment présenté sous forme de granulés de type croissance (16,0% de matières azotées totales (MAT)) distribué jusqu'à un poids moyen de salle d'environ 65 kg et d'un aliment finition (14,5% MAT) distribué jusqu'à l'abattage. La distribution d'eau est assurée par un abreuvoir (bol économe) dans chaque case. Un seul départ abattoir est pratiqué pour faciliter la réalisation du bilan de masse.

Pour la partie élevage de l'étude, les mesures ont été réalisées sur un site naisseur-engraisseur en Vendée sur deux lots dans quatre salles identiques de 280 porcs répartis en huit cases de 35 porcs pour une surface de vie par porc de 0,7 m<sup>2</sup>. Les animaux sont élevés sur caillebotis intégral béton avec stockage des lisiers en préfosse (profondeur : 80 cm utile) sur toute la durée de présence des animaux. Les salles sont en ventilation dynamique avec entrée d'air par trappe et extraction double (basse et haute). La stratégie alimentaire est de type multiphasé (MAT décroissante de 16,1 à 13,4%) avec une présentation en soupe.

### 1.2. Description des systèmes de lisiothermie

La lisiothermie repose sur la captation des calories du lisier par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau glycolée dans notre étude) circulant dans un réseau tubulaire installé au contact du lisier dans la préfosse. Les calories sont ensuite exportées vers une pompe à chaleur puis évacuées vers une unité de stockage (ballon d'eau chaude dans notre étude).

En conditions expérimentales, deux systèmes de lisiothermie ont été comparés : la lisiothermie fond de fosse (FFExp) et la lisiothermie de surface (SurExp). Pour la première salle équipée de lisiothermie (salle FFExp), un réseau de 30 mètres linéaires de tuyaux PVC (diamètre 32 cm) est installé et fixé sur le sol au fond de la préfosse. L'espacement entre les tuyaux est de l'ordre de 20 cm ; le réseau est déployé sur l'ensemble de la surface de la préfosse et est laissé en contact direct avec le lisier produit progressivement par les porcs charcutiers, permettant ainsi le transfert des calories du lisier vers le liquide caloporteur. Contrairement à ce qui se passe en élevage, le réseau de tuyaux n'est pas enfoui dans une dalle béton. Pour la deuxième salle (Salle SurExp), deux radeaux représentant chacun la moitié de la surface de la salle ont été construits à partir de l'assemblage de tubes PVC (diamètre 75 – 6,0 m x 3,5 m). Ces radeaux servent de supports flottants au réseau de tuyaux de la lisiothermie de surface. Comme pour la lisiothermie fond de fosse, le réseau de tuyaux PVC (diamètre 32 cm) contenant le liquide caloporteur est d'environ 30 mètres linéaires et l'écartement entre les tuyaux est de l'ordre de 20 cm. Les radeaux permettent de maintenir un contact permanent entre le réseau de tuyaux et la surface du lisier pour le transfert des calories. A l'entrée en engraissement, un lit d'eau est déversé dans la préfosse de la salle afin d'assurer la flottaison des radeaux. Pour les deux salles impliquées dans la partie expérimentale, la puissance de refroidissement installée est de 20 W.m<sup>-2</sup>.

En conditions d'élevage, le système de lisiothermie étudié est en fond de fosse et est similaire dans sa conception à celui décrit pour la salle FFExp. Le réseau est néanmoins inséré dans une dalle béton coulée à la conception du bâtiment. La puissance de refroidissement installée est de 10 W.m<sup>-2</sup>.

En conditions expérimentales, les performances zootechniques et environnementales des deux salles équipées de lisiothermie sont comparées entre elles et à une salle de référence dont le lisier n'est pas refroidi (salle TExp). En condition d'élevage, la comparaison porte uniquement sur les performances environnementales entre une salle équipée de lisiothermie fond de fosse (salle FFElev) et une salle de référence où le lisier n'est pas refroidi (salle TElev).

