



Performances zootechniques des porcs à l'engraissement et émissions d'ammoniac : effet d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné, ajouté dans le lisier en bâtiment

Solène LAGADEC (1), Khaled AMIN (1), Nicolas KOLYTCHEFF (1), Valentin GARDIE (2), Mickael TRAVERS (2), Alexandre MARTIN (2), Paul ROBIN (3)

(1) Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) SOBAC, Zone Artisanale de Lioujas, route de Campeyrroux, 12740 La Loubière, France

(3) INRAE, Institut Agro, SAS, 35000 Rennes, France

Solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

Performances zootechniques des porcs à l'engraissement et émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre : effet d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné, ajouté dans les lisiers en bâtiment

La diminution des émissions d'ammoniac dans les élevages est un enjeu majeur de la durabilité des systèmes de production animale. Un complexe de micro-organismes naturel sélectionné (CMONS) capable de limiter, par réorganisation des éléments, les pertes d'azote et de carbone de lisier épandu a été testé dans le cadre de l'élevage conventionnel de porcs charcutiers. L'objectif de cette étude est de mesurer l'effet de son utilisation dans le bâtiment sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac des porcs à l'engrais. Pour cela, neuf exploitations porcines ont été suivies durant trois bandes consécutives d'engraissement. Dans chaque exploitation, deux salles d'engraissement identiques ont fait l'objet de mesures avec une salle test recevant le CMONS et une salle témoin sans ajout de produit. Pour chaque salle, les performances zootechniques ont été enregistrées. Les émissions gazeuses en bâtiment ont été mesurées par méthode simplifiée sur un échantillon de cinq des neuf exploitations, au cours de deux bandes en périodes contrastées (chaude et froide). Dans les salles dont le lisier a été ensemencé avec le CMONS, le gain moyen quotidien, l'indice de consommation et le taux de mortalité sont en moyenne améliorés ($P < 0,2$), aboutissant pour chaque place d'engraissement à une augmentation de la production et à une diminution de la consommation d'aliment. L'activité biologique induite par l'apport de CMONS a permis une réduction des émissions d'ammoniac durant la saison la plus chaude qui est la plus émettrice. Les résultats de cette étude montrent l'intérêt de l'apport du CMONS dans les lisiers sur l'amélioration des performances zootechniques et environnementales des porcs à l'engrais.

Zootechnical performance of fattening pigs and ammonia emissions and greenhouse gases: effect of a selected natural micro-organism complex added to slurry in pig housing

Reducing ammonia emissions on livestock farms is one of the major challenges for the sustainability of animal production systems. A complex of selected natural microorganisms (CMONS) capable of decreasing nitrogen and carbon losses from slurry by reorganising both elements was tested in conventional pig production. The aim of this study was to measure effects of using it on the zootechnical performance and ammonia emissions of fattening pigs. To this end, nine pig farms were monitored over three consecutive fattening periods. On each farm, two identical fattening rooms were measured, with a test room that received CMONS and a control room that received no CMONS. Zootechnical performance was recorded for each room. Gaseous emissions were measured using a simplified method on a sample of five of the nine farms during two bands with contrasting periods (hot or cold, respectively). In the rooms where slurry had been added to CMONS, mean average daily gain, feed conversion ratio and mortality rate improved ($P < 0.2$), which increased production and decreased feed consumption in each room. The biological activity induced by adding CMONS reduced ammonia emissions during the hottest and most emissive season. The results of this study demonstrate the benefits of adding CMONS to slurry to improve the zootechnical and environmental performances of fattening pigs.

INTRODUCTION

Emis dans l'air, l'ammoniac (NH_3) participe à la formation des particules fines, à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux (CITEPA, 2023). La diminution des émissions de ce gaz est donc un enjeu majeur de la durabilité des systèmes de production animale. A l'échelle de la France, l'élevage porcin est responsable de 6,43 % des émissions de NH_3 . Ce gaz est émis dans l'air suite à trois processus biologiques qui ont lieu au sein des effluents produits par les porcs : l'uréolyse, la dissociation et la volatilisation. L'uréolyse est l'hydrolyse de l'urée aboutissant à la production d'ions ammonium NH_4^+ . La dissociation entraîne un équilibre dans l'effluent entre la forme ionisée (NH_4^+) et la forme non ionisée NH_3 . Enfin, la volatilisation est le passage de la forme liquide NH_3 à sa forme gazeuse (Sommer *et al.*, 2006 ; Vigan *et al.*, 2018). Contrôler différents paramètres physico-chimiques (e. g. température, pH et surface du lisier, ou vitesse de l'air) permet de limiter ces processus biologiques (Hassouna et Eglin, 2015). Agir sur la flore microbienne est une solution à envisager pour limiter les émissions de ce polluant (Espagnol *et al.*, 2019) tout en envisageant un effet sur les performances zootechniques (Gardiner *et al.*, 2020).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'ajout dans le lisier d'un complexe de micro-organismes naturel sélectionné (CMONS) sur les émissions de NH_3 et les performances zootechniques des porcs en engraissement. Cette étude a été menée dans des conditions réelles d'élevage pour deux raisons : i) refléter la diversité des systèmes d'engraissement dont les caractéristiques influencent la biologie des lisiers, et ii) exprimer les résultats en des termes les plus proches possible des enjeux économiques des éleveurs.

