



LA PETITE MÉTHANISATION

**Une opportunité pour réduire les émissions
directes de gaz à effet de serre en élevage**

*Pascal Levasseur (Ifip, coordinateur),
Vincent Blazy (Itavi),
François Gervais (Idele)*

ifip —
Institut du porc

 **ITAVI**
L'INSTITUT TECHNIQUE DES FILIÈRES
AVICOLE, CUNICOLE ET PISCICOLE


INSTITUT DE
L'ÉLEVAGE **idele**

Sommaire

Sommaire.....	2
Préambule.....	3
Contexte réglementaire et environnemental.....	4
1. Politiques énergie-climat à l'échelle européenne, nationale et régionale	4
2. Cadre réglementaire de la méthanisation à la ferme	4
3. Perception des acteurs de l'élevage sur les leviers de réductions des émissions de GES	5
4. Enjeux énergétiques et environnementaux de la petite méthanisation en élevage.....	5
Description technico-économique de la petite méthanisation en élevage.....	8
1. Valorisation de l'énergie produite	8
2. Repères économiques	9
Fiches descriptives de quelques procédés disponibles sur le marché	11
Nénufar-biogaz.....	12
Enerpro-biogaz.....	13
CRD / Cogéo.....	14
Agri-Power	15
Valogreen	16
Evalor	17
BIOGAZ PlanET FRANCE	18
AGRIKOMP.....	19
Potentiel méthanogène et composition physico-chimique des déjections animales.....	20
1. Fumiers très compacts de litière accumulée – bovins, ovins et caprins.....	21
2. Fumiers de raclage – bovins lait.....	23
3. Lisiers de bovins.....	24
4. Lisiers de porc.....	26
5. Fumier de porc	28
6. Fumiers de poulet de chair sortie de bâtiment.....	30
7. Fumiers de poulet de chair au stockage	32
8. Lisiers de canards à rôtir	33
9. Fumiers de canards gras	35
10. Le flash BMP, une méthode alternative de mesure du potentiel méthanogène.....	36
Leviers d'action pour réduire les émissions directes de GES en élevage.....	38
Conclusion générale	42
Bibliographie	43

Préambule

La petite méthanisation agricole ou « à la ferme » se caractérise par un porteur de projet unique, une puissance installée modérée liée à la volonté d'être relativement autonome en intrants, une installation simple dans sa conception, mais aussi dans les équipements employés et son mode de fonctionnement. Dans le domaine de l'élevage, le digesteur est ainsi principalement alimenté par les déjections animales, éventuellement complétées avec de la biomasse végétale issue de l'exploitation. La part d'intrants organiques provenant de l'extérieur reste marginale. En général, la puissance de ces installations n'excède pas 100 kW de puissance électrique installée (ou équivalent pour les autres modes de valorisation énergétique). Au-delà, le recours à des intrants extérieurs à l'exploitation peut devenir significatif, la frontière avec de la méthanisation « à la ferme » de plus grande taille étant perméable.

Sur les 1244 unités de méthanisation en fonctionnement en France fin 2021, 933 unités (75 %) sont de type agricole et 15 % d'entre elles peuvent être classées dans la catégorie « petite méthanisation agricole », d'une puissance électrique installée (ou équivalent) inférieure ou égale à 100 kW.

L'énergie produite est soit revendue soit autoconsommée par l'exploitation selon les besoins de celle-ci et la nature de l'énergie produite. Pour les élevages ayant un potentiel de production de méthane peu élevé (gisement de déjections animales restreint et/ou très dilué), la chaudière sera le principal dispositif de conversion énergétique s'il y a un potentiel de valorisation locale de l'énergie thermique. Afin d'améliorer le potentiel énergétique des déjections animales mais aussi pour éviter les émissions directes de gaz à effet de serre (GES) en cours de stockage, l'évacuation fréquente des déjections vers l'unité de méthanisation peut être alors préconisée.

