



Effet de l'incorporation de 0,5 % d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs à l'engraissement sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

Solène LAGADEC (1), Constance DRIQUE (1), Khaled AMIN (1), Nicolas KOLYTCHEFF (1), Laurent ROGER (2), Daniel PLANCHENAU (2), Sébastien POTOT (3), Estefania PEREZ-CALVO (3)

(1) CRAB, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) DSM-FIRMENICH, 71 boulevard National, 92250 La Garenne Colombes, France

(3) DSM-FIRMENICH, Wurmisweg 576, 4303 Kaiseraugst, Suisse

Solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

Avec la collaboration des techniciens de la station expérimentale de Crécom

Effet de l'incorporation de 0,5 % d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs à l'engraissement sur les performances zootechniques et les émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

L'ajout d'additifs alimentaires tels que l'acide benzoïque (AB) à 1 %, qui aide à retenir l'azote ammoniacal dans le lisier par la réduction du pH urinaire, a été reconnu comme technique permettant de limiter les émissions d'ammoniac (NH_3) des élevages. Cependant, les données ont été obtenues il y a plus de 10 ans, lorsque les niveaux de protéines brutes (PB) étaient plus élevés (17-18 % en phase croissance et 15-16 % en phase finition) que les niveaux actuels. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de 0,5 % d'AB dans des aliments croissance et finition (respectivement 14,4 % et 13,1 % de PB) sur les performances zootechniques et environnementales. Trois bandes de 144 porcs à l'engrais ont été suivies. Pour chaque bande, 72 porcs ont bénéficié d'une alimentation biphasée avec incorporation de 0,5 % d'AB et 72 porcs ont reçu un régime biphasé classique. Les performances zootechniques ont été enregistrées et les émissions gazeuses mesurées en continu avec validation par bilan de masse. Des améliorations du gain moyen quotidien (977 vs 944 g/j, $P < 0,001$), de l'indice de consommation (2,53 vs 2,63, $p < 0,001$) et du TMP (61,3 vs 61,0 %, $p < 0,05$) ont été observées dans les salles avec AB, permettant un coût de kilo de croît identique, malgré le surcoût de l'AB. L'incorporation d'AB a réduit les émissions de NH_3 de 17 %, 24 % et 10 % pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement, mais n'a pas eu d'effet sur les émissions de gaz à effet de serre. Ces résultats démontrent les avantages zootechniques et environnementaux de cette technique avec les niveaux de PB actuels.

Effects of incorporating 0.5 % benzoic acid in the diet of fattening pigs on zootechnical performance and ammonia and greenhouse gas emissions

The addition of feed additives such as 1 % benzoic acid (BA), which helps retain ammoniacal nitrogen in the slurry by reducing urinary pH, has been recognised as a technique for decreasing ammonia (NH_3) emissions from farms. However, these data were obtained more than 10 years ago, when crude protein (CP) concentrations were higher (17-18 % and 15-16 % in grower and finisher phases, respectively) than those currently used by pig producers. The objective of this study was to evaluate effects of incorporating 0.5 % BA in commercial grower and finisher feed (14.4 % and 13.1 % CP, respectively) on zootechnical and environmental performances. Three batches of 144 fattening pigs were monitored at the experimental station of Crecom. For each batch, 72 pigs received a two-phase diet with the incorporation of 0.5 % BA, while 72 pigs received a traditional two-phase diet. For each batch, zootechnical performances were recorded, and gaseous emissions were measured continuously, with validation by mass balance. Improvements in average daily gain (977 vs 944 g/d, $p < 0.001$), feed conversion ratio (2.53 vs 2.63, $p < 0.001$) and lean percentage of the meat (61.3 % vs 61.0 %, $p < 0.05$) were observed for the pigs that had received BA, which resulted in the same feed cost per kg of weight gained, despite the additional cost of BA. The incorporation of BA reduced NH_3 emissions by 17 %, 24 % and 10 % for batches 1, 2 and 3, respectively, but had no effect on greenhouse gas emissions. These results demonstrate the zootechnical and environmental advantages of this technique with current CP concentrations.