Pour l'ensemble des systèmes étudiés, le liquide caloporteur est composé d'eau et de 33 % de glycol.

### 1.3. Mesures et enregistrements

En conditions expérimentales, les animaux sont pesés individuellement à l'entrée en engraissement, au changement d'aliment et la veille du départ pour l'abattoir. L'aliment distribué par case est pesé quotidiennement et les refus sont pesés au moment du changement d'aliment et lors du départ abattoir. La composition des aliments distribués par salle a été analysée (matière sèche, protéines totales et phosphore) à partir d'échantillons moyens constitués par des prélèvements réguliers faits dans les nourrisseurs au cours de l'engraissement. A l'abattoir, les carcasses chaudes sont pesées et les épaisseurs de gras (G3 et G4) et de muscle (M3 et M4) sont mesurées par Image Meater pour le calcul du taux de

muscle des pièces (TMP). Les caractéristiques des carcasses sont récupérées individuellement par porc à l'aide des bordereaux Uniporc. Les plus-values sont calculées à partir de la grille de paiement Uniporc 2023.

La hauteur de lisier est mesurée à différents endroits de chaque case tous les 15 jours permettant ainsi de calculer la cinétique de production du lisier et un volume moyen produit par porc. Un échantillon de lisier représentatif est collecté au changement d'aliment et immédiatement après le départ des animaux. Des prélèvements de lisier sont réalisés à différents endroits de chaque salle puis regroupés et homogénéisés manuellement. L'analyse des effluents porte sur le pH, la matière sèche (MS), l'azote total (N Kjeldhal), l'azote ammoniacal (Nammo) et le carbone total (Ct).

Concernant l'ambiance, les pourcentages de ventilation sont enregistrés par l'intermédiaire du boîtier de ventilation de chacune des salles à raison d'un enregistrement toutes les 15 minutes sur la durée de présence des porcs. A l'entrée des animaux, les débits de ventilation sont mesurés par pallier de pourcentage de ventilation afin d'établir la relation entre le pourcentage et le débit de ventilation, et pouvoir ensuite convertir les pourcentages de ventilation enregistrés pendant l'essai en débit ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ). La température ambiante est mesurée en continu à l'aide d'une sonde placée au centre des salles (EasyLog MOTE-TH, Lascar, UK). Des capteurs (EasyLog Wifi-T, Lascar, UK) positionnés dans des contenants étanches sont installés en surface du lisier et au fond de la préfosse pour enregistrer toutes les 15 minutes la température du lisier.

Les concentrations en  $NH_3$  (ammoniac), protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) et méthane ( $CH_4$ ) sont mesurées à l'aide d'un analyseur photoacoustique à infra-rouge (Innova 1512, Lumasens Technologies A/S, Danemark) couplé à un échantillonneur 6 voies (Innova 1409, Lumasens Technologies A/S, Danemark). Les mesures sont réalisées par l'analyseur par prélèvement d'air par l'échantillonneur dans l'ambiance toutes les 3 minutes, sur toute la durée de présence des animaux.

En condition d'élevage, pour chaque salle, les animaux sont pesés collectivement à l'entrée en engraissement puis individuellement à chaque sortie de la salle (mort ou départ à l'abattoir). L'aliment consommé est enregistré par salle pour chaque phase (nourrain, croissance, finition) et sa composition a été analysée (matière sèche, matière organique, protéines totales et phosphore). La hauteur de lisier a été mesurée en fin d'engraissement afin de calculer le volume de lisier produit par les animaux. Un échantillon de lisier est prélevé après le départ des animaux suivant le même protocole que celui utilisé en conditions expérimentales. Le taux de muscle des pièces à l'abattoir est récupéré à l'aide des bordereaux UNIPORC. Les débits de ventilation en  $m^3 \cdot h^{-1}$  sont estimés à partir des

pourcentages de ventilation enregistrés toutes les heures sur le boîtier de ventilation. Les températures de l'air ambiant et du lisier en fond de fosse sont enregistrées à l'aide de sondes DL 2010-TH (Voltcraft, Allemagne).