Au sein de la gamme des unités de petite méthanisation agricole, il existe encore différents niveaux d'intensification. Les fosses de stockage peuvent être uniquement couvertes d'une couverture de collecte du biogaz, sans chauffage des intrants, la méthanisation est alors dite passive. Lorsque la production de méthane est potentiellement significative, les déjections animales et éventuels autres intrants sont transférés dans un digesteur dédié et chauffé. Le mode de fonctionnement des digesteurs est par ailleurs le plus généralement sous forme liquide continue (voir les fiches descriptives des procédés) et dans une moindre mesure en voie sèche discontinue.

Outre des puissances installées modérées, l'autonomie en intrants aboutit également à une plus grande autonomie du plan d'épandage. La gestion du digestat ne nécessitera pas de traitement comme la séparation de phases, à fortiori la mise en œuvre de process plus coûteux comme cela peut être le cas sur des installations de plus grande dimension.

L'utilisation des déjections animales comme intrant principal, la préservation de leur potentiel méthanogène par leur évacuation fréquente et une nécessaire valorisation locale de l'énergie, le plus souvent au niveau de l'élevage, montre le lien fort entre ce dernier et le modèle de méthanisation visé : cette brochure vise donc plus particulièrement la **petite méthanisation en élevage**.

Après avoir exposé le contexte réglementaire et environnemental, cette brochure rapporte une synthèse du point de vue d'acteurs des productions animales sur les principaux leviers d'actions pour réduire les émissions de GES en élevage. Sont ensuite présentées des fiches sur (1) quelques constructeurs, à titre principal ou non, de petite méthanisation en élevage et (2) les caractéristiques de potentiel méthanogène et de composition physico-chimique des déjections animales obtenues dans le cadre du projet ABILE2. Avant de conclure, la brochure fait un bilan des méthodes alternatives de gestion des effluents d'élevage et propose des ordres de grandeurs de réduction des émissions directes de GES par catégorie d'animale.

CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE ET ENVIRONNEMENTAL

1. Politiques énergie-climat à l'échelle européenne, nationale et régionale

En France, les secteurs de l'agriculture et de la sylviculture représentent 21 % des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) (Citepa 2021, sur données 2019). L'élevage contribue à hauteur de 10,1 % des émissions nationales de GES dont 8,9 ; 0,76 et 0,42 % sont respectivement imputables aux élevages de ruminants, de porcs et de volailles (Citepa 2021, sur données 2019). Entre 1990 et 2019, l'élevage a diminué de 12 % ses émissions de GES. Ce secteur dispose encore d'une décennie pour réduire ses émissions de 43 % (par rapport à 1990) pour remplir les objectifs du Green Deal européen (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr). Ce dernier vise une diminution de 55 % des émissions de GES à l'horizon 2030 (toujours par rapport aux émissions de références de 1990) et faire ainsi de l'Europe un continent neutre pour le climat à l'horizon 2050 (d'après les engagements internationaux de l'accord de Paris).

La retranscription dans le droit français du Green deal repose sur la loi énergie et climat de novembre 2019 (<https://www.ecologie.gouv.fr/loi-energie-climat>). Celle-ci dispose de deux instruments législatifs complémentaires, avec des moyens financiers alloués au développement de la méthanisation, pour parvenir aux objectifs de réduction des émissions de GES, il s'agit de :

1. La Programmation Pluriannuelle de l'Energie (<https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>) qui engage un accroissement du soutien de l'état à la diversification du mix énergétique, notamment à travers la filière biogaz avec un financement de 9,7 milliard d'euros afin qu'elle puisse atteindre 6 à 8 % de la consommation de gaz en 2028.
1. La stratégie nationale bas carbone (SNBC) (<https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>) qui reprend les objectifs de réduction des émissions de GES (non liées à la consommation énergétique) via le développement de l'agroécologie, l'agroforesterie et l'agriculture de précision. Le dispositif du label bas carbone (<https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>) est l'outil de financement des projets de réduction des émissions de GES ou de séquestration du carbone par les collectivités, les entreprises ou les particuliers.

La méthanisation, et ses déclinaisons « à la ferme », fait partie des leviers qui permettraient de répondre à ces objectifs dans le secteur de l'élevage. Les émissions directes de GES en élevage se font principalement sous forme de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) qui sont naturellement émis lors du stockage de leurs effluents.

