

## Intérêts conjugués d'une évacuation rapide des déjections animales et de leur méthanisation

P. Quideau, P. Levasseur, A. Charpiot, T. Lendormi, F. Guiziou

► **To cite this version:**

P. Quideau, P. Levasseur, A. Charpiot, T. Lendormi, F. Guiziou. Intérêts conjugués d'une évacuation rapide des déjections animales et de leur méthanisation. Innovations Agronomiques, INRA, 2014, 34, pp.309-320. <hal-01199419>

**HAL Id: hal-01199419**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01199419>**

Submitted on 23 Sep 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Intérêts conjugués d'une évacuation rapide des déjections animales et de leur méthanisation

Quideau P.<sup>1</sup>, Levasseur P.<sup>2</sup>, Charpiot A.<sup>3</sup>, Lendormi T.<sup>4</sup>, Guiziou F.<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup> Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, CS 74223, 35042 Rennes cedex

<sup>2</sup> IFIP- Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu cedex

<sup>3</sup> Institut de l'Élevage, BP 85225, 35652 Le Rheu cedex

<sup>4</sup> Université de Bretagne Sud - EA 4250 LIMATB, Allée des pommiers, 56300 Pontivy

<sup>5</sup> IRSTEA, CS 64427, 35044 Rennes cedex,

<sup>6</sup> Université européenne de Bretagne

Correspondance: [pierre.quideau@cotes-d-armor.chambagri.fr](mailto:pierre.quideau@cotes-d-armor.chambagri.fr)

### Résumé:

Les déjections animales contribuent au réchauffement climatique par le méthane émis durant leur stockage. Leur évacuation rapide suivie d'une méthanisation permet de réduire ces émissions et de maximiser la production d'énergie sous forme de biogaz. En production porcine, l'évacuation rapide par un raclage sous caillebotis donne un potentiel de 10,7 Nm<sup>3</sup> de méthane par porc à l'engrais. Par comparaison, les lisiers collectés dans des pré-fosses affichent une perte de potentiel variant de -25% à -68% selon l'intensité des fermentations dans les pré-fosses. Pour des vaches laitières, les lisiers de raclage ont un potentiel voisin de 57 Nm<sup>3</sup> de méthane par vache et par mois. La baisse du potentiel au stockage est très rapide (-1% par jour) dans le cas des fumiers pailleux du fait de leur compostage spontané. En élevage de porc, le couplage d'une évacuation rapide et de la méthanisation réduit les émissions de GES de plus de 50%. Pour des élevages de taille moyenne, la mise en œuvre sous forme de petite méthanisation à la ferme n'est toutefois pas économiquement viable dans le contexte actuel, compte tenu du coût élevé des investissements. Concernant l'azote, les mesures réalisées montrent que la méthanisation accroît sensiblement les risques de volatilisation d'ammoniac, tant au stockage que lors de l'épandage, du fait du pH plus élevé des digestats.

**Mots-clés** : méthanisation, déjection animales, lisier frais, gaz à effet de serre, ammoniac

### Abstract: Combined effects of rapid discharge of manure and their anaerobic digestion

Animal manure is a source of methane emissions contributing to global warming. The rapid discharge of excreta out of the building and their anaerobic digestion should enable the emission to be limited and the biogas production maximized. In pig farming, with fresh pig manure, methane potential is 10.7 Nm<sup>3</sup> per fattening pig. In the case of slurry collected after storage in the pit under the slats, the loss of methane potential varied from -25% to -68%, due to the intensity of organic substance degradation in the pit. With fresh dairy slurry, the methane potential is about 57 Nm<sup>3</sup> per month and per cow. For dairy manure with straw, the loss of methane potential is very fast (-1% per day), due to spontaneous composting. In pig farm, the reduction of greenhouse gas can exceed 50% when we combine anaerobic digestion and fresh liquid manure. However, the economic balance of this scenario is not profitable in the current economic context, because of the high amount of investment required. The experiments showed that ammonium nitrogen can be more easily emitted to atmosphere during storage or after spreading, due to pH rising after anaerobic digestion.

**Keywords**: anaerobic digestion, manure, fresh slurry, greenhouse gas, ammonia

## 1. Introduction

Les déjections animales contribuent au réchauffement climatique du fait des émissions de méthane qui se produisent au niveau des bâtiments d'élevage et durant leur stockage à l'extérieur. Ces fermentations spontanées conduisent aussi à une baisse de leur potentiel méthanogène. L'évacuation rapide des déjections couplée à leur méthanisation est une stratégie devant permettre de réduire ces émissions de gaz à effet de serre tout en produisant une énergie renouvelable.

Le développement de la production d'énergie par méthanisation est à présent un enjeu national (plan Energie Méthanisation Autonomie Azote) qui, dans les zones d'élevage, s'appuie en particulier sur la valorisation des effluents d'élevage. Les déjections animales constituent une ressource importante de substrat organique valorisable en méthanisation. Cependant, ces matières étant sujettes à des fermentations spontanées qui réduisent plus ou moins fortement leur potentiel, il importe de rechercher les voies permettant de tirer le meilleur parti de leur potentiel initial.

Les objectifs principaux de ce projet établi en 2009 et réalisé de 2010 à 2012, étaient les suivants :

- 1) chiffrer les gains en termes de potentiel de production d'énergie et de réduction des émissions gazeuses permis par l'adoption d'une stratégie d'évacuation rapide des déjections hors des bâtiments suivie de leur méthanisation, comparativement à une filière classique ;
- 2) apprécier les effets de la méthanisation sur les déjections animales et les conséquences ultérieures au niveau du stockage et de l'épandage des digestats ;
- 3) évaluer les intérêts environnementaux et la faisabilité économique d'un tel mode de gestion à l'échelle d'exploitations d'élevage de porcins et de bovins.