Les mesures d'émissions ont été réalisées avec la même méthode que celle utilisée en station expérimentale.

#### 1.4. Calculs et analyses statistiques

Les émissions de concentrations sont calculées en multipliant les concentrations moyennes horaires (en  $mg \cdot m^{-3}$ ) de chaque gaz par le débit moyen horaire de ventilation (en  $m^3 \cdot h^{-1}$ ) et sont exprimées en kg de N ou de C par place et par an. Le calcul par place intègre une rotation moyenne de trois porcs charcutiers produits par an. Les données sont soumises pour chaque essai à une analyse de la variance sous le logiciel R (R Core Teams, 2021) avec en effet fixe le traitement par liothermie pour comparer les performances zootechniques (poids, GMQ, caractéristiques de carcasses et IC) et environnementales (températures ambiantes, températures des lisiers, émissions gazeuses) avec la salle comme unité statistique. Les effets sont considérés significatifs pour une probabilité inférieure à 5%. Pour certains paramètres (volumes de lisier, consommation en eau des animaux...), l'analyse des données est restée au stade descriptif (moyenne et écart-type) du fait d'un nombre insuffisant de valeurs par modalité.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Performances zootechniques

Les performances calculées jusqu'à l'abattage des animaux sont présentées dans le tableau 1 pour les deux parties de l'étude. Pour la partie expérimentale, la comparaison des performances des trois salles ne met en évidence qu'une différence statistiquement significative sur le GMQ liée à une amélioration sur la période finition. L'ensemble des autres paramètres caractérisant les performances zootechniques ne permet pas de mettre en évidence de différence significative entre les salles.

Pour la partie élevage, les poids d'abattage des animaux de la salle FFElev sont très proches de ceux des animaux de la salle TElev. Les GMQ et IC global n'ont pas pu être mesurés en raison d'un problème d'enregistrement des données sur le logiciel d'alimentation.

### 2.2. Conditions d'ambiance

Les températures de l'ambiance et des lisiers en fonction des traitements sont présentées dans le tableau 2 pour la partie expérimentale et pour la partie élevage.

**Tableau 1** – Performances zootechniques des porcs impliqués dans l'étude (parties expérimentale et élevage)

Paramètres	Partie expérimentale				Partie élevage	
	Salle TExp	Salle FFEExp	Salle SurExp	ETR	Salle TElev	Salle FFElev
Poids vif à l'entrée (kg)	32,7 <sup>a</sup>	32,8 <sup>a</sup>	33,0 <sup>a</sup>	5,5	21,4	21,2
Poids vif à la sortie (kg)	119,3 <sup>a</sup>	120,9 <sup>a</sup>	119,2 <sup>a</sup>	10,6	111,6 ± 18,3	113,5 ± 22,8
GMQ global (en g/j)	917,3 <sup>b</sup>	954,3 <sup>a</sup>	931,7 <sup>ab</sup>	33,6	nm	nm
IC global (en kg/kg)	2,6 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	2,5 <sup>a</sup>	0,2	nm	nm
TMP	60,9 <sup>a</sup>	60,9 <sup>a</sup>	61,3 <sup>a</sup>	1,9	61,6 ± 1,1	61,4 ± 1,1
Plus-value (€/kg)	0,13 <sup>a</sup>	0,13 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	0,07	0,16 ± 0,07	0,16 ± 0,07

T : salle Témoin – FF : liothermie fond de fosse – Sur : Liothermie flottante – Exp : conditions expérimentales – Elev : conditions en élevage, nm : non mesuré (a,b) : en ligne, les valeurs suivies de lettres différentes présentent une différence statistiquement significative au seuil de 5%.

Sur l'ensemble des bandes étudiées en conditions expérimentales, la température moyenne extérieure par bande a varié de  $8,00 \pm 5,1$  à  $21,6 \pm 7,4$  °C et entre 16,3 et 31,9 °C pour la partie élevage.

