

Évaluation des pertes d'azote et de carbone de filières de gestion de déjections porcines associées au raclage en V

Émissions d'ammoniac et de GES au bâtiment, stockage et compostage des effluents produits, valorisations énergétique et agronomique

Solène LAGADEC (1), Aurore TOUDIC (1), Bertrand DECOOPMAN (1), Sandrine ESPAGNOL (2), Romain RICHARD (2),
Sophie GENERMONT (3), Robert TROCHARD (4), Polina VOYLOKOV(3), Mélynda HASSOUNA (5)

(1) Chambre d'agriculture de Bretagne, Rond point Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex, France

(2) IFIP Institut du porc, Domaine de la Motte, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

(3) UMR ECOSYS, INRA AgroParisTech, route de la ferme, F-78850 Thiverval-Grignon, France

(4) ARVALIS Institut du végétal, La Jaillère, 44370 La Chapelle Saint Sauveur, France

(5) INRA AgroCampus Ouest UMR SAS, 65 rue de St Brieuc, 35000 Rennes, France

Solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

Avec la collaboration de Erwan Bleuven, Malaurie Chanet, Jérôme Chiffe, Philippe Coantic, Raymond Derrien, Brigitte Durand, Baptiste Esnault, Adrien Guiriaboye, Paul Landrain, Marcel Lecompte, Yannig Moysan, Pascal Quenouault, Marc Toudic

Evaluation des pertes d'azote et de carbone de filières de gestion des déjections porcines associées au raclage en V

Le raclage en V est un système mécanique d'évacuation fréquente des déjections qui permet de réduire jusqu'à 40% les émissions d'ammoniac et 10% les émissions de méthane par le bâtiment. Cependant, une analyse de l'ensemble de la filière de gestion des déjections est nécessaire car la réduction des émissions azotées et carbonées par le bâtiment se traduit par une augmentation de la teneur en azote et en carbone des effluents produits engendrant un risque d'accroissement des émissions ultérieures (transfert de pollution vers le stockage et l'épandage). Cette étude a permis de mesurer les émissions azotées et carbonées de différentes filières de gestion des déjections issues d'un bâtiment équipé d'un raclage en V. Selon la filière, la somme des pertes gazeuses azotées, du bâtiment à l'épandage, varie de 0,87 à 1,52 kg N/porc. La modalité permettant de mieux conserver l'azote est celle qui intègre la méthanisation des effluents produits (filière « Métha »). Cette filière entraîne également une réduction de 25% des émissions d'ammoniac si l'ouvrage de stockage du digestat est couvert et de 73% des émissions de gaz à effet de serre, par rapport à la filière « Raclage » habituellement mise en œuvre en élevage (stockage des urines et compostage des fèces). De plus, cette filière « Métha » permet de maximiser la production de méthane (320 à 350 m³ de CH₄ par tonne de matière organique) et d'obtenir un produit (le digestat) présentant un fort coefficient d'utilisation de l'azote (0,58). Pour la filière « Raclage », l'utilisation d'équipements pour réduire les émissions d'ammoniac, comme le « lavage » de l'air, pourrait réduire les émissions des principaux postes émetteurs : le bâtiment et le compostage de la phase solide.

Evaluation of nitrogen and carbon losses in different manure management chains with V-shaped scrapers

V-shaped scrapers are a mechanical system that evacuates manure more frequently, reducing piggery ammonia emissions by up to 40% and methane emissions by 10%. However, assessing the entire manure management chain is necessary because reduction in nitrogen and carbon emissions from the building results in an increase in nitrogen and carbon contents of the manure and thus the risk of pollution transfer downstream in the chain. The purpose of this study was to measure nitrogen and carbon emissions of different manure management chains from a building equipped with a V-shaped scraper. Depending on the management chain, total nitrogenous gas losses (from the building to field spreading) varied from 0.87-1.52 kg N/pig. The manure management system that conserved the most nitrogen included anaerobic digestion of the manure ("Méthà"). This chain also decreased ammonia emissions by 25% if the stored digestate was covered and greenhouse gas emissions by 73%, compared to the usual chain with V-shaped scrapers (in which urine was stored and manure composted). In addition, the "Méthà" chain maximized methane production (320-350 m³ CH₄/t organic matter) and produced digestate with a high nitrogen fertiliser-use equivalency (0.58). In the chain with V-shaped scrapers, using equipment to reduce ammonia emissions, such as an air scrubber, could reduce emissions from the main emitting locations: the building and solid-phase composting area.