Des expérimentations de terrain ont été réalisées afin de répondre aux deux premiers objectifs, et de façon à acquérir des données correspondant au contexte actuel de l'ouest de la France. Elles ont été conduites principalement sur la station porcine de Guernevez dans le Finistère pour les lisiers (porcs et bovins) et sur le site du lycée agricole de Pontivy dans le Morbihan pour les fumiers de bovins.

Neuf organismes ont participé à ce projet :

- CRAB – Chambre régionale d'agriculture de Bretagne (pôle porc-aviculture),
- IFIP - Institut du Porc,
- Institut de l'Elevage,
- IRSTEA (Cemagref auparavant),
- UBS - Université de Bretagne Sud – LIMATB de Pontivy,
- EPLEFPA Le Gros Chêne de Pontivy (lycée agricole),
- AILE (Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement),
- TRAME,
- Chambre d'agriculture du Finistère (Station porcine de Guernevez).

Il a également bénéficié d'un appui de l'INRA et d'Arvalis pour des mesures de volatilisation d'ammoniac à l'épandage.

## 2. Les lisiers frais en élevage porcine

Les déjections des porcs élevés sur caillebotis, collectées sous forme de lisier, sont rapidement soumises à des processus de décomposition aérobie et anaérobie (Moller *et al.*, 2004) entraînant, pour les seconds, l'émission de méthane vers l'atmosphère. Une part variable des matières organiques contenues dans les rejets des animaux est ainsi décomposée, entraînant une perte de pouvoir méthanogène. Ainsi, on constate que le pouvoir méthanogène des lisiers ayant séjourné plusieurs mois dans les fosses est souvent faible (Béline *et al.*, 2012).

Les bâtiments équipés d'un système d'évacuation rapide des déjections permettent de limiter leur temps de séjour dans le bâtiment, produisant ainsi du « lisier frais ». Différents systèmes ont été expérimentés depuis plusieurs années et certains connaissent à présent un développement dans les élevages, en particulier les systèmes de raclage sous caillebotis qui conduisent à séparer une fraction solide majoritairement composée des fèces et une fraction liquide formée par l'urine.

### 2.1. La perte de potentiel méthane des lisiers commence dans les pré-fosses

Les quantités d'effluents produits par des porcs à l'engrais dans deux porcheries équipées de pré-fosses et dans deux bâtiments disposant d'un système de raclage ont été mesurées de manière simultanée sur plusieurs bandes, ainsi que leur potentiel de production de méthane après détermination du potentiel méthanogène en laboratoire.

**Tableau 1:** Potentiel de production de méthane des déjections d'un porc à l'engrais (pour un gain de poids vif de 85 kg) selon deux modes de collecte des déjections.

	Lisier frais moyen	Lisiers de pré-fosse		
		L3	L1a	L1b
Matière volatile (kg MV par porc)	31,3	22,8	21,6	21,0
Potentiel méthane de la MV (Nm <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> )	341	356	232	161
Potentiel méthane par porc (Nm <sup>3</sup> )	10,7	8,1	5,0	3,4
Potentiel relatif (% du lisier frais)	100%	76%	47%	32%

Dans le cas du lisier frais résultant d'un dispositif de raclage en V®, le potentiel de production de méthane est compris entre 10,5 et 11 Nm<sup>3</sup> par porc (Tableau 1). La fraction solide, riche en matière organique, ne constitue que 37% de la masse totale des déjections, mais assure 94% de ce potentiel.

Par comparaison, les lisiers collectés dans les pré-fosses et recueillis en fin de bande présentent un déficit de potentiel très variable, allant de -24% pour L3 à -68% pour L1b.

Les lisiers L1 sont issus d'une porcherie dont les pré-fosses ne se vident pas totalement. La boue résiduelle constitue un inoculum qui contribue à y entretenir une méthanisation active se traduisant par un abattement important du potentiel méthanogène. Dans le cas du lisier L1b, issu d'une bande élevée en période estivale (juin-septembre), la température plus élevée a été un facteur amplifiant cette dégradation anaérobie. A l'inverse, L3 est un lisier concentré (7,8% de MS) issu d'une porcherie dont les pré-fosses se vident bien, laissant un fond propre.

### 2.2. Émissions de méthane au niveau de la porcherie

Dans le cadre d'une autre étude conduite sur la station expérimentale de Guernevez (Loussouarn *et al.*, 2012), les émissions gazeuses des porcheries ont été mesurées en continu sur trois bandes.

Dans la porcherie L1, les émissions de méthane sont toujours fortes, comprises entre 2,4 et 2,8 kg C-CH<sub>4</sub> par porc (il n'y a pas eu de mesure pour la bande correspondant au lisier L1b). Elles sont supérieures aux références habituelles (1,5 selon Gac *et al.*, 2006), ce qui reflète bien l'existence d'une digestion anaérobie très active. Le fait que cette pré-fosse ne soit jamais totalement vidée et que le lisier soit plus dilué sont deux facteurs favorables à une méthanisation plus rapidement active.