Sur la base d'une précédente étude sur l'utilisation du CMONS (Allain et Aubert, 2009), les hypothèses suivantes sont testées :

i) le CMONS diminue l'émission de NH_3 ; ii) l'utilisation du CMONS résulte en une amélioration des performances zootechniques.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Description des élevages suivis

L'expérimentation a été menée dans 9 élevages de porcs en engraissement dont les lisiers n'ont jamais été traités avec un additif microbien. Pour chaque élevage, une salle test et une salle témoin ont été suivies, sans alternance, durant trois bandes successives (bande 1, 2 et 3) pour observer l'effet du CMONS sur les performances zootechniques et durant deux bandes (bande 1 et 3) pour analyser l'effet du CMONS sur les émissions de NH_3 en prenant en compte l'effet saison (bande 1 en période chaude et bande 3 en période froide). Le CMONS est issu des Technologies Marcel Mezy apporté par le BACTÉRIOLIT®. Les deux salles (CMONS et témoin) présentaient les mêmes caractéristiques (surface, agencement, position dans le bâtiment, profondeur de préfosse, isolation thermique, ventilation) et la même conduite d'élevage (gestion des animaux et des effluents). L'apport du CMONS a été calibré sur une quantité de 500 g/porc pour la durée de l'engraissement. Au démarrage de chaque bande, le fond de fosse a étéensemencé avec 250 g de CMONS/porc présent dans la salle. Suite à ce premier apport, 250 g de CMONS/porc présent dans la salle auront été apportés tout au long de la période d'engraissement, de façon hebdomadaire. La salle témoin n'a reçu aucun additif dans le lisier au cours des trois bandes successives.

Le tableau 1 présente les caractéristiques générales des salles suivies (effectif, alimentation, effluent, ventilation). Sur 3 bandes, les données exploitables ont couvert 24 paires de salles, soit 48 lots d'engraissement et 5 504 porcs

Tableau 1 - Description des 9 élevages étudiés

n° d'élevage	animaux	alimentation			effluents		ventilation	
	nombre de places/salle	type d'alimentation	nombre de phases	FAF ¹	caillebotis intégral	profondeur de préfosse	entrée d'air	sortie d'air
1	180	soupe	1	oui	sauf couloir	1m50	champignons	basse
2	144	soupe	1	oui	sauf milieu	1m20	plafond diffuseur	haute
3	53	soupe	2	oui	oui	1m50	plafond diffuseur	haute
4	136	soupe	3	non	oui	1m	trappe	haute
5	168	soupe	3	oui	oui	1m	trappe plafond	basse
6	90	soupe	2	non	oui	1m50	conduit côté sud	basse
7	96	soupe	1	oui	oui	1m60	plafond diffuseur	haute
8	90	soupe	3	oui	sauf couloir	1m	trappe	basse
9	80	soupe	2	oui	oui	1m20	sous caillebotis	haute

¹ FAF : fabrication d'aliment à la ferme

1.2. Caractérisation des animaux

1.2.1. Caractéristiques des animaux

A l'entrée en engraissement, les porcs ont été pesés par case et répartis de manière à ce que le poids d'entrée moyen soit proche entre la salle CMONS et la salle témoin. Le poids de chaque porc transféré ou mort au cours de l'engraissement a été enregistré. Enfin, les poids de départ des animaux ont été enregistrés à partir des données de l'abattoir, les porcs ayant un marquage individuel relatif à leur salle d'engraissement, avec un rendement forfaitaire de 76,5% appliqué au poids froid pour approcher le poids vif de sortie d'engraissement (Badouard *et al.*, 2012).

1.2.2. Quantités et compositions des aliments consommés

Les quantités d'aliments consommés ont été enregistrées dans chaque élevage lorsque cela était possible. A défaut un indice de consommation (IC, kg d'aliment par kg de croissance de porc), identique pour les deux traitements, a été estimé par l'éleveur à partir des données technico-économiques de son élevage. La composition des aliments (teneurs en matière azotée totale, carbone, phosphore, potassium) a été estimée à partir des données du fabricant d'aliments ou des indications de l'éleveur en cas de fabrication d'aliments à la ferme (FAF).