INTRODUCTION

L’agriculture représente 97 % des émissions d’ammoniac en France dont 73 % sont liées à l’élevage (CITEPA, 2014). Pour répondre aux exigences réglementaires françaises et européennes, il est nécessaire de développer des solutions pour réduire les émissions en élevage. Pour les bâtiments porcins, l’évacuation fréquente des déjections avec séparation de phases, appelée « raclage en V », a fait ses preuves : par rapport au stockage des déjections en préfosse, elle permet d’abattre les émissions d’ammoniac (NH₃) d’au moins 40% (Loussouarn *et al.*, 2014) et les émissions de méthane (CH₄) de 10 % (Lagadec *et al.*, 2011). Cependant, une analyse de l’ensemble de la filière de gestion des déjections est nécessaire car la réduction des émissions azotées et carbonées du bâtiment se traduit par une augmentation de la teneur en azote et en carbone des effluents produits. Ceci est susceptible d’accroître les émissions de ces produits lors du stockage mais en revanche, si les effluents extraits du bâtiment sont méthanisés, cela favorise la production de méthane, ainsi que le recyclage agronomique de l’azote, comme le montrent Quideau et Lagadec (2013).

Ainsi, cette étude a pour objectif de réaliser un bilan global des pertes gazeuses d’azote et de carbone pour différents itinéraires de gestion (bâtiment, stockage/compostage ou méthanisation) des effluents issus de bâtiments avec raclage en V. L’analyse des émissions d’ammoniac et de gaz à effet de serre sera complétée par une analyse des valorisations énergétique et agronomique des produits issus de ce type de bâtiment.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. Filières de gestion de déjections considérées

Quatre filières de déjections ont été étudiées (figure 1).

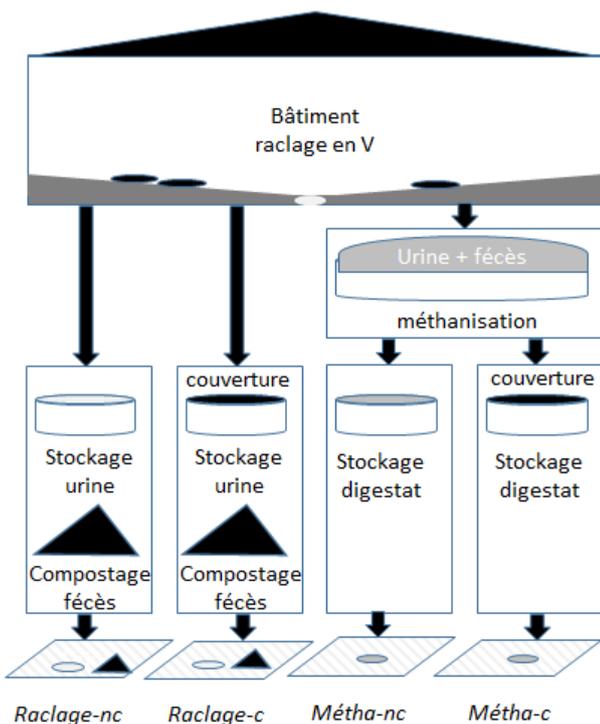


Figure 1 – filières de gestion des déjections étudiées

Les filières « Raclage-nc » et « Raclage c » associent le stockage des urines sans « Raclage-nc » ou avec « Raclage-c » couverture de fosse, le compostage des fèces, puis l’épandage de ces produits comme fertilisant. Dans les deux autres filières, « Métha-nc » et « Métha-c » les effluents sont méthanisés, puis le digestat est stocké dans une fosse couverte (« Métha-c ») ou non couverte (« Métha-nc », avant d’être épandu comme fertilisant.

1.2. Description de l’expérimentation

Les émissions d’azote et de carbone de quatre bandes de porcs ont été mesurées de juillet 2015 à septembre 2017 dans la station expérimentale de Guernevez (29). Chaque filière a fait l’objet d’un suivi sur deux bandes de porcs afin de prendre en compte l’effet saison.

La valorisation énergétique des produits a été évaluée à l’aide du pilote de méthanisation mis en place dans la station de Guernevez (29) d’octobre 2015 à avril 2017. Enfin, la valorisation agronomique des effluents a été évaluée dans la station agronomique des Chambres d’Agriculture de Bretagne de Kerguehenec (56) en mai 2016 et mai 2017.

1.3. Analyse du transfert de pollution entre postes

1.3.1. Mesure des pertes d’azote et de carbone au bâtiment équipé d’un raclage en V

La mesure des pertes gazeuses, par le bâtiment, d’azote, sous forme de NH₃ et de protoxyde d’azote (N₂O), et de carbone, sous forme de CH₄ et de dioxyde de carbone (CO₂), a été réalisée dans une salle d’engraissement équipée d’un raclage en V Prolap® décrit par Loussouarn *et al.* (2014). La salle héberge 60 porcs sur caillebotis intégral avec une ventilation en surpression. Les urines sont évacuées en continu par gravité. La fréquence d’évacuation des déjections solides est fixée à 6 fois par jour pendant la phase de « croissance » et à 12 fois par jour pendant la phase de « finition ». Les animaux sont alimentés en soupe.