A l'opposé, avec 0,70 ± 0,24 kg C-CH<sub>4</sub> par porc, les bâtiments en lisier frais génèrent de faibles émissions de méthane, dont une grande partie est d'origine entérique. Selon Lagadec *et al.* (2011), du fait de l'évacuation fréquente des déjections, leur temps de présence est trop faible pour que se forme un milieu anaérobie propice aux émissions de ce gaz. Ces systèmes de raclage permettent ainsi de minimiser les émissions de méthane et de maximiser le potentiel méthane des effluents recueillis.

La porcherie L3, dont les émissions de méthane sont relativement modérées (1,4 kg C-CH<sub>4</sub> par porc), illustre une situation où la digestion anaérobie dans la pré-fosse reste peu active. Ainsi, il a été constaté que les porcheries dont les pré-fosses sont lavées entre chaque bande (Haeussermann *et al.*, 2005) et qui produisent des lisiers très concentrés (alimentation en soupe) génèrent de plus faibles émissions de méthane et donnent aussi des lisiers à potentiel méthanogène élevé.

### 3. Pertes de potentiel méthanogène au stockage

Avant leur introduction dans un digesteur, les déjections animales passent généralement par une phase de stockage plus ou moins longue. Différents suivis de lisiers et de fumiers ont été réalisés afin d'en mesurer les conséquences sur l'évolution de leur potentiel méthanogène.

#### 3.1. Fumiers de bovins

##### 3.1.1 Fumier pailleux d'aire de couchage

Du fumier pailleux de vaches laitières (fumier à 23% de matière sèche), issu d'une aire de couchage conduite en litière accumulée, a été placé en tas dans une fumière couverte au printemps. Après 63 jours de stockage, on mesure la disparition de 38% de la masse totale (principalement par évaporation d'eau) et de 47% pour la matière organique (Tableau 2). Le potentiel de production de méthane a baissé de 62%, soit 1% par jour, passant de 52 à 20 m<sup>3</sup> de méthane par tonne de fumier initial.

**Tableau 2 :** Evolution d'un fumier pailleux stocké 63 jours. Potentiel Méthanogène (PM) en Nm<sup>3</sup> de méthane

	Initial	63 jours	Evolution
Masse brute (kg)	1000	623	-38%
Matière organique (kg)	183	98	-47%
PM (Nm <sup>3</sup> /t de MO)	281	201	-28%
PM (Nm <sup>3</sup> /t fumier frais)	51,5	19,6	-62%

Ce sont principalement des fermentations aérobies (compostage) qui ont agi, s'accompagnant d'une forte élévation de température (50 à 55°C en périphérie). La présence de méthane dans les gaz émis témoigne cependant de l'existence simultanée d'une dégradation anaérobie au cœur des amas de fumier.

##### 3.1.2 Fumier de raclage

Du fumier frais un peu plus humide et moins pailleux (18,7% de matière sèche), provenant du raclage de l'aire bétonnée devant la table d'alimentation, a été stocké dans les mêmes conditions durant 70 jours. Les pertes de masse ont été moins importantes que pour le fumier pailleux et le potentiel méthanogène global n'a baissé que de 35%, soit 0,5% par jour (Tableau 3)

**Tableau 3 :** Evolution d'un fumier de raclage stocké 70 jours. Potentiel Méthanogène (PM) en Nm<sup>3</sup> de méthane

	Initial	70 jours	Evolution
Masse brute (kg)	1000	764	-24%
Matière organique (kg)	154	112	-27%
PM (Nm <sup>3</sup> /t de MO)	323	288	-11%
PM (Nm <sup>3</sup> /t fumier frais)	49,7	32,2	-35%

En périphérie du tas, des fermentations ont agi de manière limitée (t° de 32°C), alors que le cœur du tas a peu évolué (t° stable à 20°C). Dans cette partie centrale du tas, le fumier étant compact et non aéré, il n'y a pas eu de compostage. La production de biogaz y a été également très faible (7 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> en

70 jours). De plus, il s'agit d'un gaz pauvre en méthane (10 à 30% de CH<sub>4</sub>), signe que la méthanogénèse n'a pu s'établir correctement. Ainsi, l'émission de méthane reste minimale (0,8 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>). Le pH qui a fortement baissé, passant de 7,7 à 5,8, indique une situation d'acidose. Ce phénomène, qui s'apparente aussi à un ensilage, inhibe la méthanogénèse et préserve ainsi le potentiel de production de méthane du fumier dans la partie centrale du tas.

### 3.2. Lisiers de bovins et de porcs

Les lisiers évoluent sous l'action de fermentations anaérobies plus ou moins actives générant une production de biogaz. Le Tableau 4 montre l'importance de ce phénomène et les pertes de potentiel méthanogène qui en résultent dans différentes situations.

**Tableau 4** : Emission de méthane par des lisiers stockés en fosse extérieure et perte de potentiel méthanogène correspondante (en % du potentiel initial).

	Lisiers de vache laitière		Lisiers de porc à l'engrais	
	VL1	VL2	L1a	L6
Teneur en matière sèche (%)	9,4	7,7	5,5	7,0
Potentiel méthane (Nm <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> )	22	18	9	16
Période de stockage	janv-juin	juillet-sept	janv-mars	juin-sept
Température de stockage (°C)	8-15°	16-18°	7-10°	15-18°
Emission de méthane (L j <sup>-1</sup> t <sup>-1</sup> )	2	72	19	110
Perte de potentiel par jour (%)	0,01	0,4	0,2	0,7

Dans les lisiers de porcs, la méthanisation spontanée est active mais ralentie en hiver par les basses températures. Ainsi la perte de potentiel est de 25% en quatre mois pour L1a, alors que pour L6 cette baisse de 25% se réalise dès le premier mois de stockage. Lorsque du lisier est apporté et mélangé dans une fosse à des lisiers soumis à une méthanisation active, la perte de potentiel est encore plus rapide. A 22°C, des émissions de 250 litres de méthane par t de lisier en stock et par jour ont ainsi été observées. Il suffit alors de deux semaines pour perdre l'équivalent de 70% du potentiel du lisier nouvellement ajouté.