1.3. Caractérisation des émissions gazeuses

Les émissions gazeuses ont été mesurées à l'aide de la « méthode simplifiée » (Hassouna et Eglin, 2015 ; fiche n°22) dans 5 des 9 élevages durant la bande 1 et la bande 3 (bande en période chaude et en période froide), soit 10 bandes de porcs. Ce choix résulte de contraintes organisationnelles et financières. Cette méthode est basée sur le couplage entre le calcul des pertes gazeuses de carbone de chaque bande (bilan de masse du lot d'animaux déduit des données sur l'alimentation, la croissance et les effluents) et la mesure des gradients de concentrations entre l'intérieur et l'extérieur de chaque salle pour chaque gaz d'intérêt : dioxyde de carbone (CO₂), NH₃, protoxyde d'azote (N₂O) et méthane (CH₄). Elle est basée sur deux hypothèses : (1) la ventilation de la salle d'élevage entraîne de la même manière tous les gaz, en conséquence les émissions de CO₂ et des autres gaz (CH₄, NH₃, N₂O) sont proportionnelles ; (2) si les émissions d'une salle sont plus faibles que celles d'une autre salle, les proportions entre gaz seront différentes.

Des poches d'air (Flexfoil®, SKC) ont été prélevées toutes les deux semaines dans la salle CMONS, la salle témoin et à l'extérieur. Le point de prélèvement de l'air extrait a été ajusté en fonction du type de sortie d'air (dans la gaine d'extraction pour une extraction basse, dans la masse pour une extraction haute). Dans chaque élevage, les prélèvements d'air ont été réalisés sur une durée de 5 minutes. Les poches d'air ont été transportées dans un conteneur maintenu chaud par des eutectiques puis analysées à l'aide d'un analyseur photoacoustique INNOVA 1412 afin de mesurer les concentrations en NH₃, CO₂, N₂O et CH₄. En période froide, des problèmes de condensation du NH₃ dans les poches d'air peuvent avoir lieu. C'est pourquoi, des mesures complémentaires au tube colorimétrique (Draeger) ont été réalisées avant transport afin de vérifier les mesures réalisées avec l'analyseur de gaz INNOVA.

1.4. Analyse des données

1.4.1. Calcul des performances zootechniques

Pour chaque salle, les taux de mortalité ont été calculés. Sur la base des données des trois bandes, les performances standardisées entre 30 et 115 kg pour le gain moyen quotidien (GMQ) et l'IC ont été calculées, en se basant sur la méthode de Aubry et al. (2004). Les calculs ont été adaptés pour tenir compte de la mortalité des animaux par salle. Les consommations d'aliment des porcs morts en cours d'élevage ont été déduites de la consommation totale de la salle en s'appuyant sur les mêmes modèles de croissance et de consommation d'aliment standardisés (utilisés pour les porcs sortis vivants) et en utilisant l'indice de consommation et la croissance calculés avec l'ensemble des animaux (quantité totale d'aliment divisée par le nombre de porcs x jours de présence dans la salle ; quantité totale de kilo de croit des porcs divisée par le nombre de porcs x jours de présence dans la salle). Les calculs de production de kg de poids vif ont été exprimés par place en prenant en compte la mortalité des animaux car la rentabilité des investissements est évaluée par place.

1.4.2. Production d'effluents et calcul du bilan de masse

La production et la composition des effluents ont été estimées à partir des références utilisées en élevage porcin de 4,1 kg de lisier par porc présent et par jour (RMT Elevage et environnement, 2016). L'utilisation du bilan de masse sur l'élément P, élément non volatil, permet de s'assurer de la

cohérence des données d'aliment et de croissance des porcs. Le bilan sur le carbone permet d'estimer la perte gazeuse totale (Perte_C) qui est ensuite répartie entre les formes CO₂ et CH₄ (équation 1). Le bilan sur l'azote permet de vérifier les ordres de grandeurs des émissions gazeuses de gaz azotés (N₂O et NH₃).

1.4.3. Calcul des émissions gazeuses

Les émissions de NH₃ pour les salles CMONS et témoin des 5 élevages durant les bandes suivies en période chaude et en période froide ont été calculées en utilisant les équations suivantes (de 1 à 5) :

$$\text{Perte}_C = E_{C_CO_2} + E_{C_CH_4} \quad (1)$$

avec $E_{C_CO_2}$ et $E_{C_CH_4}$, les émissions de C sous la forme de CO₂ et de CH₄, respectivement.