Les pertes gazeuses totales, azotées et carbonées, par le bâtiment sont calculées à partir des défauts de bilan de masse selon l’équation suivante :

$$\text{Pertes gazeuses} = \text{Entrées (Ingéré + fixé par les animaux entrants)} - \text{Sorties (Effluent + fixé par les animaux sortants)}$$

Les quantités ingérées sont calculées à partir des quantités d’aliments consommées et de leur composition en azote et carbone. Le calcul des quantités d’azote et de carbone fixés par les animaux est réalisé à partir des équations de rétention corporelle (RMT élevage et environnement, 2016 et Robin *et al.*, 2010). Enfin, pour calculer les quantités d’éléments contenus dans les effluents, la mesure du poids des effluents produits (phases liquide et solide) a été réalisée tout au long de l’engraissement des animaux et des échantillons ont été prélevés et analysés chaque semaine (MS, pH, N total, N ammoniacal, P total, C total, C organique). En moyenne, 16 échantillons (phases liquide et solide) sont analysés par bande.

Pour valider ce calcul, un bilan de masse est réalisé sur le phosphore, élément non volatil. L’écart entre le phosphore sortant et entrant doit être proche de zéro. Pour compléter ces données, les émissions gazeuses sous forme azotée (NH₃, N₂O) ou carbonée (CH₄, CO₂) sont mesurées au moyen d’un analyseur de gaz photo acoustique à infrarouge INNOVA 1412 couplé à un échantillonneur INNOVA 1309 et du débit de ventilation estimé en continu (Hassouna et Eglin, 2015).

Ce dispositif de mesure des émissions de NH₃, N₂O, CO₂ et CH₄ est également utilisé pour le stockage des urines et digestats ainsi que pour le compostage des fèces.

1.3.2. Mesure des pertes d'azote et de carbone au stockage des urines, digestats

Les pertes gazeuses azotées et carbonées lors du stockage (des urines et des digestats) sont mesurées dans 4 cuves de 10 m³. Les urines et les digestats sont respectivement répartis dans deux cuves, l'une découverte et l'autre couverte, permettant d'analyser l'effet de la couverture de la fosse sur les émissions gazeuses.

Dans les cuves non couvertes, les émissions gazeuses sont mesurées à l'aide d'un tunnel flottant dynamique. Cette technique consiste à confiner une partie de la surface d'émission et à lui appliquer un flux d'air maîtrisé, puis à en mesurer l'émission. Dans les cuves couvertes, un gaz traceur (SF₆) est utilisé pour déterminer le renouvellement de l'air à l'intérieur des cuves et ainsi calculer les émissions gazeuses (Hassouna *et al.*, 2015).

La mesure des émissions gazeuses est réalisée en semi-continu. Un bilan massique des effluents stockés est établi afin de vérifier la concordance entre les pertes gazeuses mesurées et celles estimées à partir des effluents. Ainsi les effluents arrivant au stockage sont volumés, échantillonnés et analysés (MS, pH, N total, N ammoniacal, P total, C total, C organique).

1.3.3. Mesure des pertes d'azote et de carbone au compostage de la phase solide

Les pertes azotées et carbonées lors du compostage sont mesurées dans un silo bétonné couvert et bâché, spécifiquement dédié au compostage avec retournement de l'andain. Les fèces sont récoltées à la sortie des bâtiments, dans des bacs d'un mètre cube, vidés toutes les semaines. A chaque vidange, 2% de paille sont ajoutés sur les fèces fraîches pour assurer la structuration du tas et la montée en température. Le solide frais est stocké dans le silo bâché, jusqu'à la fin de la bande, puis mélangé et mis en andain pour la phase active de compostage. Chaque bac récolté est pesé. Des retournements sont réalisés à un mois d'intervalle, au moyen d'un épandeur à fumier, pour assurer l'oxygénation, l'hygiénisation et l'homogénéisation du tas (Le Bris *et al.*, 2011). Les émissions gazeuses sont mesurées dès l'apport des fèces dans le silo jusqu'à la fin du compostage. Pour cela, les débits de ventilation sont enregistrés régulièrement par un anémomètre. Le mélange fèces/paille est échantillonné en début, en cours et en fin de transformation et analysé (MS, N, C, P₂O₅, C/N) pour réaliser un bilan matière.