INTRODUCTION

L'ammoniac (NH_3) est un gaz nocif pour la santé des hommes et des animaux car il irrite les voies respiratoires lorsque les concentrations sont trop importantes (Lagadec *et al.*, 2018). C'est également un gaz nocif pour l'environnement puisqu'il favorise l'acidification et l'eutrophisation des écosystèmes (Krupa *et al.*, 2003). La France est le deuxième pays le plus émetteur de NH_3 en Europe, après l'Allemagne. La majorité des émissions de NH_3 provient du secteur agricole (94 %) dont 6 % en provenance des élevages de porcs (CITEPA, 2023). Le protoxyde d'azote (N_2O) et le méthane (CH_4) sont des puissants gaz à effet de serre dont les pouvoirs de réchauffement global sont respectivement de 273 et de 28 (IPCC, 2021), rapporté au pouvoir réchauffant du dioxyde de carbone (CO_2). A l'échelle de la France, l'élevage porcin est responsable de 0,7 % des émissions de gaz à effet de serre (CITEPA, 2023). La réglementation environnementale impose aux éleveurs de porcs soumis à la directive sur les émissions industrielles (IED), actuellement en cours de révision, de mettre en place des « meilleures techniques disponibles » (MTD) pour réduire les émissions de polluants de leurs bâtiments d'élevage (BREF IRPP, 2017). L'une des MTD consiste à ajouter de l'acide benzoïque (AB) à 1 % dans l'aliment pour aider à retenir l'azote ammoniacal dans le lisier par la réduction du pH urinaire. En effet, après avoir été absorbé dans l'intestin grêle et associé à la glycine, l'acide benzoïque est transformé en acide hippurique puis éliminé par les reins diminuant ainsi le pH urinaire (Kristensen *et al.*, 2009). D'après la littérature, l'incorporation d'AB à 1% permet de réduire les émissions de NH_3 de 25 à 27 % (Guingand *et al.*, 2005 et Canh *et al.*, 1998). Cependant, les données ont été obtenues il y a plus de 10 ans, lorsque les niveaux de protéines brutes (PB) étaient plus élevés (16,5-18,0 % en phase croissance et 15-16 % en phase finition) que les niveaux actuels.

Par ailleurs, de récentes études ont montré les effets positifs de l'incorporation de l'AB sur les performances zootechniques. En effet, Planchenault *et al.* (2020) et Zhai *et al.* (2017) ont observé une amélioration significative des performances de croissance avec l'incorporation de AB à 0,5 % et 0,3 %. Ces différences sont de + 55 g/j et de + 62 g/j respectivement pour des taux constants d'incorporation d'AB au cours de l'engraissement (Zhai *et al.*, 2017). Avec des taux d'incorporation modulés selon les phases de croissance (0,5 %) et de finition (0,3 %), la différence est de + 36 g/j (Planchenault *et al.*, 2020). Selon Humphrey *et al.* (2022), un meilleur gain moyen quotidien (GMQ) est observé chez les porcs alimentés avec un régime AB, par rapport à des porcs ayant reçu un régime à faible teneur en protéine, autre solution connue pour réduire les émissions de NH_3 .

Au regard de ces constats, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'ajout de 0,5 % d'AB dans des aliments croissance et finition, formulés à des niveaux faibles de PB, sur les performances technico-économiques, et environnementales.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental et animaux

L'expérimentation a été menée par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne à la station expérimentale de Crécom (22, St Nicolas du Pélem) sur trois bandes B1, B2 et B3, de 144 porcs chacune (Piétrain x (Large White x Landrace)) entre janvier 2022 et février 2023. Les porcs sont munis chacun d'une

boucle RFID qui permet leur suivi individuel jusqu'à la chaîne d'abattage. Les porcs sont répartis au début de l'engraissement (60 jours d'âge ; $31,0 \pm 8,5$ kg) entre deux régimes (72 porcs dans la salle « AB » et 72 porcs dans la salle « témoin ») selon leur poids et leur sexe (femelles et mâles entiers). Les deux salles d'engraissement sont identiques et contiennent chacune 12 cases de six porcs ($1,1 \text{ m}^2/\text{porc}$) et chaque case dispose d'un abreuvoir et d'une auge collective (alimentation à sec). Les porcs sont engraisés sur caillebotis intégral, avec stockage du lisier en préfosse pendant toute la durée de l'engraissement. Les salles sont ventilées mécaniquement (dépression) avec une température de consigne à 24°C . L'entrée d'air se fait par plafond diffuseur avec une extraction basse.