Sur la base de l'équation (1), l'émission pour chaque gaz a été exprimée de la manière suivante :

$$E_{C_CO_2} = \text{Pertes}_C / [1 + (\text{Gradient}_{C_CH_4} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}}] \quad (2)$$

$$E_{C_CH_4} = E_{C_CO_2} \times (\text{Gradient}_{C_CH_4} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}} \quad (3)$$

$$E_{N_NH_3} = E_{C_CO_2} \times (\text{Gradient}_{N_NH_3} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}} \quad (4)$$

$$E_{N_N_2O} = E_{C_CO_2} \times (\text{Gradient}_{N_N_2O} / \text{Gradient}_{C_CO_2})_{\text{moy}} \quad (5)$$

avec $\text{Gradient}_{\text{gaz}}$, l'augmentation de la concentration de gaz dans l'air sortant de la salle par rapport à celle de l'air entrant dans la salle. Le rapport entre les gradients de deux gaz traduit la proportionnalité des émissions. Pour chaque élevage, les émissions de NH₃ ont été calculées en kg de NH₃ émis par porc produit et par période ainsi qu'en kg de NH₃ émis par place et par an. Pour ce dernier calcul, les gradients de concentration moyennés sur les périodes chaude et froide (bandes 1 et 3 – la bande 2 n'ayant pas fait l'objet de mesure) et les performances zootechniques moyennées sur les 3 bandes suivies (bandes 1, 2 et 3) ont été utilisés.

1.4.4. Analyse des différences entre lots d'engraissement

L'hétérogénéité des conditions climatiques, des pratiques d'élevage et des réponses aux CMONS entre les bandes justifie que les lots d'engraissement ont été considérés indépendants les uns des autres. Etant données les tailles d'échantillons, il s'agit de l'hypothèse la plus parcimonieuse quant à la structure des données. Le taux de mortalité des porcs a été analysé par modélisation linéaire généralisée incluant les effets Bande et Modalité de traitement ainsi que leurs interactions et avec une structure d'erreur binomiale (lien logit). Les prédictions quant aux effets améliorateurs du CMONS ont été traitées en comparant les moyennes des émissions de gaz, du GMQ et de l'IC avec des tests de Student appariés unilatéraux. Pour limiter l'influence du faible échantillonnage sur les estimations des paramètres requis par ces tests, nous présentons également les valeurs de significativité de tests unilatéraux de comparaison de moyennes de deux échantillons appariés issus d'une procédure de bootstrap, notées P_{boot} . Nous basons cette méthode non paramétrique de statistique inférentielle sur 10 000 itérations de ré-échantillonnage. Les analyses ont été réalisées dans l'environnement R version 4.2.2 (R Core Team, 2022).

Le seuil de significativité à 90 % a été établi afin de prendre en considération la diversité des élevages dans le déroulement de cette étude. Moyennes et écarts-types pondérés par le nombre de porcs par salle sont présentés pour documenter les tendances de toutes les variables zootechniques.

Les performances zootechniques (GMQ, IC, taux de mortalité) sont exprimées par porc toutes bandes confondues (bandes 1, 2 et 3). La production de poids vif (en kg par place) est calculée comme le produit du GMQ moyen sur les trois bandes par une durée d'engraissement au cours des trois bandes. La durée considérée est la durée moyenne d'engraissement observée

durant les trois bandes dans les deux modalités. Pour chaque modalité, la production annuelle ainsi exprimée par porc est multipliée par le taux de survie moyen des porcs de la modalité pour obtenir une production par place et par an. Le score d'efficacité alimentaire renseigné par l'IC est multiplié par la quantité de poids vif produit moyenne sur les trois bandes.

2. RESULTATS

2.1. Performances zootechniques

Les allotements n'ont pas été réalisés dans tous les élevages de façon à assurer l'homogénéité des poids d'entrée, alors que ce paramètre a une influence importante sur les performances de croissance (Quiniou *et al.*, 2017). Les porcs sont entrés plus lourds de 979 g en moyenne dans les salles témoins (test t : $t = 2,516$, $P = 0,019$).

Pour les neuf élevages, les différences de performances zootechniques (GMQ, IC et taux de mortalité) entre modalités de traitement sont présentées dans le tableau 2. Les performances zootechniques des porcs dont le poids d'entrée entre la salle CMONS et la salle témoin est hétérogène (ensemble des données) sont différenciées de celles dont le poids d'entrée est homogène avec un écart inférieur à 1 kg par porc en moyenne entre les deux salles.