1.3.4. Calcul des émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont calculées à partir de celles de protoxyde d'azote et de méthane, en utilisant les équations suivantes :

$$\text{Émission GES (kg eq CO}_2\text{/porc)} = \text{émission N-N}_2\text{O (kg/porc)} \times 44/28 \times 298 + \text{émission C-CH}_4 \text{ (kg/porc)} \times 16/12 \times 25$$

298 et 25 étant les potentiels de réchauffement global sur une période de 100 ans (en équivalent CO₂), respectivement pour le protoxyde d'azote et le méthane (GIEC, 2007).

1.3.5. Comparaison des émissions d'ammoniac avec un raclage en V à celles obtenues avec stockage des lisiers en préfosse

La filière de gestion des déjections avec stockage des lisiers en préfosse est la plus courante dans les élevages de porcs français. Aussi, pour compléter l'analyse sur le transfert de

pollution entre postes, les émissions d'ammoniac mesurées dans le cadre de cette étude (filières « raclage » et « métha ») ont été comparées à celles de la filière « lisier stocké » calculées à partir de données de référence.

Pour calculer les pertes gazeuses en NH₃ liées à la filière « lisier stocké », les références de rejets définies par le RMT élevage et environnement (2016) sont utilisées : la volatilisation de l'ammoniac correspond à 22,3 % de l'azote excrété par le bâtiment, et à 7% de l'azote stocké (sans couverture de fosse).

1.4. Mesure de la production de méthane des produits issus d'un bâtiment équipé d'un raclage en V

Le pilote de méthanisation utilisé est composé de deux unités en parallèle, qui comprennent chacune : une cuve d'alimentation (pour préparer les mélanges à tester), un digesteur de 25 m³, et une cuve de réception du digestat. Les expérimentations menées permettent de déterminer, en conditions réelles de méthanisation, la production de biogaz du mélange d'urines et de fèces. Les fèces et urines récoltées séparément sont stockées jusqu'à la fin de la bande (« pré-stockage »), puis mélangées et diluées pour obtenir un effluent autour de 6-7 % de matière sèche, facile à pomper. Les résultats présentés tiennent compte de cette dilution. Les pertes gazeuses totales azotées et carbonées lors de la phase de « pré-stockage » sont calculées par le bilan de masse (rappelons que le calcul à partir du bilan de masse comprend des incertitudes liées à l'échantillonnage et à l'analyse de la composition des effluents au laboratoire). On estimera que durant cette phase 100% des pertes azotées se font sous forme de NH₃ et 100% des pertes carbonées sous forme de CO₂.

Le temps de séjour retenu est d'environ 30 jours (soit une alimentation de 600 l par jour), la température de consigne des digesteurs est de 38 °C (méthanisation mésophile). Un analyseur de gaz permis de mesurer la qualité du biogaz produit durant la méthanisation (proportion de CH₄ et de CO₂).

1.5. Mesure du coefficient d'efficacité azoté

Deux types de mesures sont réalisés : des mesures sur le terrain avec des apports de phase liquide riche en N-NH₄ (après stockage avec et sans couverture de fosse) et des mesures en laboratoire de la phase solide compostée, peu chargée en N-NH₄. Les mesures sur le terrain sont réalisées sur une parcelle de maïs selon la méthodologie dite de la courbe de réponse à l'azote. Le champ est divisé en 21 parcelles de 100 m² (3 répétitions, 5 traitements minéraux, 2 produits organiques). Chaque parcelle reçoit soit une dose d'azote minéral (0, 50, 100 ou 150 uN/ha), soit une dose de liquide issu du bâtiment raclage « V » (89 ± 6 uN/ha).

Les mesures en laboratoire consistent à déterminer les teneurs en N du maïs et à mesurer les reliquats d'N dans le sol (approche du bilan) et aussi, pour le produit solide, en des analyses ISMO (indice de stabilité de la matière organique). Pour s'affranchir de la variabilité, ces mesures sont réalisées sur trois échantillons de produits solides et sur deux campagnes de maïs pour les produits liquides.

Ces différentes mesures permettent de déterminer le coefficient apparent d'utilisation (CAU) qui correspond à la fraction de l'azote total d'un fertilisant (minéral ou organique) qui est absorbée par les plantes jusqu'à la récolte, et le KeqN qui est le rapport entre le CAU de l'azote du produit et le CAU de l'azote de l'ammonitrate.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Les porcs sont entrés en engraissement en moyenne à $31,8 \pm 1,2$ kg et sont sortis à 124 ± 2 kg (Tableau 1). Les poids de sortie sont élevés en raison d'un contexte d'enlèvement des porcs charcutiers tendu.