1.2. Aliments et plan d'alimentation

Les animaux du lot témoin, logés dans une même salle, reçoivent une alimentation biphasée avec un aliment croissance (14,4 % de matières azotées totales (MAT) ; 8,7 g de lysine digestible (LysD) ; 9,7 MJ d'énergie nette (EN)) jusqu'à 69 kg en moyenne (102 jours d'âge) et un aliment finition (13,1 % de MAT ; 7,7 g LysD ; 9,7 MJ d'EN) jusqu'au départ à l'abattoir. Tous les aliments sont supplémentés avec une phytase et une xylanase. Les animaux du lot AB reçoivent les mêmes aliments mais avec l'incorporation de 0,5 % d'AB (VevoVital®[®], DSM-Firmenich) « on top » (ajouté en plus aux aliments témoins, sans modification des taux d'incorporation des autres matières premières). Les taux d'incorporation moyens des matières premières et les principales caractéristiques nutritionnelles des aliments sont présentés dans le tableau 1. Entre chaque bande, les lots témoin et AB changent de salle afin de s'affranchir de l'effet salle. Les aliments sont préparés en miette et sont distribués deux fois par jour. Le plan d'alimentation, commun aux deux salles, est basé sur une ration de 45 g d'aliment par kilo de poids vif à la mise à l'engrais suivie d'une progression de 35 g par jour jusqu'à un plafond journalier de 2,6 kg par porc.

1.3. Mesures effectuées et traitements statistiques

1.3.1. Analyse des aliments

La fabrication de l'aliment a été réalisée par la société Le Men, fournisseur de la station expérimentale de Crécom. Afin de s'assurer de la fiabilité des fabrications d'aliments, tous les aliments sont livrés au moins 20 jours avant leur distribution afin d'effectuer sur chacun d'eux une analyse classique (MAT, Calcium, Phosphore, Cellulose Brute, Matière Grasse, calcul de la valeur d'énergie nette par l'équation EN4 (Noblet *et al.*, 1994) réalisée au Labocéa de Ploufragan (22).

1.3.2. Suivi des performances zootechniques

Chaque porc est pesé individuellement à jeun à la mise à l'engrais, à 42 jours d'engraissement (transition entre aliments croissance et finition), à 84 jours d'engraissement et lors de son départ à l'abattage avec un objectif de 120 kg de poids vif. Les quantités d'aliments distribuées et les refus sont pesés tous les jours. A l'abattoir, les caractéristiques des carcasses (poids froid, Taux de muscles des pièces (TMP), G3, G4, M3, M4) sont relevées individuellement. Les consommations d'eau sont mesurées à l'aide de compteurs d'eau par demi-salle.

1.3.3. Suivi des performances sanitaires

L'évaluation de problèmes respiratoires et digestifs a été réalisée trois fois par bande à l'aide des grilles de notations Welfare Quality (Welfare Quality, 2009). En cas de mortalité ou de transfert en infirmerie d'un porc, son âge, son poids et la cause de son retrait sont relevés.

Tableau 1 – Composition et caractéristiques nutritionnelles des aliments des lots témoin et AB.

Lots	Témoin		AB	
	Aliment croissance	Aliment finition	Aliment croissance	Aliment finition
Ingrédients, %				
Blé	57,1	50,0	56,8	49,7
Maïs	10,0	5,0	10,0	5,0
Orge	15,0	32,5	14,9	32,3
Tourteau de soja	2,0	-	1,9	-
Tourteau de tournesol	12,1	9,8	12,0	9,7
Son de blé	1,0	-	1,0	-
Huile de palme	-	0,1	-	0,1
Acide benzoïque	-	-	0,5	0,5
Acides aminés, minéraux, vitamines, enzymes	2,8	2,6	2,8	2,6
Caractéristiques nutritionnelles				
Matière sèche, %	87,0	86,7	88,0	86,6
MAT ¹ , %	14,4	13,1	13,7	12,2
Cellulose brute, %	4,4	4,4	4,4	4,3
Energie nette (EN), MJ/kg	9,7	9,7	9,8	9,8
Lysine Dig. ² , g/MJ EN	0,9	0,8	0,9	0,8

¹Matières azotées totales ; ²Lysine digestible (valeur calculée).

Les traitements médicamenteux individuels ou collectifs sont enregistrés (date, cause, posologie).

1.3.4. Suivi de la quantité et de la composition des effluents produits

Dans chaque salle, le volume de lisier produit a été mesuré et échantillonné en fin de bande. Le volume d'effluents est déterminé par comptabilisation du nombre de cuves de 1 m³ remplies réceptionnant la totalité du lisier présent dans les salles avant qu'il soit dirigé vers la fosse extérieure. Après remplissage de la cuve graduée de 1m³, le lisier est homogénéisé par brassage. Un échantillon de 2 L est prélevé et versé dans un bac de 75 L. Cette étape est réalisée pour chaque cuve pleine. Pour réaliser l'échantillon final, le lisier contenu dans le bac de 75 L est mélangé et 2 L de ce mélange sont prélevés. Les échantillons finaux sont envoyés au laboratoire Labocéa de Ploufragan (22) pour analyse. Les teneurs en azote total, azote ammoniacal, carbone total, carbone organique, phosphore et matière sèche ainsi que le pH de chaque échantillon sont déterminés.