Le lisier de vaches VL1 illustre une situation particulière où la méthanisation dans le lisier est inhibée par un phénomène d'acidose tel que décrit pour le fumier de raclage. Son potentiel méthanogène a été ainsi préservé. Ce phénomène ne s'est pas reproduit en période chaude dans le cas du lisier VL2 provenant pourtant du même bâtiment d'élevage.

### 3.3. En pratique

Compte tenu des pertes parfois rapides du potentiel méthanogène des effluents d'élevage en phase de stockage, il importe, dans le cas où ils sont destinés à la méthanisation, d'adopter une stratégie de gestion visant à limiter ces pertes. Les recommandations suivantes peuvent ainsi être formulées :

- utiliser des effluents frais et raccourcir autant que possible le temps de stockage des produits qui évoluent rapidement;
- pour les fumiers, éviter de stocker les fumiers sujets au compostage spontané. En cas d'excédent momentané, ce sont les fumiers mous à compacts qu'il faut stocker en priorité dans des conditions permettant leur « ensilage », et non pas des fumiers pailleux (plus faciles à entasser).
- pour les lisiers, mieux vaut utiliser des ouvrages intermédiaires de petite dimension qui seront vidés régulièrement que de grands ouvrages contenant des volumes importants de lisier et qui fonctionnent parfois comme de véritables digesteurs à basse température.

#### 4. Effets de la méthanisation sur le devenir de l'azote

Les lisiers ont fait l'objet d'une méthanisation mésophile active dans des digesteurs de 20 m<sup>3</sup> de type « infiniment mélangé », alimentés de manière continue. Les digestats ont ensuite été stockés dans des fosses semi-enterrées afin de suivre leur évolution au cours du stockage, notamment concernant l'azote.

##### 4.1. Evolution des formes d'azote

La méthanisation minéralise une partie de l'azote organique, conduisant à une augmentation de la fraction ammoniacale. Pour les lisiers de porc collectés en pré-fosses qui contiennent déjà une forte proportion d'azote ammoniacal (65%±3%), l'effet de la méthanisation est limité (Tableau 5) ; elle n'affecte que 7% de l'azote total ; 21% de l'azote organique est ainsi minéralisé. Pour les lisiers de porc frais qui contiennent encore une part majoritaire d'azote sous forme organique, l'effet est plus conséquent ; 42% de l'azote organique est minéralisé. Durant leur stockage ultérieur, la proportion d'azote ammoniacal progresse encore légèrement et peut atteindre au plus 75%, à condition qu'il n'y ait pas de perte par volatilisation. Pour le lisier de bovins, la proportion d'azote ammoniacal passe de 50% dans le lisier à 58% dans le digestat et peut atteindre 60% après stockage prolongé.

**Tableau 5** : Evolution du pH et de la proportion d'azote ammoniacal (NAT en % de N total - N<sub>TK</sub>) de trois lisiers ayant subi une phase de méthanisation mésophile.

		Lisier	Digestat
Lisier de porc – pré-fosse	pH	7,2	8,2
	NAT/N <sub>TK</sub>	65%	72%
Lisier porc- raclage	pH		8.2
	NAT/N <sub>TK</sub>	44%	68%
Lisier vache – raclage	pH	7,1	7,7
	NAT/N <sub>TK</sub>	50%	58%

Notons que durant leur stockage, la minéralisation de l'azote des lisiers se fait également mais à un rythme moins rapide. Ainsi pour le lisier de bovins, la proportion d'azote ammoniacal est passée de 49% à 55% après cinq mois de stockage (période froide) et à 58% en 11 mois. Dans le cas des lisiers, la méthanisation n'entraîne donc pas nécessairement une augmentation spectaculaire de la proportion d'azote ammoniacal. Par contre, elle entraîne une augmentation sensible du pH. Ainsi, le pH du digestat de lisier de porc atteint 8,2 (Tableau 5).

##### 4.2. Pertes d'azote au stockage

Les pertes d'azote en cours de stockage ont été évaluées par la méthode des bilans de masse appliquée sur des fosses semi-enterrées d'une contenance de 10 t et pour une hauteur d'effluent de 2,8 m. En période hivernale, la méthode utilisée permet simplement de constater que les pertes sont faibles (<1% par mois). En période chaude, les pertes sont plus importantes, en lien avec une évaporation (de l'eau et de l'ammoniac) plus active en surface. Ainsi, en 2011, année plutôt sèche, la perte d'azote sur six mois est de 12% pour le lisier de porc et de 23% pour le digestat de lisier de porc (Tableau 6). En 2012, année humide, la perte sur six mois est de 8% pour le lisier de vache, contre 14% pour son digestat.

La perte d'azote pour les digestats apparaît donc presque deux fois plus importante que celle des lisiers, du fait d'une volatilisation accrue de l'azote ammoniacal et aussi en lien avec une proportion en azote ammoniacal initiale un peu plus élevée dans les digestats. On observe qu'au terme du stockage, cette proportion baisse pour les digestats du fait de cette perte d'azote ammoniacal. Pour les lisiers, elle progresse légèrement, la perte étant compensée par la minéralisation d'une partie de l'azote organique.