Tableau 1 – Performances zootechniques des quatre bandes

Filière	« Raclage »		« Métha »	
Bande	1	2	1	2
Poids entrée (kg)	31,4	32,6	32,9	30,3
Poids sortie (kg)	127	125	122	122
GMQ (g/jour)	922	943	923	894
IC (kg/kg)	2,56	2,67	2,66	2,84
Jours de présence	103	96	94	103

Le gain moyen quotidien (GMQ) obtenu sur les 4 bandes suivies s'élève en moyenne à 920 ± 20 g/porc. L'IC moyen est de $2,68 \pm 0,12$ (Tableau 1).

2.2. Pertes gazeuses d'azote

La figure 2 présente l'ensemble des pertes azotées du bâtiment jusqu'à l'épandage pour les quatre filières de gestion des déjections.

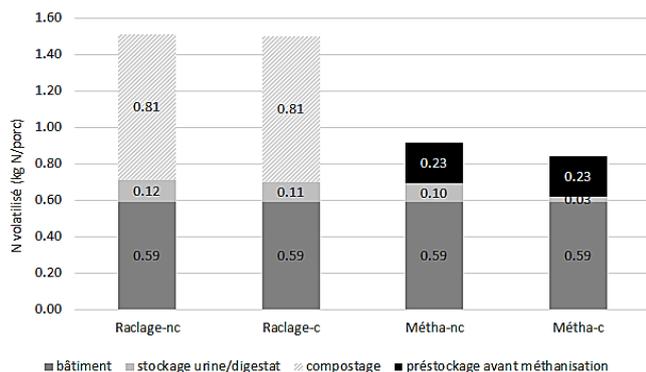


Figure 2 – Répartition des pertes azotées par poste et par filière

L'azote volatilisé par le bâtiment équipé d'un raclage en V s'élève en moyenne à $0,59$ kg N/porc. Cela correspond à 17% de l'azote excrété en moyenne. Ce résultat moyen est de 2 points au-dessus de la référence du RMT élevage et environnement (2016), soit 15% de l'azote excrété. Ceci peut s'expliquer par le poids de sortie des porcs charcutiers plus lourd que celui utilisé dans les références (124 vs 118 kg).

La filière « Métha-c » est celle qui permet la meilleure conservation de l'azote jusqu'à épandage. En effet, la volatilisation est de seulement $0,84$ kg N/porc sur l'ensemble de la filière, soit à peine plus de la moitié des pertes azotées des filières « Raclage » ($1,52$ kg N/porc en moyenne). La majorité des pertes gazeuses azotées des filières « Raclage » ont lieu lors du compostage de la phase solide.

Les pertes au stockage par les urines ou les digestats sont les plus faibles (de $0,03$ à $0,11$ kg N/porc). L'efficacité de la couverture de fosse sur la réduction des pertes azotées est très nette pour les digestats avec 73% d'abattement de la volatilisation de l'azote ($0,10$ vs $0,03$ kg N/porc), moins pour les urines, avec seulement 9% de réduction en moyenne ($0,12$ vs $0,10$ kg N/porc). Ce résultat est bien inférieur au taux de

réduction de l'ordre de 92 % mesuré avec une couverture de fosse à lisier (Espagnol *et al.*, 2015). De plus, les urines ayant une concentration en azote ammoniacal plus élevée que les lisiers, un effet plus marqué était attendu ; aucune explication n'a été identifiée.

Durant la phase de méthanisation, le bilan de masse n'indique pas d'émission azotée, ce qui était attendu. En revanche, des pertes pré-stockage, liées aux contraintes expérimentales, ont été mesurées, correspondant à 8% de l'azote stocké. On note que cette étape sera beaucoup plus courte, voire inexistante, en conditions d'élevage.

L'ensemble des mesures réalisées a permis de définir pour les différentes filières étudiées des facteurs d'émission d'azote depuis le bâtiment jusqu'à l'épandage des produits (Tableau 2).

Tableau 2 – Facteurs d'émission d'azote du bâtiment jusqu'à l'épandage

Poste	Perte d'azote
Bâtiment	17 % N excrété
Stockage couvert des urines	8,6 % N stocké
Stockage découvert des urines	9,6 % N stocké
Compostage	50 % N stocké
Pré-stockage avant méthanisation	8% N stocké
Stockage couvert des digestats	1,5 % N stocké
Stockage découvert des digestats	4,4 % stocké

2.3. Pertes gazeuses de carbone

Les pertes carbonées des différentes filières de gestion des déjections sont très proches puisqu'elles varient entre $73,9$ et $74,1$ kg/porc (Figure 3). Dans tous les cas, le poste le plus émetteur est le bâtiment (85% du total) avec des émissions carbonées principalement sous forme de dioxyde de carbone produit par les animaux. Entre la filière classique (stockage + compostage) et la filière méthanisation, la quantité de carbone émise est équivalente. Le carbone perdu lors de la méthanisation est réparti sous les formes suivantes : 3% de C-CH₄ perdu dans l'air (fuite estimée par calcul), et 64% de C-CH₄ et 34% de C-CO₂ envoyés vers la chaudière.