1.3.5. Mesure de la qualité de l'air et des émissions gazeuses

Les concentrations gazeuses en NH₃, N₂O, CH₄, CO₂ et vapeur d'eau (H₂O) ont été mesurées dans l'air ambiant de chacune des salles (pour l'analyse de la qualité de l'air), dans l'air extrait des salles (pour l'analyse des émissions gazeuses) et à l'extérieur du bâtiment (air entrant) toutes les 12 minutes, à l'aide d'un analyseur de gaz photo-acoustique à infrarouge INNOVA 1412.

Les émissions de chaque gaz sont calculées à partir des gradients de concentrations de gaz (en mg/m³) et des débits d'air dans les salles (m³/h/porc). Les gradients de concentrations correspondent à la différence entre les concentrations mesurées dans l'air extrait de la salle (gaine d'extraction) et dans l'air extérieur. Le débit de ventilation est estimé à partir du bilan CO₂ en considérant que la ventilation explique la relation entre la production et le gradient de CO₂ : le débit de ventilation est calculé comme étant le rapport du gradient de CO₂ divisé par la production de CO₂ sortant de la ventilation (Hassouna et Eglin, 2015). Pour chaque bande, les

émissions cumulées sont calculées, correspondant aux émissions totales émises durant toute la période de mesure. Ce cumul permet de déterminer les émissions moyennes de chaque gaz par porc et par jour d'engraissement (en g/porc/jour) et de faciliter la comparaison avec les données existantes.

1.3.6. Contrôle des mesures d'émissions gazeuses

Le contrôle des mesures d'émissions est réalisé en trois étapes (Hassouna et Eglin, 2015). La première étape est la réalisation d'un bilan de masse sur le phosphore, élément non volatil. L'écart entre le phosphore « sortant » (rejeté et retenu par les animaux, calculé selon l'équation du RMT 2016) et le phosphore « entrant » (ingéré) doit être nul (aux incertitudes près) pour valider les mesures réalisées (données d'entrée, prélèvements des effluents). Etant donné la difficulté pour échantillonner les effluents, les incertitudes sur les analyses et les données d'entrée, on peut considérer comme acceptable une erreur inférieure ou égale à 10%. Ainsi, le rapport des sorties sur les entrées de phosphore doit être supérieur ou égal à 90% (Hassouna et Eglin, 2015).

La seconde étape consiste à calculer des bilans de masse sur l'eau, l'azote et le carbone. La différence, appelée « défaut de bilan de masse » doit correspondre, aux quantités de H₂O, N ou C volatilisées, respectivement, sous forme de vapeur pour l'eau, de NH₃, de N₂O, et de diazote (N₂) pour l'azote (N) et sous forme de CH₄ et de CO₂ pour le carbone (C).

La troisième étape consiste à comparer les défauts de bilan de masse (correspondant aux pertes gazeuses) avec les émissions mesurées par l'analyseur de gaz. Elles doivent correspondre entre-elles selon les équations suivantes :

- Emission cumulée H₂O = H₂O volatilisé
- Emissions cumulées N-NH₃ + N-N₂O <= N volatilisé
- Emissions cumulées C-CH₄ + C-CO₂ <= C volatilisé

Seul l'élément H₂O permet de valider les mesures. En effet, pour l'azote et le carbone, les émissions cumulées de ces gaz peuvent être inférieures aux défauts de bilan de masse. Etant donné les incertitudes de mesure, on considère qu'une différence

inférieure à 30% entre ces deux modalités d'estimation des pertes est acceptable (Hassouna et Eglin, 2015). Ainsi le rapport entre les défauts de bilans et les pertes mesurées en H₂O doit être supérieur à 70% pour valider la mesure avec l'analyseur de gaz sur l'azote, le carbone et l'eau.

1.3.7. Analyse des résultats

Les analyses statistiques des données zootechniques ont été réalisées avec le logiciel R. Les données d'indice de consommation (IC), de consommation journalière et de coût alimentaire ont été soumises à une analyse de covariance avec la case comme unité statistique, en effets fixes le traitement (T), la bande (B), le sexe (S) et leurs interactions, et le poids moyen initial de la case en covariable. Les données de croissance individuelles des porcs ont été soumises à une analyse de covariance en modèle mixte avec en effets fixes T, B, S et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. Les caractéristiques individuelles de carcasse ont été étudiées par analyse de variance avec les effets T, B, S et leurs interactions. Le poids chaud de la carcasse est pris en compte en covariable pour analyser le TMP.