Pour les deux parties de l'étude, les températures moyennes de l'ambiance des salles Témoin (TExp et TElev) varient entre 24,5 et 25,6 °C. Aucune différence significative n'est observée entre les températures ambiantes des salles équipées de lisiothermie et les salles témoin (parties expérimentale et élevage).

### 2.3. Températures du lisier

Pour la partie expérimentale, la température du lisier en surface et en fond de fosse de la salle TExp est inférieure à la température ambiante de la salle de, respectivement, -1,7 et -3,1°C.

Pour la salle FFElev, la température du lisier en fond de fosse est réduite de manière conséquente à  $14,5 \pm 1,9$ °C soit une différence de 10°C avec la température moyenne ambiante de la salle (24,5°C). Ainsi, pour une température ambiante équivalente entre les salles TExp et FFElev, l'écart de température du lisier en fond de fosse est de 8°C.

Pour la salle SurExp, l'écart entre la température ambiante et la température en fond de fosse est de 7,2°C soit un écart inférieur à celui calculé pour la salle FFElev. La température en surface n'est inférieure que de 5,4°C à celle de la température ambiante.

Pour la partie élevage, la température du lisier en fond de fosse de la salle FFElev n'est inférieure que de 0,5°C à celle du lisier de la salle TElev.

**Tableau 2** – Températures moyennes de l'ambiance et du lisier en fonction du traitement (parties expérimentale et élevage)

Paramètres	Partie expérimentale			Partie élevage	
	Salle TExp	Salle FFElev	Salle SurExp	Salle TElev	Salle FFElev
Température ambiante (°C)	$25,6 \pm 1,2$	$24,5 \pm 1,3$	$25,6 \pm 1,0$	$25,8 \pm 2,2$	$25,4 \pm 2,2$
Température du lisier en surface (°C)	$23,9 \pm 0,5$	$19,3 \pm 1,5$	$20,2 \pm 2,5$	nm	Nm
Température du lisier au fond (°C)	$22,5 \pm 1,4$	$14,5 \pm 1,9$	$18,4 \pm 2,6$	$23,2 \pm 1,6$	$22,7 \pm 1,8$

nm : non mesuré

### 2.4. Composition des lisiers

L'échantillonnage et l'analyse des lisiers réalisés en conditions expérimentales et en élevage ont permis d'établir les compositions moyennes des effluents présentées dans le tableau 3.

Pour la partie expérimentale, les teneurs en azote et en azote ammoniacal des lisiers de la salle FFElev sont plus élevées que celles des lisiers des salles TExp et SurExp. Aucune différence n'est observée sur les lisiers des salles TElev et FFElev.

**Tableau 3** – Compositions moyennes des effluents en fonction du traitement

Paramètres	Partie expérimentale			Partie élevage	
	Salle TExp	Salle FFElev	Salle SurExp	Salle TElev	Salle FFElev
Matière sèche (%)	$4,9 \pm 2,9$	$3,4 \pm 0,6$	$6,7 \pm 0,6$	3,8	4,2
Azote total (g/kg brut)	$4,0 \pm 1,5$	$5,2 \pm 0,3$	$3,5 \pm 0,6$	3,2	3,4
Azote ammoniacal (g/kg brut)	$2,9 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,5$	2,0	2,3

### 2.5. Emissions gazeuses

Les valeurs moyennes d'émissions de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>, exprimées en kg N ou en kg C.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> sont présentées dans le tableau 4.

Concernant l'ammoniac émis pour la partie expérimentale, les porcs de la salle TExp émettent 2,2 kg de N<sub>2</sub>NH<sub>3</sub>.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Les porcs de la salle SurExp émettent  $2,3 \pm 1,3$  kg N<sub>2</sub>NH<sub>3</sub>.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> ce qui correspond à la valeur de l'émission moyenne des porcs de la salle TExp. A l'inverse, les porcs de la salle FFElev émettent  $1,93 \pm 1,4$  kg N<sub>2</sub>NH<sub>3</sub>.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> soit 14% de moins que ceux de la salle TExp.