Sur l'ensemble des données, comprenant les poids d'entrée hétérogènes entre les modalités, la durée moyenne d'engraissement est de 105,1 jours, tous lots confondus.

La tendance à l'augmentation du GMQ de 6,32 g/j dans les salles CMONS implique une production supplémentaire moyenne de 665 g par porc. De la même manière, une tendance à l'amélioration de l'IC de $-2,70 \cdot 10^{-2}$ dans les salles CMONS implique une diminution de la consommation de 2,442 kg d'aliment par porc.

Avec un poids d'entrée homogène et une durée moyenne d'engraissement de 107,5 j, l'effet du CMONS sur l'IC est de $-5,76 \cdot 10^{-2}$ permettant une réduction statistiquement significative de la consommation de 4,625 kg d'aliment par porc. Ce résultat est très marqué étant donnée la taille d'échantillon restreinte. Le CMONS améliore le GMQ de 7,92 g/j entraînant une production supplémentaire moyenne de 855 g par porc. La non significativité de ce résultat est à mettre en perspective de la taille d'échantillon réduite du fait de l'évincement des lots pour lesquels l'allotement n'était pas homogène, qui aboutissaient à l'augmentation du GMQ de 6,32 g/j avec un $P = 0,105$. De même, l'effet observé sur la mortalité n'a pu être considéré comme significatif.

Pour le cas des poids d'entrée homogènes, en modalité CMONS, la production annuelle de 275,2 kg de poids vif par place est supérieure à celle de la modalité témoin de 3,5 kg/place. Avec une moyenne annuelle de production de 273,4 kg de poids vif par place, la consommation d'aliment dans la modalité CMONS est de 721,4 kg/place. Cela représente une économie d'aliment de 15,8 kg/place par rapport à la modalité témoin.

Tableau 2 - Performances zootechniques et effets du CMONS toutes bandes confondues

		CMONS		Témoin		Différence ¹	t	ddl ²	P	P _{boot}
		Moyenne (± e.t.)								
Poids d'entrée hétérogène (5 504 porcs)	GMQ (g/jour)	864	(± 59)	858	(± 50)	6,32	1,287	23	0,105	0,109
	IC	2,564	(± 0,414)	2,59	(± 0,395)	$-2,70 \cdot 10^{-2}$	-1,038	21	0,155	0,146
	Taux de mortalité (%)	1,71		2,17		-0,463	-0,83	46	0,41	
Poids d'entrée homogène (2 825 porcs)	GMQ (g/jour)	870	(± 52)	862	(± 51)	7,92	0,961	12	0,178	0,184
	IC	2,639	(± 0,514)	2,69	(± 0,462)	$-5,76 \cdot 10^{-2}$	1,823	11	0,048	0,017
	Taux de mortalité (%)	1,91		2,26		-0,347		24	0,65	

¹ Différence entre CMONS – Témoin. ² ddl pour GMQ et IC : degrés de liberté = effectif – 1.

2.2. Concentrations et émissions de NH₃

2.2.1. Concentrations gazeuses

Au total, le nombre de campagnes de mesure a été de 32 en période chaude (bande 1) et de 29 en période froide (bande 3) dans les cinq élevages ayant fait l'objet de mesure.

Les concentrations moyennes en CO₂ étaient proches entre la salle CMONS et la salle témoin (écart inférieur à 500 mg/m³) dans les élevages 2, 3, 4 et 5 en période chaude et en période froide témoignant d'une gestion identique de la ventilation entre les deux salles dans chaque élevage (tableau 3). Seul l'élevage 1 montre un différentiel de ventilation important avec une concentration en CO₂ bien inférieure dans la salle CMONS par rapport à la salle témoin quelle que soit la saison témoignant d'un taux de ventilation plus important dans la salle CMONS que dans la salle témoin. Le taux de ventilation ayant une influence importante sur les émissions de NH₃ (Vigan *et al.*, 2018), les différences d'émissions de gaz calculées dans cet élevage sont en partie dues à cette différence.

En moyenne, les concentrations en CO₂ étaient plus élevées en période froide, reflétant ainsi la diminution du renouvellement

d'air. Néanmoins les faibles différences entre saisons montrent que celles-ci n'étaient pas très contrastées (hiver doux et été frais).