Une comparaison numérique a été réalisée entre les concentrations gazeuses dans l'air ambiant et les émissions gazeuses mesurées dans la salle témoin et celles mesurées dans la salle test. En effet, compte-tenu de la variabilité temporelle des concentrations gazeuses des tests statistiques ne sont pas envisageables. Cela permet d'analyser l'effet de l'ajout d'additifs dans l'alimentation des porcs à l'engrais sur la qualité de l'air et les émissions en NH₃, CH₄ et N₂O. La comparaison entre les deux salles a également été réalisée sur les rejets azotés et la composition des effluents.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances technico-économiques

Au cours des 3 bandes, six porcs sont morts ou ont été transférés à l'infirmerie (1,4 %). L'analyse des performances technico-économiques présentées dans le tableau 2 ne prend pas en compte ces 6 porcs. L'incorporation de 0,5% d'AB entraîne une amélioration du GMQ de 33 g/j sur l'engraissement (977 vs 944 g/j, $P > 0,001$). Cette observation est en accord avec celles de Zhai *et al.* (2017) et Humphrey *et al.*, (2022) qui notent une amélioration de la vitesse de croissance respectivement de + 55 g/j et + 39 g/j sur l'ensemble de l'engraissement avec 0,5 % d'AB. Notons que le GMQ est plus élevé pour les mâles entiers que pour les femelles, mais aucun effet de l'interaction T x S n'est observé (excepté pour le GMQ croissance). L'amélioration des performances de croissance peut être attribué au rôle de l'AB qui améliore la morphologie de l'intestin (Halas *et al.*, 2010 ; Diao *et al.*, 2014) notamment la taille des villosités, et par conséquent améliore la digestion et l'absorption des nutriments (Guggenbuhl *et al.*, 2007). Une meilleure efficacité alimentaire est observée avec l'AB (IC : 2,53 vs 2,63 kg/kg, $P > 0,001$) permettant l'obtention d'un coût alimentaire du kilo de croît identique en engraissement entre les deux lots malgré un prix de l'aliment de 3 % plus élevé avec l'ajout d'AB. Zhai *et al.* (2017), Planchenault *et al.* (2020) et Humphrey *et al.*, (2022) ont également constaté une tendance à l'amélioration de l'efficacité alimentaire avec 0,5 % d'AB, mais sans que cette différence avec le régime témoin ne soit significative.

Une amélioration du TMP (61,3 vs 61,0, $P > 0,05$) a également été observée dans les salles AB résultant d'une plus grande

épaisseur de muscle, mais sans impact sur la plus-value technique. Ainsi avec des performances de carcasses et de coût alimentaire similaires, la marge sur coût alimentaire pour l'engraissement est identique entre les deux lots.

2.2 Performances sanitaires

L'évaluation de problèmes respiratoires et digestifs à l'aide des grilles de notations Welfare Quality (Welfare Quality, 2009) n'a pas mis en évidence de différences entre les deux lots. Cependant, les notations étant ponctuelles et peu fréquentes, elles ne sont pas représentatives de l'ensemble des bandes pour ce qui est des problèmes digestifs.

Au cours des trois bandes, on constate que des traitements pour des raisons digestives ont été deux fois plus administrés pour les lots témoins que pour les lots recevant de l'AB, soit une diminution du coût sanitaire de 58 % avec l'ajout d'AB, mais sans impact sur la marge sur coût alimentaire et sanitaire en engraissement. L'amélioration des performances sanitaires peut être attribuer au rôle de l'AB sur l'abaissement du pH intestinal (Diao *et al.*, 2014) qui aide à la suppression des agents pathogènes et à l'amélioration de la biodiversité du microbiote intestinal (Halas *et al.*, 2010).

2.3 Performances environnementales

2.1.1. Bilans de masse phosphore, azote et carbone

Les bilans de masse de l'azote et du carbone ont été validés par le bilan de masse sur le phosphore (non volatil) qui montre une différence inférieure à 10 % entre les entrées (éléments ingérés) et les sorties (éléments retenus ou excrétés).