Pour la partie élevage, les porcs de la salle TElev ont une émission de  $1,9 \pm 0,9$  kg N<sub>2</sub>NH<sub>3</sub>.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Aucun effet de la lisiothermie n'est observé sur les émissions de NH<sub>3</sub> ; le niveau d'émission de la salle FFElev est identique à celui de la salle TElev. Ces faibles émissions peuvent être liées à la gestion de ventilation double flux qui améliore la qualité de l'air et donc limite les émissions d'ammoniac vers l'extérieur.

Concernant le N<sub>2</sub>O, l'émission des porcs de la salle de référence (TExp) est légèrement inférieure à 0,1 kg de N<sub>2</sub>O.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Les porcs des trois salles sont associés à des niveaux similaires de protoxyde.

**Tableau 4** – Emissions gazeuses en fonction du traitement

Paramètres	Partie expérimentale			Partie élevage	
	Salle TExp	Salle FFElev	Salle SurExp	Salle TElev	Salle FFElev
Emissions d'ammoniac (en kg N <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> .place <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )	$2,2 \pm 1,3$	$1,9 \pm 1,4$	$2,3 \pm 1,3$	$1,9 \pm 0,9$	$1,9 \pm 0,9$
Emissions de protoxyde d'azote (en kg N <sub>2</sub> O.place <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )	$0,08 \pm 0,08$	$0,08 \pm 0,08$	$0,09 \pm 0,08$	nc	nc
Emissions de méthane (en kg C-CH <sub>4</sub> .place <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )	$4,3 \pm 2,9$	$1,8 \pm 0,9$	$2,7 \pm 1,2$	$13,0 \pm 5,8$	$10,5 \pm 5,1$

nc : non calculée

Pour la partie élevage, les émissions de protoxyde d'azote n'ont pas pu être calculées.

Concernant les émissions de CH<sub>4</sub>, les porcs de la salle TExp émettent 4,3 kg par place et par an. Les porcs des salles sur lisiothermie émettent respectivement 59 et 38% de CH<sub>4</sub> de moins que les porcs de la salle TExp ; l'abaissement le plus élevé étant obtenu pour la salle FFEExp. Pour la partie élevage, les émissions de CH<sub>4</sub> sont nettement plus élevées qu'en conditions expérimentales. Une réduction de 19% des émissions de CH<sub>4</sub> est observée dans la salle FFElev par rapport à la salle TElev.

### 3. DISCUSSION

Dans la partie expérimentale, les performances des animaux de la salle TExp (Tableau 1 - GMQ et IC) sont supérieures aux valeurs moyennes (Ifip, 2023 ; GMQ : 842 g/j ; IC : 2,64) mais restent représentatives des performances des élevages de porcs français. L'analyse des performances ne met pas en évidence de différence entre les salles ; les deux systèmes de lisiothermie étudiés n'ont pas d'effet sur les performances des animaux. En conditions d'élevage commercial, les poids d'entrée sont proches entre les deux salles (Tableau 1). Une différence sur les poids de sortie est observée en faveur de la salle FFElev (113,5 ± 22,8 vs 111,6 ± 18,3 kg, *P* < 0,05) mais celle-ci est liée à un problème sanitaire dans la salle TElev ayant entraîné un nombre conséquent de morts. Cela ne permet donc pas de déterminer l'effet de la lisiothermie sur les performances zootechniques. Dans notre étude, la mise en œuvre de la lisiothermie en conditions expérimentales et en élevage n'a donc pas eu d'incidence sur les performances zootechniques des porcs à l'engraissement (Tableau 1).

Les températures ambiantes des salles TExp et TElev (Tableau 1) correspondent aux températures de salles conduites avec une température de consigne de 22 à 24°C à l'entrée en engraissement (Quiniou *et al.*, 2021) et dans des conditions d'élevage équivalentes (Guingand *et al.*, 2023). Dans notre étude, les salles équipées de lisiothermie (parties expérimentale et élevage) sont proches des températures de ces salles illustrant l'absence d'effet de la lisiothermie sur la température ambiante.