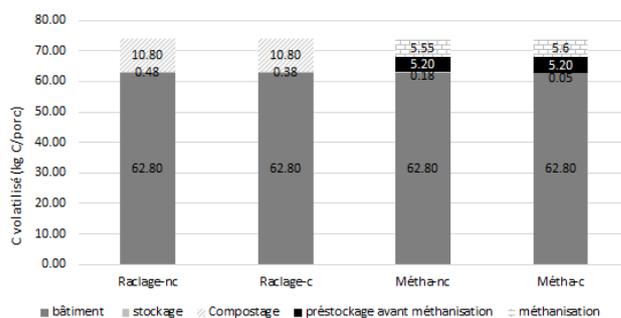


Figure 3 – Répartition des pertes carbonées par poste et par filière

2.4. Emissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre

La majorité des pertes gazeuses azotées sont sous la forme d'ammoniac : 87% pour les pertes du bâtiment, 100% pour celles du stockage (par mesure), 100% pour celles du préstockage avant méthanisation (par hypothèse) et 48% pour celles du compostage (par mesure).

Les émissions d’ammoniac du bâtiment jusqu’à épandage varient de 0,77 kg à 1,02 kg N-NH₃/porc, la majorité des émissions ayant lieu au niveau du poste bâtiment (0,51 kg N-NH₃/porc). La comparaison des différentes filières montre que la filière « Métha-c » permet de réduire de 25% les émissions d’ammoniac par rapport à la filière « Raclage ». Aussi, si en conditions d’élevage le pré-stockage des effluents était diminué, cette filière avec couverture de fosse de stockage du digestat permettrait d’atteindre une réduction de près de 47% des émissions d’ammoniac.

Du bâtiment à la sortie des effluents avant épandage, les émissions de gaz à effet de serre varient entre 43 et 161 kg eq CO₂/porc. Le poste le plus émetteur est le compostage avec une émission de 82 kg eq CO₂/porc, principalement sous la forme de N₂O. Au total, on observe une réduction d’environ 73 % des émissions de gaz à effet de serre avec la filière "Metha" en comparaison des filières "raclage".

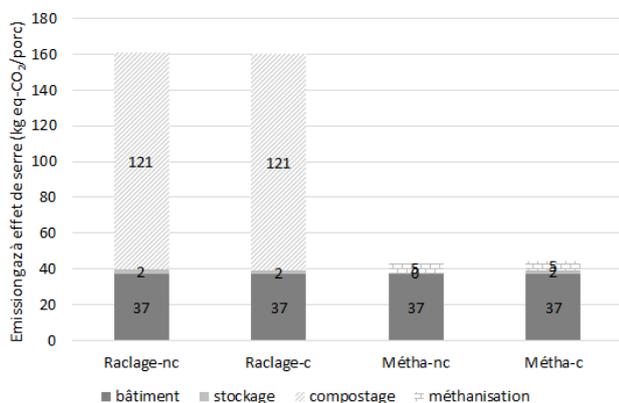


Figure 4 - Émissions de gaz à effet de serre (en kg eq-CO₂/porc) Notons que ce bilan n’intègre pas les pertes en eq CO₂ liées au transport des effluents du bâtiment jusqu’au site de méthanisation dans le cas des filières « Métha ».

2.5. Comparaison des pertes en ammoniac des filières avec un raclage en V à celles de la filière « Lisier stocké »

Les pertes azotées totales (bâtiment+stockage/compostage) avec la filière « lisier stocké » s’élèvent à 1,02 kg N-NH₃/porc avec respectivement 0,82 et 0,20 kg N-NH₃/porc pour bâtiment et stockage. Les pertes azotées mesurées avec la filière « Raclage » (sans couverture de fosse au stockage des urines) s’élèvent également à 1,02 kg N-NH₃/porc avec respectivement 0,51, 0,12 et 0,39 kg N-NH₃/porc pour le bâtiment, le stockage de la phase liquide et le compostage de la phase solide.