Pour ce qui est du bilan de masse de l'azote, on constate que les quantités d'azote ingérées sont légèrement inférieures dans les lots avec AB (-1 %, -3 % et -2 % respectivement pour les bandes 1, 2 et 3), en raison d'un aliment à plus faible teneur en protéines et d'une consommation alimentaire légèrement réduite sur l'engraissement en lien avec une durée d'engraissement plus courte. Une meilleure rétention corporelle de l'azote est également observée chez les animaux recevant l'aliment avec AB. Celle-ci est liée à une amélioration des performances zootechniques (meilleure croissance et meilleur TMP) des porcs recevant le régime AB. Par conséquent, les porcs du lot AB ont excrété moins d'azote que les porcs du lot témoin (-5 %, -7 % et -2 % respectivement pour les bandes 1, 2 et 3). Ce résultat est en accord avec Daumer *et al.*, (2007). En ce qui concerne le bilan de masse du carbone, à l'instar de l'azote, les quantités de carbone ingérées sont légèrement inférieures pour les lots AB. Mais aucun effet n'est observé sur les pertes en carbone.

2.1.2. Composition des effluents produits

Malgré des quantités d'azote excrétées plus faibles par les porcs du lot AB, les quantités d'azote dans les lisiers sont plus élevées dans la salle AB que dans la salle témoin témoignant d'une meilleure conservation de l'azote dans les lisiers. Elles sont pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement de 1,44 vs 1,35, 1,65 vs 1,60 et de 1,53 vs 1,52 kg N total/porc. Ce résultat s'explique par le fait que l'azote ammoniacal reste majoritairement sous la forme non ionisée, donc non volatilisable, du fait de la réduction du pH du lisier résultant de l'acide hippurique produit par le métabolisme de l'AB par l'animal (Kristensen *et al.*, 2009). Les effluents sortis du bâtiment sont donc plus riches en azote ammoniacal utilisable par les plantes, à condition de maîtriser les pertes azotées au stockage et à l'épandage de ces effluents.

Leurs teneurs sont pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement de 0,78 vs 0,76, 0,97 vs 0,96 et 0,92 vs 0,87 kg N-NH₄⁺/porc. Les pH des lisiers mesurés en fin d'engraissement ne diffèrent pas entre le lot témoin et le lot AB lié probablement à la production

d'ions OH⁻ lors de la décongélation des échantillons avec pour les bandes 1, 2 et 3 respectivement 7,30 vs 7,33, 7,39 vs 7,54 et 7,30 vs 7,22. Aucun effet sur les autres éléments (carbone, phosphore et matière sèche) n'a été observé.

Tableau 2 – Performances zootechniques des trois bandes selon l'aliment distribué

	Témoin	AB	ETR	Statistique ¹					
				Traitement	Sexe	Bande	Traitement x Sexe	Traitement x Bande	Sexe x Bande
Nombre de cases	36	36							
Nombre de porcs abattus	212	214							
Poids entrée engraissement ² ,kg	31,1	31,0	3,1	NS	NS	***	NS	NS	NS
Poids fin engraissement ² ,kg	120,2	121,9	5,4	**	***	***	NS	NS	NS
Durée engraissement ² ,j	94,6	93,2	3,8	***	**	***	NS	NS	**
GMQ engraissement ² , g/j	944	977	77	***	***	**	NS	NS	*
IC engraissement ³ , kg/kg	2,63	2,53	0,08	***	***	*	NS	NS	NS
CMJ engraissement ³ , kg/j	2,46	2,45	0,04	*	NS	***	*	**	NS
Coût alimentaire du kilo de croît engraissement ³ , €/kg	1,178	1,176	0,032	NS	***	NS	NS	NS	*
TMP ^{4,5} , %	61,0	61,3	1,7	*	***	*	NS	**	NS
G3 ⁴ , mm	13,9	13,7	2,6	NS	***	NS	NS	*	NS
G4 ⁴ , mm	22,0	22,0	3,0	NS	***	NS	NS	NS	NS
M3 ⁴ , mm	76,0	77,1	5,8	*	***	***	NS	NS	NS
M4 ⁴ , mm	60,0	60,9	4,5	*	***	***	NS	NS	NS
Plus-value technique ⁴ , centimes d'€/kg	14,6	14,6	4,7	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Marge sur coût alimentaire ³ , €/100 kg de carcasse	92,41	92,47	5,05	NS	**	NS	NS	NS	NS

¹ Moyennes ajustées. ² Analyse mixte de la covariance sur les données individuelles des porcs avec en effets fixes le traitement (T), le sexe (S), la bande (B) et leurs interactions, en effet aléatoire la case et en covariable le poids initial. ³ Analyse de la covariance sur les données moyennes par case avec en effets fixes le traitement, le sexe, la bande et leurs interactions, et en covariable le poids initial de la case. ⁴ Analyse de la variance sur les données individuelles des porcs avec en effets principaux T, S, B et leurs interactions. ⁵ Le poids chaud de carcasse est pris en compte en covariable. ETR : écart-type résiduel ; * : P < 0,05 ; ** : P < 0,01 ; *** : P < 0,001.