La méthanisation réduit les émissions de méthane dans l'atmosphère en le captant et en valorisant l'énergie produite après sa combustion. Les digestats produits sont par ailleurs gérés au niveau de l'exploitation, sans augmentation de plan d'épandage. Le respect de ces grands principes est conforme avec l'esprit de la loi « énergie et climat » car ils peuvent être une voie de transition des élevages vers l'agroécologie tout en réduisant les émissions de GES et en offrant un complément de revenu aux éleveurs. Selon la Base Carbone de l'ADEME (base de données publiques des facteurs d'émissions nécessaires à la

réalisation d'exercices de comptabilité carbone) une unité de micro-méthanisation en cogénération permet ainsi d'éviter 300 kg éq. CO₂ / MWh PCI électrique.

La Programmation Pluriannuelle de l'Energie est également retranscrite au niveau des régions qui proposent des accompagnements pour la méthanisation agricole. Il existe des guichets régionaux spécifiques à la méthanisation à la ferme comme en Nouvelle Aquitaine (réservés aux installations de moins de 80 kWé) (https://les-aides.nouvelle-aquitaine.fr/sites/default/files/2022-02/Appel%20%C3%A0%20projet_2.pdf), mais aussi en Bretagne (réservé aux installations de moins de 30 Nm³/h) (<https://www.bretagne.bzh/aides/fiches/methanisation-agricole-territoriaux>). Pour les autres régions, l'ADEME centralise les dossiers de demandes de subventions avec un forfait de 95 €/MWh PCI pour la cogénération et un plafond limité de 200 000 €. Selon l'Association française du gaz (AFG), le coût de production de la méthanisation à la ferme serait supérieur et estimé à environ 135 €/MWh. La subvention de l'Ademe couvrirait donc 70 % des investissements par MWh.

2. Cadre réglementaire de la méthanisation à la ferme

Réglementation ICPE (Installation Classée Pour la Protection de l'Environnement) :

Pour être considérée comme « agricole », l'unité de méthanisation doit respecter deux règles conformément aux articles LL.311-1 et D.311-18 du Code rural et de la pêche maritime qui valident la construction du méthaniseur sur des zones agricoles :

- l'exploitation et la commercialisation de l'énergie produite par un exploitant agricole ou une structure doit être détenue à plus de 50 % par des agriculteurs ;
- les intrants doivent provenir à plus de 50 % d'exploitations agricoles (qu'elles fassent ou non partie de la société porteuse de l'unité de méthanisation).

Si ces conditions ne sont pas remplies, l'installation sera réglementairement assimilée à une unité de méthanisation industrielle dont la nomenclature ICPE est plus contraignante.

Quelle que soit sa taille, une unité de méthanisation agricole relèvent de la rubrique n° 2781 de la nomenclature ICPE. La micro-méthanisation en élevage dépendra plus spécifiquement de la sous-rubrique n°2781-1 qui est propre à la méthanisation de matière végétale brute, effluents d'élevage, matières stercoraires, lactosérum et déchets végétaux d'industries agroalimentaires. Elle sera alors soit soumise à simple déclaration si la quantité de matières traitées est inférieure à 30 t/j (10 950 t/an), soit soumise à enregistrement entre 30 et 100 t/j, soit soumise à autorisation au-delà. Ces seuils, exprimés en débit massique d'intrants, ne sont qu'assez peu liés au niveau de production énergétique des installations, le potentiel méthanogène des intrants étant très contrastés entre eux (voir fiches effluents).