**Tableau 6** : Évaluation des pertes d'azote des lisiers et digestats stockés en fosse non couverte.

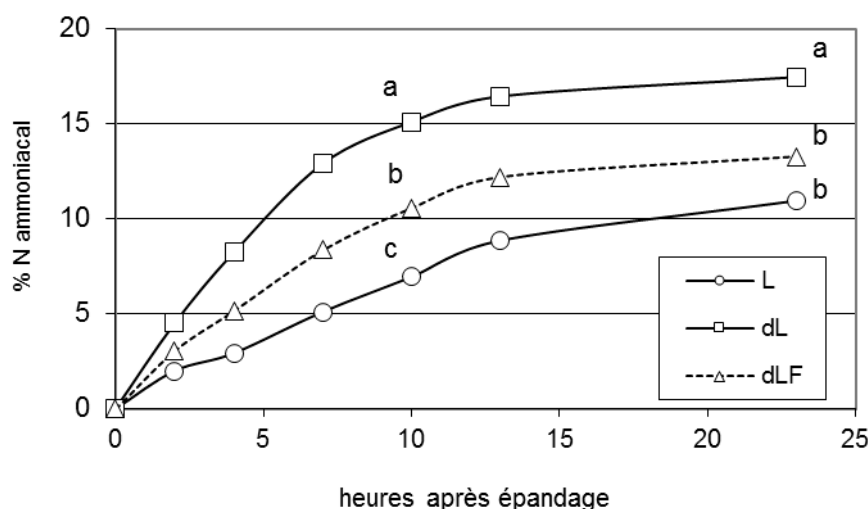
Origine et type d'effluent (année)		Porc à l'engrais (2011)		Vache laitière (2012)	
		Lisier	digestat	Lisier	digestat
Conditions de stockage	période de stockage	5/4 - 3/11	17/5 - 3/11	21/6 - 14/12	10/7 - 11/12
	ETP* (mm j <sup>-1</sup> )	2,3	2,4	1,8	1,9
	pluie (mm j <sup>-1</sup> )	1,6	1,8	3,2	3,6
Teneur en azote	N <sub>TK</sub> initial (kg t <sup>-1</sup> )	7,3	6,7	2,7	3,1
	% N ammoniacal initial	62	72	41	59
	% N ammoniacal final	63	67	43	55
Perte d'azote (N <sub>TK</sub> )	total sur la période (% N initial)	-14%	-22%	-8%	-12%
	rapportée sur 6 mois	-12%	-23%	-8%	-14%
	par m <sup>2</sup> de fosse (en g j <sup>-1</sup> )	13	24	3,2	6,6

\* Evapotranspiration potentielle (ETP)

### 4.3. Pertes d'azote à l'épandage

Les pertes à l'épandage ont été mesurées à l'aide de tunnels ventilés couvrant une surface de 1 m<sup>2</sup> et permettant de piéger l'azote ammoniacal volatilisé dans les heures suivant l'épandage.

**Figure 1** : Fraction d'azote ammoniacal volatilisée dans les heures suivant l'épandage à la surface du sol d'un lisier de porc (L), de son digestat (dL) et d'un digestat de lisier frais (dLF). Les lettres a,b,c indiquent des différences significatives, P<0,05



L'essai représenté sur la Figure 1 (3 répétitions) a été réalisé au mois de mai 2011, par temps sec, avec des températures maximales de 20°C. Dix heures après l'épandage (réalisé en matinée), les pertes d'ammoniac atteignent 7% pour le lisier de porc, et 15% pour le digestat de lisier, soit le double. Après 23 heures, les pertes sont respectivement de 11% et de 17,5% (ce qui correspond à 7,1% et 12,5% de l'azote total), soit une augmentation de 60% pour le digestat. D'autres essais réalisés avec ces mêmes effluents (Quideau *et al.*, 2013 ; Cohan *et al.*, 2013) témoignent également d'un supplément de pertes d'ammoniac pour les digestats qui se produit principalement dans les premières heures suivant l'apport.

### 4.4. En pratique

Les modifications des équilibres chimiques provoquées par la méthanisation et l'augmentation de pH qui en résulte (Tableau 5) conduisent à une plus forte proportion d'azote NH<sub>3</sub> dissous qui tend à se



volatiliser rapidement au contact de l'air. Cet effet déjà souligné par différents auteurs (Massé *et al.*, 1997 ; Wulf *et al.*, 2002) constitue un des effets les plus marquants de la méthanisation concernant l'azote.

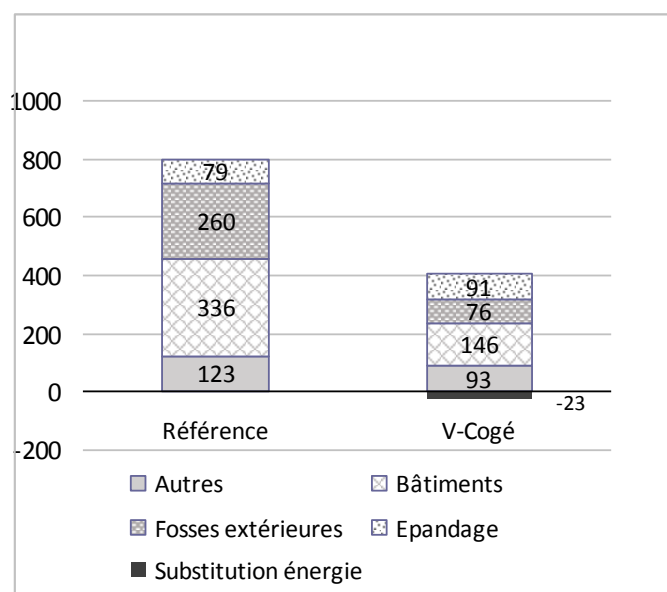
Afin de limiter les pertes, différentes mesures peuvent être préconisées : couverture des fosses de stockage (en particulier celles destinées à stocker du digestat en période chaude), injection directe du digestat dans le sol ou incorporation dans les premières heures suivant un épandage au ras du sol à l'aide de pendillards, prise en compte de conditions météorologiques (épandage par temps humide).