Les teneurs en matière sèche et en azote des lisiers des salles TExp et TElev (Tableau 3) sont inférieures aux valeurs fournies par Levasseur (2005). Pour la matière sèche, l'écart-type de 2,9 % pour la partie expérimentale est lié à l'augmentation de consommation en eau des animaux durant la période chaude (8,8 litres en période chaude vs 7,6 litres par porc et par jour en période froide) favorisant l'augmentation des volumes et la dilution de la matière sèche. La teneur en azote des lisiers des salles TExp et TElev sont inférieures à la valeur de 5,8 ± 1,4 g.kg<sup>-1</sup> fournie par Levasseur (2005) mais s'expliquent par les teneurs en MAT des aliments fournis aux porcs des deux parties de l'étude (plus faibles que pour le régime biphasé des valeurs de références de Levasseur (2005) soit 15,2 % pour la partie expérimentale et 14,5 % pour la partie Elevage).

Les émissions d'ammoniac de la salle TExp (Tableau 4) se situent dans la limite basse des émissions publiées dans la littérature avec des valeurs entre 2,5 et 3 kg pour des conditions similaires d'élevage (Philippe *et al.*, 2011 ; Santonja *et al.*, 2017 ; Guingand *et al.*, 2023). Avec un abattement de 14% pour la salle FFEExp, il semble difficile d'établir un effet de la lisiothermie fond de fosse sur les émissions d'ammoniac. Les résultats de la partie élevage aboutissent à la même conclusion. De même la lisiothermie de surface (salle SurExp) ne permet pas de réduire de manière

notable les émissions d'ammoniac. Concernant le protoxyde d'azote, les émissions de la salle TExp sont dans la limite basse de la littérature avec des valeurs entre 0,10 et 0,25 kg N<sub>2</sub>O.place<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (Philippe *et al.*, 2015 ; IPCC, 2019). Les émissions des salles FFEExp et SurExp sont identiques à celles de la salle TExp illustrant l'absence d'effet des deux types de lisiothermie. Concernant le méthane, l'émission de la salle TExp est en accord avec la littérature internationale (Philippe *et al.*, 2011 ; Osada *et al.*, 1998) ou obtenue dans des conditions similaires au sein de la station (Guingand *et al.*, 2023d) alors que celle de la salle TElev est beaucoup plus élevée du fait de l'absence de lavage des préfosse entre bande. Les sédiments qui s'accumulent en fond de fosse favorisent le développement de bactéries méthanogènes. Pour la partie expérimentale comme pour la partie élevage, la mise en place de lisiothermie a conduit à une forte réduction de l'émission de méthane (59% pour le fond de fosse et 38% pour la lisiothermie de surface) illustrant l'impact des températures sur l'activité des bactéries méthanogènes.