Tableau 3 - Concentrations moyennes en CO₂ (mg CO₂/m³ air sortant) mesurées en période chaude et en période froide

Elevage	Période chaude		Période froide	
	CMONS	Témoin	CMONS	Témoin
1	3202 ± 445	4111 ± 592	4502 ± 1128	5475 ± 835
2	4450 ± 580	4217 ± 744	5491 ± 666	5553 ± 991
3	4352 ± 1027	4348 ± 1418	4655 ± 500	5106 ± 627
4	3815 ± 594	3948 ± 720	3807 ± 116	4447 ± 963
5	3749 ± 776	3844 ± 806	3841 ± 869	4252 ± 1021

Les concentrations moyennes en NH₃ sont globalement faibles (Tableau 4). Elles sont inférieures à 10 mg/m³, concentration moyenne mesurée en fin d'engraissement (Lagadec *et al.*, 2019). Elles ont été, en période chaude, significativement moins élevées ($t = -2,83$, $ddl = 4$, $P = 0,02$) dans la salle CMONS que dans la salle témoin. Les différences entre élevages ont été retrouvées entre les deux saisons. On note des concentrations légèrement plus élevées en période chaude qu'en période froide pour l'ensemble des suivis.

Tableau 4 - Concentrations moyennes en NH₃ (mg NH₃/m³ air sortant) mesurées en période chaude et en période froide

Elevage	Période chaude		Période froide	
	CMONS	Témoin	CMONS	Témoin
1	5,73 ± 2,12	6,66 ± 1,57	4,57 ± 0,87	4,63 ± 0,46
2	4,86 ± 2,06	5,62 ± 2,39	3,33 ± 1,81	3,14 ± 1,28
3	5,94 ± 1,92	6,42 ± 1,87	5,69 ± 1,19	5,13 ± 1,31
4	9,30 ± 1,35	9,78 ± 0,96	6,95 ± 2,92	8,99 ± 1,55
5	6,03 ± 1,82	8,42 ± 2,57	5,98 ± 2,34	6,46 ± 1,42
Moyenne ± e.t.	6,37 1,7	7,38 1,69	5,30 1,39	5,67 2,20
Différence	-13,65 % t = -2,83, ddl = 4, P = 0,023		-6,45 % t = -0,81, ddl = 4, P = 0,231	

2.2.2. Rapports entre gradients de concentration

Plus le rapport de gradients de concentration C-CO₂/N-NH₃ est faible, plus l'émission en N-NH₃ est élevée. Dans les élevages émettant du NH₃ au niveau de référence (environ 1 kg NH₃/porc produit) ce rapport est inférieur ou proche de 100. On observe ici des valeurs majoritairement supérieures à 200 (tableau 5) signifiant que les émissions sont faibles et inférieures à 0,5 kg NH₃/porc produit.

Tableau 5 - Rapports entre les gradients de concentrations (C-CO₂/N-NH₃) mesurés en période chaude et en période froide

Elevage	période chaude		période froide	
	CMONS	Témoin	CMONS	Témoin
1	175 ± 73	189 ± 62	295 ± 57	374 ± 79
2	366 ± 244	285 ± 175	824 ± 607	633 ± 326
3	219 ± 64	190 ± 47	261 ± 59	337 ± 84
4	115 ± 41	110 ± 25	203 ± 80	163 ± 13
5	184 ± 45	135 ± 48	222 ± 90	221 ± 68
Moyenne ± e.t.	212 ± 94	182 ± 68	361 ± 261	346 ± 182

2.2.3. Emissions gazeuses

Les émissions de NH₃ produites par porc sont présentées dans le tableau 6. En période chaude, l'ensemencement du lisier avec le CMONS est associé à une diminution statistiquement significative des émissions de NH₃ avec des réductions de 7 à 28 % observée dans quatre des cinq élevages suivis (2, 3, 4 et 5). Durant la période froide, aucune différence entre modalités ne peut être conclue et les émissions ont été 43,4 % plus faibles qu'en été, toutes modalités confondues.

Tableau 6 - Emissions de NH₃ (kg NH₃/porc produit) observées en période chaude et en période froide

Elevage	Période chaude		Période froide	
	CMONS	Témoin	CMONS	Témoin
1	0,44 ± 0,22	0,43 ± 0,15	0,26 ± 0,05	0,19 ± 0,04
2	0,15 ± 0,19	0,20 ± 0,20	0,07 ± 0,11	0,09 ± 0,07
3	0,33 ± 0,10	0,40 ± 0,10	0,38 ± 0,09	0,23 ± 0,06
4	0,56 ± 0,23	0,60 ± 0,15	0,30 ± 0,14	0,38 ± 0,03
5	0,54 ± 0,14	0,75 ± 0,30	0,36 ± 0,18	0,36 ± 0,12
Moyenne ± e.t.	0,40 ± 0,17	0,48 ± 0,21	0,27 ± 0,12	0,25 ± 0,12
Différence	-15,23 % t = -1,98, ddl = 4, P = 0,059		+9,6 % t = 0,59, ddl = 4, P = 0,708	