## 5. Intérêt environnemental et faisabilité économique

### 5.1. A l'échelle d'un élevage de porc de taille moyenne

La performance énergétique, environnementale et économique de la méthanisation et d'une évacuation rapide des déjections a été étudiée à l'échelle d'un élevage de 200 truies naisseur-engraisseur. Par comparaison au scénario de référence correspondant à une gestion classique d'un élevage ne produisant que du lisier, cinq scénarios alternatifs ont été étudiés (Coorevits, 2012 ; Levasseur *et al.*, 2013), dont le scénario présenté ci-après incluant la mise en place d'un raclage en V® en engraissement (mais pas au niveau de truies et du post sevrage) et une petite unité de méthanisation alimentée par les seules déjections porcines.

L'énergie du biogaz ainsi produit est de 517 MWh/an. Sa valorisation à l'aide d'un cogénérateur de faible puissance (20 kW) conduit à une production d'électricité pour 145 MWh et à une économie de chauffage (post sevrage de la porcherie, maison) de 46 MWh, soit 20% de la chaleur disponible.



**Figure 2** : Émissions annuelles de gaz à effet de serre par poste (t eq CO<sub>2</sub>) de l'élevage de référence et du scénario combinant un raclage en V® et une petite méthanisation

Le couplage de ces deux techniques permet de réduire de 50% les émissions de gaz à effet de serre générées par l'activité d'élevage et la gestion des effluents, soit une économie de 415 t d'équivalent CO<sub>2</sub>. Cette baisse résulte principalement de la diminution des émissions de méthane vers l'atmosphère au niveau de la porcherie d'engraissement et des fosses de stockage extérieures. La production d'électricité et la substitution d'énergie pour le chauffage ne représentent qu'une économie de 23 t.

Au niveau des émissions d'ammoniac, la perte annuelle passerait de 8,0 t d'azote par an à 5,6 t. Cette réduction de 30% résulte de moindres émanations au niveau de la porcherie d'engraissement (-40%) et au stockage, au prix d'une couverture de la fosse de digestat, malgré une petite augmentation des émissions à l'épandage sur les cultures où l'enfouissement rapide n'est pas possible. Malgré un risque

plus élevé de volatilisation à l'épandage, le bilan global sur l'azote est amélioré. Les pertes étant réduites, la quantité disponible pour la fertilisation des cultures est ainsi augmentée (+ 2,4 t d'azote), ce qui doit se traduire par un moindre recours à des engrais chimiques (sauf si l'élevage est déjà dans un contexte d'excédent d'azote issu d'élevage).

Les investissements ont été évalués sur la base des quelques références de terrain existantes dans les années 2010-2011, complétées par des devis auprès de constructeurs. L'investissement pour l'unité de méthanisation et ses annexes se monte à 416 k€ auquel s'ajoute 120 k€ pour la mise en place du système d'évacuation rapide. La vente d'électricité permet d'obtenir un excédent brut d'exploitation légèrement positif (+12 k€), mais très insuffisant pour couvrir les charges d'amortissement. Il faudrait une subvention sur investissement de 80% pour atteindre un taux de rentabilité interne de 6%.

A l'échelle d'élevages de porc de taille moyenne, une très petite unité de méthanisation conçue selon la technologie des installations développées en Allemagne apparaît trop onéreuse pour être rentable sans d'importantes subventions. La valorisation de l'énergie du biogaz est de plus médiocre à cause du faible rendement de conversion en électricité (28%) d'un cogénérateur de petite puissance et par défaut de valorisation de la chaleur une grande partie de l'année. Afin de réduire les coûts d'investissement, d'autres solutions technologiques sont probablement à envisager.

## 5.2. Bilan partiel portant sur la technique de raclage

Dans le cas où une méthanisation existe par ailleurs, l'intérêt d'adopter un système d'évacuation rapide des déjections en engraissement a été évalué de manière séparée, à l'échelle d'un élevage qui produirait 10 000 porcs par an. Pour comparaison, deux situations initiales ont été prises en compte au vu des résultats présentés au chapitre 1.1 : L3 suppose que le lisier issu des pré-fosses conserve un haut potentiel méthanogène, tandis que pour L1 il serait voisin de la référence moyenne retenue dans le calculateur Méthasim (Méthasim, 2010), soit 4,8 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> par porc à l'engrais.

Au plan énergétique, avec les seules déjections porcines, la production d'énergie sous forme de biogaz serait fortement accrue, atteignant 1000 MWh contre 500 avec le lisier L1. Au plan des émissions de GES sous forme de méthane, la baisse serait de 70 à 75%, proche de 1000 t eq CO<sub>2</sub>, soit 100 kg eq CO<sub>2</sub> par porc engraisé.