Selon Canh *et al.* (1998), cela peut être lié au pouvoir tampon des fèces. Par ailleurs, aucun autre effet n'a été observé sur les autres éléments.

2.1.3. Facteurs d'émissions gazeuses

Les mesures des émissions gazeuses ont montré une réduction des émissions de NH₃ dans les salles AB de -17 %, -24 % et -10 % respectivement pour les bandes 1, 2 et 3, par rapport aux salles témoins. On observe que plus les températures extérieures ont été élevées, plus le taux de réduction des émissions de NH₃ a été important. En effet, elles ont été respectivement pour les bandes 1, 2 et 3 de 9,5 ± 3,5 °C, 17,3 ± 5,3 °C et 6,4 ± 4,8 °C. Par ailleurs, aucun effet n'a été observé pour les émissions de N₂O et de CH₄ (Tableau 3).

Les facteurs d'émissions de NH₃ sont proches du facteur d'émission retenu par le CITEPA de 2,4 kg NH₃/place de porc/an, soit 7,3 g/porc/jour. Les facteurs d'émissions de N₂O sont très faibles, à la limite de détection de l'analyseur de gaz. Enfin les émissions de CH₄ varient entre 4,69 et 9,47 g/porc/jour, en accord avec la variabilité mesurée par Philipe *et al.* (2014).

Tableau 3 - Facteurs d'émission de NH₃, N₂O, CH₄

Facteurs d'émission, g/porc/jour	NH ₃	N ₂ O	CH ₄
Témoin B1	7,98	0,01	4,69
Acide Benzoïque B1	6,59	0,00	4,69
Témoin B2	8,38	0,03	5,38
Acide Benzoïque B2	6,38	0,09	6,56
Témoin B3	8,74	0,00	9,47
Acide Benzoïque B3	7,83	0,00	8,92

Les taux de réductions des émissions de NH₃ sont équivalents à ceux référencés dans le BREF élevage (de -6,4 % à -24 % de réduction de l'émission de NH₃) mais avec une supplémentation de 1 % d'AB dans un régime biphasé et dans des contextes de taux plus élevés de protéines dans les aliments (de 16,6 % à 18,1 % pour les aliments de croissance ; de 15 % à 16,2 % pour les aliments de finition). Avec une supplémentation de 0,5 % d'AB, les réductions référencées dans le BREF élevage n'étaient que de -3,6 % à -6 % pour une alimentation biphasé avec des taux protéiques plus élevés dans les aliments (16,6 % pour les

aliments croissances ; de 15,1 % à 15,5 % pour les aliments finitions). Ces différences s'expliquent par le fait que la réduction du taux de protéine de l'aliment entraîne une diminution du pouvoir tampon et donc une meilleure efficacité de l'AB (Daumer *et al.*, 2007).

2.1.4. Qualité de l'air

Dans l'air ambiant, les concentrations en NH₃ moyennées sur les trois bandes sont de 16,3 ± 2,4 ppm dans les salles témoins et de 14,0 ± 2,7 ppm dans les salles avec AB. Ces taux sont inférieurs à la valeur limite d'exposition professionnelle de 20 ppm sur une durée de 15 minutes (INRS, 2022). Par ailleurs, l'ajout d'AB dans l'aliment a permis de diminuer la concentration en NH₃ d'au moins 2 ppm.

CONCLUSION

L'AB incorporé à 0,5 % dans l'aliment à bas taux protéique, en favorisant la rétention d'azote par les porcs et de l'ammonium dans le lisier, permet de diminuer les émissions de NH₃ de 10 à 24 % selon les saisons. Cette solution a plusieurs avantages pour agir sur les réductions d'émissions de NH₃ des élevages soumis à la directive IED. Elle est simple à mettre en place, car l'AB est incorporé directement dans l'aliment. Elle ne nécessite pas d'investissements, contrairement à d'autres « meilleures techniques disponibles (MTD) » tels que le lavage d'air ou le raclage en V et elle n'impacte pas la rentabilité des élevages, car les meilleures performances zootechniques obtenues permettent de compenser son coût. Enfin, elle permet d'obtenir des résultats similaires à ceux obtenus pour une