Les émissions de NH₃, calculées par place et par an à partir des performances 30-115 sur une production théorique de 85 kg de poids vif sont présentées dans le tableau 7. Une diminution moyenne des émissions de NH₃ place par an sur l'intervalle 30-115 de 6,3 % est globalement observée en modalité CMONS par rapport à la modalité témoin. Cette réduction prend en compte les données de l'élevage 1 pour lequel une différence de ventilation entre les salles questionne la valeur des émissions. En restreignant l'analyse aux autres élevages, la réduction moyenne des émissions de NH₃ associée à l'utilisation du CMONS est de 10,8 % par place par an sur l'intervalle 30-115, périodes chaude et froide confondues (t = -1,71, ddl = 3, P = 0,093), de 10,1 % par porc produit, périodes chaude et froide confondues (t = -1,13, ddl = 7, P = 0,148) et de 19,1 % par porc en période chaude (t = -2,40, ddl = 3, P = 0,048). Cela conforte notre hypothèse d'un effet bénéfique du CMONS sur ces émissions de NH₃.

Tableau 7 - Emissions de NH₃ (kg NH₃/place par an¹) sur l'intervalle 30-115

Elevage	CMONS	Témoin	Effet CMONS
1	0,901	0,776	+16 %
2	0,347	0,465	-25 %
3	0,872	0,799	+9 %
4	1,302	1,505	-14 %
5	1,153	1,338	-14 %
Moyenne ± e.t	0,91 ± 0,36	0,98 ± 0,43	-6,4 %

¹ facteur d'émission national = 2,411 kg NH₃/place/année (CITEPA, 2023)

3. DISCUSSIONS

Les résultats de cette étude montrent d'une part l'importance de répéter les mesures dans différents élevages pour observer l'effet du CMONS et d'autre part la variabilité des résultats lorsque les mesures sont réalisées en condition d'élevage commercial. Les poids des animaux ayant été hétérogènes, le choix a été fait de distinguer les résultats avec des allotements hétérogènes et homogènes et d'exprimer les performances par porc 30-115 kg. En prenant les allotements homogènes, l'effet du CMONS est plus marqué avec une augmentation du GMQ et une réduction de l'IC aboutissant à une production supplémentaire de 855 g par porc et une économie d'aliment de 4,625 kg d'aliment par porc. Une augmentation de gain de poids de 3,5 kg/place et une économie d'aliment de 15,8 kg/place ont été constatées dans les salles CMONS par rapport aux salles témoins.

Concernant les concentrations gazeuses mesurées, les tubes colorimétriques ont confirmé les mesures réalisées avec l'analyseur de gaz INNOVA 1412. Les concentrations en CO₂ ont permis d'observer si la gestion de la ventilation était identique entre les deux salles. Elle a été très proche pour quatre des cinq élevages (2, 3, 4 et 5) mais pas dans l'élevage 1 avec un renouvellement de l'air plus important dans la salle CMONS influençant l'interprétation des émissions gazeuses dans cet élevage. Les concentrations en NH₃ étaient faibles, à moins de 10 mg/m³ en moyenne soit 14 ppm, ce qui est inférieur à la limite d'exposition professionnelle de 20 ppm durant 15 minutes (INRS, 2022). Converties en émissions par place et par an, les émissions rapportées dans cette étude (0,9 kg/place et par an) sont très inférieures au facteur d'émission de 2,411 kg NH₃ par place et par an retenu pour le calcul des inventaires des émissions en France (CITEPA, 2023). Associés aux très bons GMQ et IC, ces paramètres d'élevage sont des marqueurs de

performances zootechnique et environnementale initialement très bonnes pour ces exploitations.

Les différences entre élevages concernant les concentrations en NH₃ ont été retrouvées aux deux saisons. Cela reflète la répétabilité des effets conjoints de la gestion du climat des salles d'élevage et des effluents sur les teneurs en NH₃. Cela confirme que des prélèvements intermittents de poches de gaz, réalisés sur deux périodes (froide et chaude) sont suffisants pour constater les effets de la conduite d'élevage sur les émissions.

Les rapports de concentrations ont été, pour tous les élevages, plus faibles en période chaude qu'en période froide indiquant des émissions de NH₃ plus élevées en période chaude. Ce résultat est en accord avec Cortus *et al.* (2008) qui a mis en évidence une augmentation des émissions de NH₃ avec une hausse de la température ambiante. Malgré les faibles émissions générales des élevages, des différences d'émissions entre saisons ont été mesurées. En hiver quand les émissions sont réduites de façon naturelle, il n'a pas été possible de détecter un effet significatif du CMONS en conditions d'élevage commercial. Durant la saison chaude, la plus émettrice en NH₃, l'utilisation du CMONS a permis d'obtenir une réduction des émissions 19,1 % par porc en moyenne. Ces résultats sont remarquables étant donnée la taille d'échantillon, l'hétérogénéité des conditions d'élevage et la nature non expérimentale des exploitations.