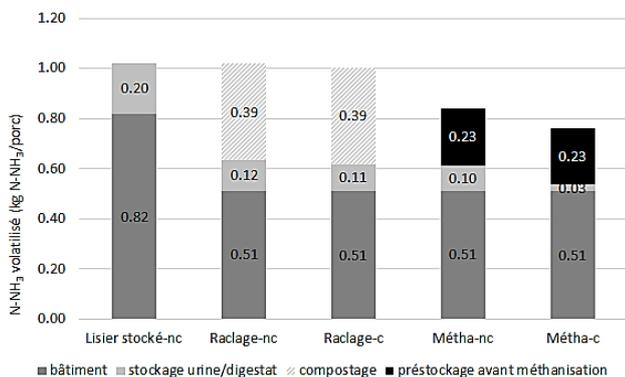


Figure 5 - Comparaison des émissions de NH₃ des filières « Raclage » et « Métha » à celles de la filière « Lisier stocké »

Finalement, pour les bâtiments équipés d’un racleur en V la réduction des émissions de NH₃ au bâtiment et au stockage compensent les pertes supplémentaires liées au compostage de la phase solide. Enfin, les émissions d’ammoniac avec la filière « Métha » sont plus faibles avec 0,84 kg N-NH₃/porc.

Par ailleurs, il faudrait prendre en compte les pertes à l’épandage pour réaliser une évaluation globale du transfert de pollution pour ces filières. Elles devraient être plus faibles lors de l’épandage du compost que celui des lisiers ou digestats.

2.6. Valorisation énergétique

La production de méthane par tonne d’intrants issus du raclage en V, hors dilution, a été de 23,6 m³ et de 22,9 m³ pour les deux bandes suivies avec la filière « Métha ». En comparaison, les références obtenues à Guernévez sur des lisiers d’engraissement sont variables, allant de 8 à 20 m³ de CH₄/tonne d’intrant, et témoignent de la diversité des lisiers qu’on peut rencontrer en élevage (Quideau et Lagadec, 2013).

Le meilleur niveau de production de méthane des effluents issus du raclage en V s’explique par deux caractéristiques : une teneur plus élevée en matière organique et une matière organique plus méthanogène. La teneur en matière organique des effluents issus du raclage, hors dilution, est de 68 et 71 kg/tonne pour les deux bandes suivies, soit plus qu’un lisier d’engraissement moyen contenant 40 à 57 kg/tonne de matière organique. Cette matière organique produit entre 320 et 350 m³ de méthane par tonne de matière organique pour les déjections issues du raclage, contre 202 à 284 m³ de méthane par tonne de matière organique pour un lisier d’engraissement moyen. Ceci est vraisemblablement dû au fait que dans les filières lisier avec stockage des effluents dans le bâtiment, une partie du méthane est déjà émise dans le bâtiment ce qui réduit la teneur en MO et le pouvoir méthanogène.

2.7. Valorisation agronomique de l’azote produit par un bâtiment équipé d’un raclage en V

2.7.1. Valorisation agronomique des urines et du digestat

Les coefficients d’équivalence azote (KeqN) observés sont très élevés et montrent une bonne efficacité de l’azote (Tableau 3). En effet, l’efficacité des produits testés a été presque équivalente à celle de l’ammonitrate puisque les KeqN sont tous proches de 1.

Tableau 3 – Coefficient Apparent d’Utilisation (CAU) et Coefficient d’équivalence azote (KeqN) des produits épandus

Effluent épandu	CAU	KeqN
Lisier kgN/t	0,29	0,91
Urine « Raclage-nc », kgN/t	0,46	0,96
Urine « Raclage-c » kgN/t	0,44	0,96
Digestat « Métha-nc » kgN/t	0,58	1,02
Digestat « Métha-c » kgN/t	0,61	1,04

On note un coefficient apparent d’utilisation (CAU) plus faible pour le lisier que pour les digestats. Cette différence ne s’explique pas par la composition des digestats, y compris en prenant en compte un éventuel effet pH (de 7,7 à 8,2). Cet effet CAU étant gommé dans l’approche bilan, l’hypothèse d’une minéralisation tardive de la matière organique du lisier ayant moins bénéficié à la plante peut être avancée.

Par ailleurs, aucun effet de la couverture de fosse n'est observé sur le CAU et le KeqN.

2.7.2. Valorisation agronomique du compost

L'indice de stabilité de la matière organique (ISMO) moyen des composts (filière « Raclage ») est de 58, proche de celui de composts mûrs. Le taux de minéralisation du carbone montre que les deux composts sont stabilisés en phase de fin de compostage.

La minéralisation de l'azote organique sera faible, après apport au champ, pour ces composts. Le risque de perte d'azote organique à l'épandage et avant enfouissement est donc faible à nul compte tenu de la faible teneur en azote ammoniacal du compost.