Le tableau 1 rapporte des ordres de grandeur de taille d'élevage correspondant au seuil de 30 t/j (10 950 t/an) en comparaison de taille moyenne d'élevage. En volaille, un élevage de taille moyenne produit

Tableau 1 : Seuil de déclaration en méthanisation et tailles d'élevage correspondantes selon l'espèce animale

	Seuil déclaration ICPE méthanisation	Taille d'élevage correspondant à 30 t/j *	Taille moyenne d'un élevage en France
Poulet de chair	30 t/j ou 10 950 t/an	40 110 m ²	1500 m ²
Canard à rôtir		8 990 m ²	800 m ²
Vache laitière (VL)		460 UGB (≈ 350 VL) **	105 UGV (≈ 80 VL) *
Atelier porcin Naisseur-Engraisseur (NE)		500 truies NE	250 truies NE

* Taille d'élevage basée sur des m² en aviculture, sur des UGB (Unités de Gros Bovins) en ruminant et sur un nombre de truies présentes et leur suite chez les porcins

** Sur une base d'un cheptel 100 % du temps au bâtiment et hors effluents de salle de traite

une quantité d'effluent bien en deçà du seuil de déclaration. En porc, ce seuil correspond à un élevage naisseur-engraisseur de 500 truies présentes, soit le double de la moyenne nationale. En production laitière, cela correspond à un élevage de 460 UGB, soit quatre fois plus que la taille d'un élevage moyen du grand ouest (tableau 1).

Agrément sanitaire

L'agrément sanitaire est obligatoire, même pour les installations de petite méthanisation en élevage. D'après le règlement (CE) n°1069/2009, les effluents tels que déjections, lait et eaux blanches sont considérés comme des Sous-Produits Animaux (SPAN) et doivent à ce titre faire l'objet d'une stérilisation.

Dans la mesure où les risques sanitaires liées aux effluents sont déjà maîtrisés au niveau des élevages, et sous réserve que le plan d'alimentation du méthaniseur n'intègre pas l'introduction de SPAN complémentaires (ce qui est théoriquement le cas des petites unités de méthanisation en élevage), une demande de dérogation à la stérilisation/hygiénisation a de fortes chances d'être favorablement accueillie.

3. Perception des acteurs de l'élevage sur les leviers de réductions des émissions de GES

Dans le cadre du projet ABILE2 et compte tenu de ce contexte réglementaire et environnemental, des interviews d'acteurs des productions animales ont été réalisés. Cinq questions (voir tableau 2, page 6) concernant l'impact des émissions de GES et plus globalement des enjeux du changement climatique sur l'évolution des productions animales ont été posées à des personnes émanant des interprofessions (UGPVB, CIFO, CICAR, CIPC), des organisations professionnels (groupements d'éleveurs), et des acteurs de la R&D (Chambres d'agriculture, ITAVI, firme service, IFIP, IDELE).

Cette enquête menée auprès de différents acteurs dans le monde des productions animales montre l'impact fort de l'alimentation dans les émissions de GES, du moins chez les monogastriques. L'amélioration des performances zootechniques comme l'indice de consommation est un levier d'action sur lequel il reste assez peu de marge de manœuvre (il a généralement déjà été activé pour être compétitif). La demande sociétale pour moins de claustration, notamment chez les porcins, peut toutefois dégrader ce critère (l'IC). Avec l'affichage environnemental qui se profile, notamment de l'empreinte carbone et sous la demande du consommateur, le consentement de ce dernier à rémunérer les changements de

pratiques se pose dans toutes les filières d'élevage. La délocalisation des productions animales est un risque mentionné à prendre en compte. La gestion des effluents et le volet énergétique (sobriété, autonomie, production d'énergie renouvelable) sont deux leviers mobilisables directement par les éleveurs et pour lesquels il reste des marges de manœuvre. L'évacuation fréquente des déjections et leur méthanisation est une voie à privilégier, notamment chez les porcins et les bovins. Cette filière est à préciser (atouts, coûts...) pour la filière avicole. Différentes échéances de temps sont envisagées selon les coûts et l'efficacité des solutions, la pression réglementaire et sociétale...

4. Enjeux énergétiques et environnementaux de la petite méthanisation en élevage

La méthanisation, au sens large, présente en effet de nombreux atouts lui permettant de s'intégrer de manière durable dans les activités agricoles et en particulier dans le secteur de l'élevage. Les bénéfices escomptés sont notamment d'ordre énergétique et économique.