incorporation de 1 % d'AB, déjà reconnue comme une MTD, et ce, dans des contextes d'aliments avec de faibles taux de protéines. Ainsi, dans le cadre de la révision du BREF élevage, il serait intéressant d'investiguer davantage cette technique, notamment si la directive IED devait s'étendre à d'autres élevages plus petits et ayant moins de capacité d'investissements. Cette solution est également intéressante à l'échelle de l'exploitation pour son intérêt agronomique de recyclage de l'azote, en permettant d'obtenir un lisier plus riche en azote ammoniacal. Mais encore faut-il prendre des précautions pour une bonne gestion du lisier par la suite et éviter les pertes de NH₃ au stockage ou à l'épandage. Enfin, pour limiter encore le surcoût lié à l'ajout d'AB dans l'aliment, il serait intéressant d'étudier les effets d'une dose décroissante d'AB dans l'aliment au cours de l'engraissement sur les performances environnementales. Planchenault *et al.*, (2020) ont en effet obtenu les meilleures performances de croissance et d'efficacité alimentaire des porcs charcutiers à des taux d'incorporation de 0,5 % et 0,3 % respectivement dans les aliments croissance et finition, par rapport à des porcs alimentés avec des aliments contenant des taux constants d'AB de 0 à 0,5 % au cours de l'engraissement.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié du soutien financier de la société DSM-Firmenich et du Programme Régional pour le Développement Agricole et Rural Bretagne. Les auteurs remercient les techniciens de la station expérimentale de Crécom.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Canh T.T., 1998. Ammonia emission from excreta of growing-finishing pigs as affected by dietary composition. PhD Thesis. Agric. Univ. Wageningen, The Netherlands, 163 p.
- CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022. Rapport Secten ed. 2023.
- Daumer M-L., Guizou F., Dourmad J-Y., 2007. Influence de la teneur en protéines de l'aliment et de l'addition d'acide benzoïque et de phytase microbienne sur les caractéristiques des effluents chez le porc à l'engraissement. Journées Rech. Porcine, 39, 13-22
- Diao H., Zheng P., Yu B., He J., Mao X. B., Yu J., Chen D. W., 2014. Effects of dietary supplementation with benzoic acid on intestinal morphological structure and microflora in weaned piglets. *Livest. Sci.*, 167, 249-256.
- Guggenbuhl P., Séon A., Piñón Quintana A., Simões Nunes C., 2007. Effects of dietary supplementation with benzoic acid (VevoVital®) on the zootechnical performance, the gastrointestinal microflora and the ileal digestibility of the young pig. *Livest. Sci.*, 2007, 218-221.
- Guingand N., Demerson L., Broz J., 2005. Incidence de l'incorporation d'acide benzoïque dans l'alimentation des porcs charcutiers sur les performances zootechniques et l'émission d'ammoniac. Journées Rech. Porcine, 37, 1-6.
- Halas D., Hansen C. F., Hampson D. J., Mullan B. P., Kim J. C., Wilson R. H., Pluske J. R., 2010. Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs. *Anim. Feed Sci. Tech*, 160, 137-147.
- 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.
- Humphrey D. C., Bergstrom J. R., Pérez-Calvo E., Trabue S. L., Scoggin K. D., Greiner L. L., 2022. The effect of benzoic acid with or without a direct-fed microbial on the nutrient metabolism and gas emissions of growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2022, 100, 1-11.
- INRS, 2022. Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. Logiciel en ligne
- IPCC, 2021. Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Kristensen N. B., Nørgaard J. V., Wamberg S., Engbæk M., Fernández J. A., Zacho H. D. and Poulsen H. D., 2009. Absorption and metabolism of benzoic acid in growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 2009, 87:2815-2822.
- Krupa S.V., 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: A review. *Environ. Pollut*, 124, 179-221.
- Lagadec S., Guingand N., Trucheau 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.
- Planchenault D., Gracia M., Bonekamp R., Walsh M., Perez-Cavlo E., 2020. Effets de différentes doses d'acide benzoïque sur les performances zootechniques des porcs charcutiers entre 25 kg et l'abattage. Journées Rech. Porcine, 52, 171-172
- RMT Elevage et environnement, 2016. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs, 26 pp.
- Welfare Quality®, 2009. Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing and finishing pigs). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands
- Zhai H., Ren W., Wang S., Wu J., Guggenbuhl P., Kluever A-M., 2017. Growth performance of nursery and grower-finisher pigs fed diets supplemented with benzoic acid. *Animal Nutrition* 3:3, 232-235.