CONCLUSION

Cette étude a permis de mesurer les émissions azotées et carbonées de différentes filières de gestion des déjections issues d'un bâtiment équipé d'un raclage en V. La filière qui permet de conserver l'azote au mieux est celle qui intègre la méthanisation des effluents produits. En effet, les pertes gazeuses azotées ont principalement lieu lors du compostage alors que pour la filière « Métha », les effluents solides et liquides sont directement transférés dans le méthaniseur (donc non compostés).

Les pertes azotées ont lieu majoritairement sous la forme d'ammoniac, avec des émissions variant de 0,77 à 1,02 kg N-NH₃/porc en prenant en compte l'ensemble des postes. La filière « Métha » permet une réduction de 25% des émissions d'ammoniac soit 0,25 kg N-NH₃/porc par rapport à la filière « Raclage-nc ». Cependant, la mise en place d'un système de

traitement de l'air aux postes les plus émetteurs (bâtiment et stockage) permettrait de réduire la quantité totale d'ammoniac émise par les filières « Raclage ». Notons que sans traitement de l'air les émissions totales d'ammoniac aux postes bâtiment et stockage/compostage sont identiques entre la filière « Raclage-nc » et la filière « Lisier stocké ».

Lors du stockage, la couverture de fosse montre des résultats intéressants sur la réduction des émissions d'ammoniac au stockage des digestats (abattement de 73%) mais n'a pas fait ses preuves sur le stockage des urines, ce qui est contraire aux attentes initiales.

Enfin, les émissions de gaz à effet de serre sont nettement diminuées avec les filières « Métha » (43 kg eq-CO₂/porc) puisqu'une réduction de 73% a été mesurée par rapport aux filières « Raclage » (161 kg eq CO₂/porc). L'analyse de la valorisation énergétique montre que la production de méthane avec des effluents issus d'un bâtiment équipé d'un raclage en V s'élève entre 320 et 350 m³ de CH₄ par tonne de matière organique soit 38% de plus qu'avec un lisier stocké. De plus, l'analyse de la valorisation agronomique montre qu'une fraction azotée plus importante pour les digestats que pour le lisier est absorbée par la plante (CAU > 0,58 contre 0,29). Le couplage d'un bâtiment équipé d'un raclage en V et de la méthanisation des produits apparaît alors comme une filière vertueuse pour réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ADEME pour son soutien financier (convention n°15-60-C0037).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CITEPA, 2014. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France. Format SECTEN, 327p.
- Espagnol S., Guingand N., Genermont S., Hassouna M., 2015. Efficacité sur les émissions gazeuses d'itinéraires techniques en élevage porcin intégrant des bonnes pratiques environnementales. Journées Rech. Porcine, 47, 171-176.
- GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 103 p.
- Hassouna M., Eglin T., Cellier P., Colomb V., Cohan J-P., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. INRA-ADEME (France), 2-7380-1375-9.
- Le Bris B., 2011. Compostage de la phase solide issue d'un raclage en « V » installé dans une porcherie d'engraissement. Journées Rech. Porcine, 43, 217-218.
- Lagadec S., Landrain B., Landrain P., Quillien J-P, Robin P, Hassouna M., 2011. Evaluation zootechnique environnementale, sanitaire et économique des techniques d'évacuation fréquente des déjections en porcherie. Rapport final ADEME n°0974C0184, 57p.
- Loussouarn A., Lagadec S., Robin P., Hassouna M., 2014. Raclage en « V » : bilan environnemental et zootechnique lors de sept années de fonctionnement à Guernevez. Journées Rech. Porcine, 46, 199-204.
- Quideau P., Lagadec S., 2013. Effets conjugués d'une évacuation rapide des déjections porcines et de leur méthanisation sur le devenir de la matière organique et les émissions de méthane. Journées Rech. Porcine, 45, 129-134.
- RMT Elevage et Environnement : Dourmad J.Y., Levasseur P., Daumer M., Hassouna M., Landrain B., Lemaire N., Loussouarn A., Salaun Y., Espagnol E., 2016. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. RMT Elevage et Environnement, Paris, 26 p.
- Robin P., Amand G., Aubert C., Babela N., Brachet A., Berckmans D., Burton C., Canart B., Cellier P., Dollé J.B., Durif M., Ehrlicher A., Eren Ozcan S., Espagnol E., Gautier F., Guingand N., Guizou F., Hartung E., Hassouna M., Lee I.B., Leleu C., Loubet B., Loyon L., Nicks B., De Oliveira P.A.V., Ponchant P., Powers W., Sommer S.G., Thiard J., Xin H., Youssef A., Fiani E., 2010. Procédures de référence pour la mesure des émissions de polluants gazeux des bâtiments d'élevage et stockages d'effluents d'élevage. Rapport final ADEME. 473 p.