**Tableau 7** : Énergie potentielle des déjections à l'échelle d'un élevage d'engraissement produisant 10 000 porcs par an selon le type d'effluent recueilli. Émissions de méthane après méthanisation pour le lisier frais et sans méthanisation pour les lisiers de pré-fosse. Temps de retour sur l'investissement dans un système de raclage en V® par la vente d'électricité et une rétribution sous forme de « crédit carbone », en fonction du potentiel méthanogène du lisier qui aurait été collecté sans cet investissement.

	Lisier frais méthanisé	Lisier de préfosse stocké L3	L1
Potentiel méthane (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> par porc)	10,7	8,1	5,0
Energie du biogaz (MWh par an)	1021	773	477
Puissance du cogénérateur (kW)	48	36	22
Electricité produite et vendue (MWh par an)	371	281	174
Méthane émis dans l'atmosphère (t eq CO <sub>2</sub> par an)	330	1194	1317
Temps de retour / vente électricité (ans)		27,3	12,5
Temps de retour / vente élec.+ crédit carbone (ans)		10,9	7,0

En partant d'une situation initiale de lisier de type L1, le temps de retour sur l'investissement dans cette technique de raclage (surcoût de 100 € par place, soit environ 400 k€ avec les frais financiers) par la vente du supplément d'électricité serait de 12,5 ans. Si les lisiers sont de type L3 (faible perte de potentiel au niveau de la porcherie), l'adoption de ce type d'évacuation est peu intéressante au seul

plan de l'énergie. Avec une rétribution liée à l'économie de GES (« crédit carbone »), sur la base de 25€ par t eq. CO<sub>2</sub>, ce temps de retour ne serait plus alors que de 7 ans pour L1 et de 11 ans pour L3, ce qui serait nettement plus intéressant.

La mise en œuvre de cette technique d'évacuation apporte d'autres bénéfices plus difficiles à quantifier, tels que de meilleures performances zootechniques (améliorations au plan sanitaire, meilleure croissance et économie d'aliment), ainsi qu'un supplément de chaleur qu'il conviendrait de bien valoriser. Le haut potentiel méthanogène de la fraction solide, proche de 80 Nm<sup>3</sup> par t, soit 10 fois plus qu'un lisier moyen, en fait aussi un substrat plus facilement transportable vers des unités de méthanisation extérieures qui pourraient en tirer une meilleure valorisation.

### 5.3. En production bovine

Les fumiers ou les lisiers recueillis par une évacuation rapide présentent des potentiels de production de méthane sensiblement plus élevés que les références communément utilisées pour le dimensionnement des projets de méthanisation. Ainsi, pour du lisier raclé quotidiennement, un supplément par vache laitière proche de 70% a été mesuré (Tableau 8). Il résulte à la fois d'un rejet plus élevé en matière sèche par animal, d'une plus forte proportion de matière organique et d'un meilleur potentiel méthanogène de cette matière organique.

**Tableau 8** : Potentiel de production de méthane des déjections produites par mois par une vache laitière (plus de 8000 l de lait par an) en système lisier mesuré sur l'élevage de la ferme expérimentale de Trévarez (100 VL) durant la période hivernale. Comparaison avec les valeurs référencées dans le calculateur Méthasim.

	Méthasim	Mesuré
masse de lisier (t)	207	264
teneur en matière sèche (MS)	10%	8.9%
taux de matière organique (MO sur MS)	80%	86%
potentiel méthane de la MO (Nm <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> )	203	280
potentiel méthane par VL (Nm <sup>3</sup> par mois)	34	57

A l'échelle d'un élevage de taille moyenne (70 vaches laitières), le lisier seul permettrait d'assurer l'alimentation en méthane d'un cogénérateur 17 kW (10 kW selon les références Méthasim). Comme en porc, à cette très petite échelle et dans le contexte actuel, la rentabilité économique ne peut être atteinte. Par ailleurs, la saisonnalité de la production en lien avec une période plus ou moins longue de pâturage et l'absence de besoin de chaleur pour l'élevage constituent des handicaps supplémentaires. Par contre, l'évacuation rapide par raclage est une technique qui tend à s'imposer dans ce type d'élevage, sans surcoût important comme en élevage de porc.

Pour un élevage de 150 vaches en stabulation toute l'année, le lisier permettrait à lui seul d'assurer 48% de l'énergie d'une installation de 100 kW électrique. De telles unités peuvent présenter une rentabilité positive, moyennant des subventions modérées à l'investissement (de l'ordre de 20 à 30%), à condition cependant de développer en parallèle une activité permettant de valoriser utilement la chaleur dégagée par le cogénérateur.

Les bénéfices environnementaux n'ont pu être établis de manière satisfaisante, la nature et l'importance des émissions gazeuses pour les scénarios de références étant encore mal connues au niveau des bâtiments (systèmes accumulant des fumiers ou des lisiers en bâtiment) comme au niveau des phases de stockage de ces déjections, d'autant qu'elles peuvent être très variables (Mathot *et al.*, 2011).

## 6. Conclusion

L'évacuation rapide des déjections animales hors des bâtiments d'élevage permet bien de bénéficier d'un meilleur potentiel méthanogène ; cela peut aller jusqu'au doublement de la capacité de production d'énergie par animal. Leur stockage dans des conditions propices aux fermentations spontanées (compostage pour les fumiers, digestion anaérobie à basse température en fosse) est également susceptible de réduire rapidement leur potentiel. Le projet a mis en lumière quelques situations permettant leur stockage temporaire sans perte excessive (« ensilage » des fumiers humides). Mais de manière générale, il est préférable de coupler l'évacuation rapide et leur introduction dans un digesteur dans un délai très court afin de tirer un meilleur profit énergétique du potentiel initial.