L'abattement de température du lisier a été effectif principalement en conditions expérimentales (Tableau 2) illustrant le bon fonctionnement des deux systèmes de lisiothermie. Néanmoins cela n'a pas conduit à un refroidissement de l'ambiance qui aurait pu être néfaste pour le confort des animaux et leurs performances zootechniques particulièrement en période froide. Cette différence d'abaissement de la température du lisier s'explique par un écart de puissance de refroidissement installée (20 W.m<sup>-2</sup> pour la partie expérimentale vs 10 W.m<sup>-2</sup> pour la partie élevage). Dans nos conditions d'étude, la lisiothermie en fond de fosse a été plus efficace pour réduire la température du lisier en surface et en fond de fosse que la lisiothermie de surface malgré une puissance de refroidissement installée identique. Cette réduction importante de la température (- 10°C par rapport à l'ambiance et - 8°C par rapport à la température du lisier de la salle TExp) contribue à faire évoluer l'équilibre NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> au sein du lisier. En effet, la formation de l'ammoniac résulte principalement de la dégradation de l'urée présente dans les urines par l'uréase, enzyme produite par des micro-organismes présents dans les fèces. Ce processus est principalement sensible à la température et au pH (Buscher *et al.*, 1997). L'augmentation de la température influence le coefficient de dissociation NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-NH<sub>3</sub>, favorise la diffusion qui lui est proportionnelle ainsi que l'activation des bactéries à l'origine de la décomposition de l'urée par l'uréase jusqu'à une température d'inactivation (Degré *et al.*, 2001). La réduction de la température du lisier explique donc la réduction des émissions d'ammoniac observée principalement pour les porcs de la salle FFEExp. Néanmoins, dans notre étude, le taux d'abattement observé sur l'ammoniac est faible par rapport aux valeurs fournies dans la littérature (Hansen *et al.*, 2013 ; Holm *et al.*, 2016) qui ont permis d'inscrire la lisiothermie sur la liste des meilleure technique disponible (Santonja *et al.*, 2017) pour les élevages de porcs soumis à l'actuelle directive sur les émissions industrielles. D'après Hansen *et al.* (2013), la réduction d'ammoniac est proportionnelle à la puissance de refroidissement installée avec un ratio de 10 % d'abattement par tranche de 10 W.m<sup>-2</sup>. Dans cette étude, les abattements d'ammoniac varient de 9,6 % pour une installation de 10 W.m<sup>-2</sup> à 51 % pour une installation de 55 W.m<sup>-2</sup>. De manière similaire, Holm *et al.* (2016) ont obtenu des abattements de 23 % pour une puissance installée de 20 W.m<sup>-2</sup>. Néanmoins, la température ambiante de la salle témoin dans l'essai d'Holm *et al.* (2016) était de 17°C et non pas de plus 25°C comme dans

notre étude. Dans nos conditions expérimentales, la puissance installée est de 20 W.m<sup>-2</sup>, ce qui d'après la relation proposée par Hansen *et al.* (2013) devrait conduire à un abattement de l'ordre de 20 % ; valeur proche des 14% calculés dans notre étude. De même, l'absence d'efficacité dans la partie élevage de cette étude est à relier avec une puissance de refroidissement moindre (10 W.m<sup>-2</sup> pour la partie élevage). L'amélioration de l'efficacité de la lisiothermie semble donc reposer sur la puissance de refroidissement installée. Cependant, Hansen *et al.* (2013) alertent quant à une augmentation démesurée de cette puissance qui pourrait conduire à un refroidissement drastique de l'espace entre la surface du lisier et le caillebotis. Cette chute de température pourrait avoir, selon Hansen *et al.* (2013), un impact négatif sur le confort des porcs à l'engrais et pourrait conduire à une dégradation des performances zootechniques particulièrement en période froide.

L'aspect innovant de cette étude réside dans le suivi des émissions de méthane. Pour les parties expérimentale et élevage, la mise en œuvre de la lisiothermie en fond de fosse a permis de réduire de manière conséquente ces émissions (59 % pour la partie expérimentale et 19 % pour la partie élevage). Les conditions de mesure ne permettent pas de faire la distinction entre le méthane entérique et celui produit par les effluents. Néanmoins, en partant de l'hypothèse que le méthane entérique est équivalent par porc entre les traitements, la production de méthane des effluents a été fortement réduite du fait de la moindre activité, en conditions froides, de la flore mésophile, responsable de la dégradation anaérobie de la matière organique (Kebreab *et al.*, 2006).