CONCLUSION

L'ensemencement du lisier avec le CMONS a entraîné l'amélioration des performances zootechniques toutes saisons confondues et la réduction d'émissions de NH₃ en période chaude. Des résultats significatifs ont été observés malgré les incertitudes inhérentes aux mesures en élevage. L'augmentation du nombre et de la diversité des élevages observés conduirait à des estimations statistiques plus précises. Cette étude éclaire le besoin d'analyser le métabolisme du lisier en interaction avec la zone d'élevage pour mieux comprendre les processus liant émissions gazeuses, performances zootechniques et biofilms, avec et sans CMONS. Le faisceau d'indications des effets améliorants du CMONS montre qu'il est une technique à retenir dans une stratégie d'amélioration globale des élevages porcins dans leur dimension technique, économique, éthique et environnementale.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les éleveurs de porcs ayant participé à l'étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allain E., Aubert C., 2009. Réorganiser l'azote dès le bâtiment par un complexe de microorganismes pour réduire fortement les pertes d'ammoniac en bâtiment et au champ et les pertes par lessivage de nitrates au champ, en obtenant sans retournement un compost normé, au bénéfice des animaux, de l'économie et de l'environnement. Journées de la Recherche Avicole, 8, 233-237.
- Aubry A., Quiniou N., Le Cozler Y., Querné M., 2004. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage : actualisation des coefficients appliqués aux critères standardisés de performances en Gestion Technico-Économique. Journées Rech. Porcine, 36, 429-432.
- Badouard B., Berthelot N., 2012. Le rendement des porcs charcutiers en France aujourd'hui : quelles conséquences sur les résultats de gestion ? Journées Rech. Porcine, 44, 243-244
- CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten ed, 575 p.
- Cortus E.L., Lemay S.P., Barber E.M., Hill G.A., Godbout S., 2008. A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. Biosyst. Eng., 99, 390-402.
- Dourmad J.Y., 2012. Influence des pratiques d'élevage sur l'impact environnemental des systèmes de production porcine. Journées Rech. Porcine, 44, 115-126.
- Espagnol S., Brame C., Dourmad J.Y., 2019. Pratiques d'élevage et environnement. Mesurer, évaluer, agir. Versailles, Editions Quae, 376 p.
- Gardiner G.E., Metzler-Zebeli B.U., Lawlor P.G., 2020. Impact of Intestinal Microbiota on Growth and Feed Efficiency in Pigs: A Review. Microorganisms 2020, 8(12), 1886, 31 p.
- Hassouna M., Eglin T., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME. 314 p. ISBN : 2-7380-1375-9 www.inra.fr/animal_emissions/Actualite/Mesurer-les-emissions-gazeuses-en-elevage, 314 p.
- Hénault C., Bizouard F., Laville P., Gabrielle B., Nicoulaud B., Germon J.C., Cellier P., 2005. Predicting in situ soil N₂O emission using NOE algorithm and soil database, Global Change Biology. 11, 115-127.
- INRS, 2022. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. Logiciel en ligne
- Lagadec S., Guingand N., Truchau P., Gabrysiak L., Guinot L., Hassouna M., 2018. Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM_{2,5} durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers. Journées Rech. Porcine, 50, 1-6.
- Quiniou N., Corregé I., 2017. Importance du poids à la naissance, au sevrage et en début d'engraissement sur les performances de croissance ultérieures du porc alimenté à volonté. Journées Rech. Porcine, 49, 157-162
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RMT Elevage et environnement, 2016. Valorisation agronomique des effluents de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins, 41 fiches.
- Sommer, S.G., Zhang, G.Q., Bannink, A., Chadwick, D., Misselbrook, T., Harrison, R., Hutchings, N.J., Menzi, H., Monteny, G.J., Ni, J.Q., Oenema, O., Webb, J., 2006. Algorithms Determining Ammonia Emission from Buildings Housing Cattle and Pigs and from Manure Stores, in: Donald L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, pp. 261-335.
- Vigan A., Guingand N., Espagnol S., Hassouna M., Lagadec S., Loyon L., Mathias E., Eglin T., Robin P., 2018. Contribution de ELFE à l'établissement de facteurs d'émission d'ammoniac par les bâtiments et le stockage en élevage porcine. Journées Rech. Porcine, 50, 13-24.