A l'échelle d'un élevage de taille moyenne, la réalisation d'une très petite unité de méthanisation à la ferme valorisant principalement les effluents de l'élevage n'apparaît pas économiquement faisable dans le contexte actuel compte-tenu du coût trop important de telles installations pour une production d'énergie qui reste peu importante malgré le gain permis par une évacuation rapide. Pour des élevages de grande dimension, l'utilisation de déjections fraîches conduit à un supplément de production d'énergie plus conséquent permettant alors d'envisager la réalisation d'une petite unité de méthanisation à la ferme rentable. Ceci peut également s'envisager en regroupant les déjections de plusieurs élevages. Là aussi, le fait de transporter des déjections fraîches à plus haut potentiel sera également plus profitable. Ainsi, la fraction solide issue d'un raclage séparatif des déjections porcines dont le potentiel est dix fois plus élevé qu'un lisier moyen constitue une ressource de matière organique plus intéressante à transporter.

L'évacuation rapide des déjections suivie de leur méthanisation présente aussi l'avantage de réduire les émissions de méthane dans l'atmosphère. En production porcine, cette baisse peut aller jusqu'à 70% et se traduire, en plus de la production d'énergie renouvelable sous forme de biogaz, par une réduction conséquente des émissions de GES (100 kg eq CO<sub>2</sub> par porc à l'engrais). Une rémunération des économies de GES ainsi réalisées pourrait constituer une stratégie permettant de soutenir le développement de tels systèmes d'évacuation rapide en production porcine dont le surcoût est important par rapport à la technique traditionnelle d'accumulation des lisiers en pré-fosse.

## Références bibliographiques

- Béline F., Girault R., Peu P., Trémier A., Tégia C., Dabert P., 2012. Enjeux et perspectives pour le développement de la méthanisation agricole en France. *Sciences Eaux & Territoires* 7, 34-43.
- Cohan J.P., Charpiot A., Morvan T., Eveillard P., Trochard R., Champolivier L., De Chezelles E., Heurtaux M., Lorinquer E., Espagnol S., Générmont S., Loubet B., 2013. Quantification des émissions d'ammoniac suite à l'épandage de produits résiduels organiques et d'engrais minéraux au champ ; 1<sup>ère</sup> synthèse des résultats acquis dans le cadre du projet Casdar Volta<sup>+</sup>NH<sub>3</sub>. COMIFER-GEMAS, 11<sup>èmes</sup> Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse. 8p.
- Coorevits T., 2011. Intérêts conjugués d'une évacuation rapide des déjections et de leur méthanisation. Mémoire de fin d'étude, Institut Polytechnique La Salle Beauvais, 81p.
- Gac A., Béline F., Bioteau T., 2006. Flux de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) liés à la gestion des déjections animales : Synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. Rapport final ADEME n°0375C0118, 79p.
- Haeussermann A., Hartung E., Gallmann E., Jungbluth T., 2006. Influence of season, ventilation strategy, and slurry removal on methane emissions from pigs houses. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112, 115-121.
- 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.

- Levasseur P., Coorevits T., Espagnol S., Quideau P., 2013. Emissions de gaz à effet de serre et bilan économique de la petite méthanisation à la ferme et du raclage des déjections en élevage porcin. *Journées Rech. Porcine* 45, 135-136.
- Levasseur P., Coorevits T., Espagnol S., Quideau P., 2013. Petite méthanisation en élevage de porc : il faut encore réduire les coûts. *Tech PORC* 11, 20-23.
- Loussouarn A., Lagadec S., Picard P., 2012. Adaptation du système PROLAP® dans un bâtiment porcin existant (évacuation fréquente des déjections par raclage et séparation de phases). Rapport final ADEME n°0974C0304, 67p.
- Massé D.I., Droste R.L., Kennedy K.J., Patni N.K., Munroe J.A., 1997. Potential for the psychrophilic anaerobic treatment of swine manure using a sequencing batch reactor. *Can. Agric. Eng.* 39, 25–33
- Mathot M., Decuyenaere V., Lambert R., Stilmant D., 2011. Comparaison des flux (C, N, cendres, P, K) entre un système en stabulation entravée et un système en stabulation libre avec accumulation de fumier. *Renc.Rech.Ruminants* 18, 161-164.
- Méthasim, 2010. Outil de simulation technico-économique pour la méthanisation. Logiciel en ligne, IFIP, <http://www.methasim.ifip.asso.fr>
- Moller H.B., Sommer S.G., Ahring B.K., 2004. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquide animal manure. *Journal of Environmental Quality* 33, 27-36.
- 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.
- Quideau P., Morvan T., Guiziou F., Daumer M.L., Pourcher A.M., Béline F., 2013. Effets et conséquences de la méthanisation sur la matière organique et l'azote des lisiers de porc. *Sciences Eaux & Territoires* 12, 66-70.
- Quideau P., Lendormi T., 2014. Evolution et préservation du potentiel méthanogène des fumiers et lisiers stockés destinés à la méthanisation. *Chambre d'agriculture de Bretagne*, 4p.
- Sommer S.G., Petersen S.O., Sorensen P., Poulsen H.D., Moller H.B., 2007. Methane and carbon dioxide emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 78, 27-36.
- Wulf S., Maeting M., Clemens J., 2002. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: I. Ammonia volatilization. *J. Environ. Qual.* 31, 1789–1794.