## CONCLUSION

Cette étude a permis d'obtenir des valeurs d'émissions en conditions expérimentales et d'élevage sur la réduction de la température par la mise en œuvre de différents systèmes de refroidissement du lisier. La lisiothermie en fond de fosse se révèle plus efficace sur l'ammoniac et sur le méthane que celle de surface. Néanmoins, l'efficacité de la lisiothermie repose en grande partie sur la puissance de refroidissement installée ce qui explique les écarts observés entre les données acquises en conditions expérimentales et en élevage. Si l'efficacité sur l'ammoniac apparaît moindre que celle escomptée, l'abattement de l'émission de méthane est quant à lui très intéressant et cette étude est une des premières à le mettre en avant. Si le volet récupération d'énergie de la lisiothermie dans les conditions expérimentales de cette étude n'a pas encore été analysé, il ne faut cependant pas négliger le bénéfice énergétique et donc économique associé à cette technique. La réduction de la facture énergétique des élevages pourrait permettre de compenser l'investissement et le coût de fonctionnement de la lisiothermie. Sa mise en œuvre reste cependant limitée à des projets de bâtiments neufs, permettant ainsi l'intégration du circuit de tubulures dans la préfosse lors de sa construction.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Mr Vinet d'avoir ouvert son élevage à ce type d'essai ainsi que l'Ademe pour son soutien financier (convention 1962C0014).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andersson M., 1998. Reducing ammonia emissions by cooling of manure in manure culverts. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51 : 73-79.
- Buscher W., Jungbluth T., Hartung E., 1997. Modeling emissions. Proc. International Symposium "Ammonia and odour control from animal production facilities", Vinkeloord, The Netherlands, 15-22.
- Chaoui H., Montes F., Rotz C.A., Richard T.L., 2008. Dissociation and mass transfer coefficients for ammonia volatilization models. Paper number 083802. Asabe annual international meeting, Rhode Island, USA. 17p.
- Degré A., Verhève D., Debouche C., 2001. Emissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction : revue bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5(3), 135-143.
- CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten (ed), 575 p.
- Guingand N., Rousselière Y., Thomas J., Collin A., 2023. Agir sur la température ambiante pour réduire les émissions de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> d'une porcherie d'engraissement. *Journées Rech. Porcine*, 56, 395-400.
- Holm M., Sørensen K.B., Nielsen M.B.F., 2016. Ammoniakreduktion ved gyllekoking i lobe-/draegtig-hedsstald med linespilsanlæg . SEGES. 15p.
- Hansen, M. J., Nyord, T., Hansen, L. B., Martinsen, L., Hasler, B., Jensen, P. K., Melander, B., Thomsen, A. G., Poulsen, H. D., Lund, P., Sørensen, J. N., Ottosen, C.-O., Andersen, L., 2013. *Miljøteknologier i det primære jordbrug: Driftsøkonomi og miljøeffektivitet*. DCA - Nationalt center for fødevarer og jordbrug. DCA rapport No. 29. <https://pure.au.dk/portal/en/publications/milj%C3%B8teknologier-i-det-prim%C3%A6re-jordbrug-drifts%C3%B8konomi-og-milj%C3%B8eff-5>
- Ifip, 2023. GT-Porc GTE.
- Kebreab E., Clark K., Wagner-Riddle C., France J., 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: a review. *Can. J. Anim. Sci.*, 86, 135-158.
- Levasseur P., 2005. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement. Quantités produites. Ifip Ed, Paris, 68 p.
- Philippe F.X., Laitat M., Wavreille J., Nicks B., Cabaraux J.F., 2015. Effects of high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. *Atmos. Env.*, 109, 197-204.
- Pouliot F., Dufour V., Belzile M., Feddes J., Lemay S., Morin M., Godbout S., 2011. Impacts de différentes stratégies de contrôle de la température ambiante en engraissement sur les performances zootechniques, les émissions gazeuses et la consommation d'énergie. *Journées Rech. Porcine*, 43, 193-197.
- RMT Elevage et Environnement, 2019. Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage. Ifip Ed, Paris, 356 p.
- Quiniou N., Cadero A., Marcon M., Brossard L., 2021. Simuler avec le modèle climatique Thermipig les performances de porcs en croissance en tenant compte des conditions climatiques et des caractéristiques de salle d'engraissement. *Journées Rech. Porcine*, 53, 89-94.
- Santonja G.G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Delgado L., 2017. Best Available Technique (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. EUR 28674 EN. doi: 10.2760/020485.