1. D'un point de vue énergétique, l'élevage peut autoconsommer, le plus souvent sous forme de chaleur tout ou partie de l'énergie produite en substitution aux consommations d'origine fossile ou non (électricité).
2. D'un point de vue économique, la méthanisation à la ferme permet une épargne financière liée à la substitution énergétique mentionnée précédemment et/ou offre un revenu de vente d'énergie en complément de l'activité principale de production animale.

Certains atouts seront plus spécifiques ou plus spécifiquement visés par la petite méthanisation en élevage :

1. Si la petite méthanisation est incluse dans la chaîne de gestion des déjections animales, les émissions de GES s'en trouvent réduites, à fortiori s'il y a couplage avec une augmentation de la fréquence d'évacuation des déjections. Dans cette configuration, la petite méthanisation fait partie intégrante de l'élevage dont la durabilité s'en trouve directement améliorée.
2. La mise en œuvre d'une activité de production d'énergie est parfois couplée avec une mise aux normes des ouvrages de stockage des effluents ce qui permet de réduire les coûts afférents.
3. Comparé à des modèles de méthanisation de plus grande dimension, la petite méthanisation en élevage occasionne moins de bruit (notamment moins de trafic routier) et d'odeurs contribuant ainsi à une meilleure acceptabilité sociale. Les démarches administratives sont également plus simples, le plan d'épandage étant généralement inchangé.

Tableau 2 : Synthèse des interviews d'acteurs des productions animales quant à l'adaptation des élevages aux enjeux des émissions de GES

Questions	Synthèse des réponses		
	Porc	Volaille	Bovin
<p>Question 1 : Selon vous, le monde agricole et en particulier l'élevage, sera-t-il contraint à une réduction des émissions de GES ? Par la législation, l'opinion publique ou par d'autres leviers ?</p>	<p>Oui conjointement par la réglementation, les incitations et par l'opinion publique (via notamment l'affichage environnementale «eco-score»). Cela peut entraîner une réduction de la consommation/ production de viande en France. Toutefois le lien entre GES et élevage n'est pas toujours facile à appréhender par l'opinion publique. Les incitations financières actuelles pourraient devenir des taxes demain.</p>	<p>Les contraintes pourraient être d'ordre réglementaire, social et économique. Réglementaire : il y a moins d'enjeux que pour les ruminants concernant les GES. Social : affichage environnemental de l'empreinte carbone demandé mais se pose la question du consentement de la compensation financière auprès du consommateur. Economique : intérêt de la certification environnementale, HVE ou compensation carbone.</p>	<p>Oui, à terme les réglementations qui s'appliquent déjà à certains pays d'Europe du Nord arriveront en France, via des réglementations européennes et nationales.</p>
<p>Question 2 : Quels sont les leviers d'action pour les élevages ?</p>	<p>En 1er, l'efficacité zootechnique telle que l'indice de consommation (mais aussi la provenance et les conditions de production des matières protéiques végétales qui doivent être non issues de déforestation). La gestion des effluents arrive en seconde position (méthanisation et évacuation fréquente en amont). La réduction des émissions d'ammoniac est mentionnée mais la réduction des GES la traite également - L'efficacité énergétique est assez souvent mentionnée par les personnes interrogées.</p>	<p>L'alimentation est le premier levier d'action pour réduire les GES des élevages avicoles. Il faudra aussi renforcer l'autonomie et la sobriété énergétique : promotion des énergies renouvelables. Il y a des questionnements sur la méthanisation proprement dite et sa mise en œuvre dans la filière avicole. Des atouts possiblement intéressants. La meilleure gestion des effluents est le troisième critère mentionné : séparation de phases, couverture des fosses, l'enfouissement, le compostage...</p>	<p>De multiples techniques et pratiques seront à adapter : augmentation de la fréquence d'évacuation des déjections en dehors du bâtiment, couverture des fosses à lisier, ajustement des niveaux de paillage, méthanisation des effluents d'élevage, limitation de la taille des pré-fosses, diminution du nombre d'animaux improductifs sur l'élevage (= remplacement et longévité des animaux accrus).</p>
<p>Question 3 : Peut-on estimer une échéance d'application (facultative/ obligatoire), une taille (ou un type d'élevage), les atouts et points de vigilance pour ces leviers d'action ?</p>	<p>Ils deviendront obligatoires pour la plupart, en particulier pour les élevages IED, une plus longue échéance pour les petits élevages est à prévoir. Échéance plus rapide (5 à 10 ans) pour la gestion de l'ammoniac et l'alimentation. L'essor massif de la méthanisation et l'évacuation fréquente des déjections se fera plus tardivement compte tenu de coûts d'investissement élevés. Le stockage des déjections sous les animaux devrait être interdit à terme. La réglementation peut évoluer rapidement mais les coûts constituent un frein, en tout état de cause, un point de vigilance.</p>	<p>Concernant l'indice de consommation, avec l'appui de la génétique, des perspectives sont de l'ordre de 2030 et concernant l'approvisionnement en matières premières, l'échéance est plus lointaine (perspectives 2040-2050 car c'est un problème commun qui se gère au niveau de la filière). L'affichage environnemental serait effectif au cours de la décennie à venir.</p>	<p>Ces adaptations pourront avoir lieu en plusieurs phases : dans un premier temps seront à favoriser la modernisation des bâtiments existants et la méthanisation collective. A plus long terme, il pourrait être mis fin aux systèmes d'aire paillées intégrales, tous types de méthanisation serait à envisager et toutes les vaches laitières seront en bâtiment afin de maîtriser 100 % du gisement et de leurs émissions de GES.</p>
<p>Question 4 : Mentionner les (in)compatibilités entre les demandes sociétales et/ou d'éleveurs et les contraintes de celui-ci ?</p>	<p>La réduction de l'empreinte carbone se heurte à la demande sociétale. Cette dernière prône une réduction de la claustration ce qui occasionne une dégradation de l'indice de consommation et par la même, une dégradation des performances environnementales et une augmentation du coût de production. Le risque est grand d'aboutir à une délocalisation de la pollution et de la production et donc une perte de souveraineté alimentaire.</p>	<p>L'affichage environnemental sera tôt ou tard à prendre en compte mais se pose effectivement la question suivante : quel consommateur pour acheter une production moins émissive en GES ? Le « zéro émission » est un piège à éviter car il est inatteignable pour les productions avicoles, même avec des adaptations/ modifications structurelles.</p>	<p>Comme pour les monogastriques, le consentement par le consommateur à compenser financièrement les adaptations de la filière bovine à un impact environnemental moindre se pose.</p>
<p>Mentionner parmi les critères ci-dessous, ceux qui présenteraient le meilleur rapport qualité/coût pour une réduction des émissions de GES : Méthanisation des déjections et valorisation du méthane produit, évacuation des déjections fraîches, bâtiment économe en énergie, lisiothermie, autres à citer.</p>	<p>Evacuation fréquente et méthanisation toujours en tête. Viennent ensuite les bâtiments économes et la lisiothermie et enfin les laveurs d'air.</p>	<p>Les économies d'énergie arrivent en tête, elles sont suivies par les techniques d'adaptation des bâtiments : choix des litières, type de sol... Viennent ensuite les processus de traitement des effluents avec le compostage puis la méthanisation avec une déclinaison en collectif (mais manque de retour d'expérience sur les coûts en aviculture).</p>	<p>Evacuation fréquente des effluents, associée à la méthanisation.</p>

Synthèse des enjeux de la petite méthanisation en élevage :

Principe d'autonomie des intrants

INTRANTS
DE LA METHANISATION AGRICOLE



Les **élevages** produisent de grandes quantités de déjections animales et dans une moindre mesure de déchets de culture. Ils constituent la base des rations des méthaniseurs agricoles ($\approx 70-100\%$ de la ration¹). Les quantités et leur composition sont relativement bien connues des éleveurs.



Les **CIVE (cultures intermédiaires à vocation énergétique)** favorisent les principes de l'agroécologie en renforçant les couverts intermédiaires avec un intérêt environnemental et réglementaire ($\approx 0-30\%$ de la ration¹).



L'introduction de **cultures dédiées** est limitée à 15 % du tonnage entrant sur une moyenne triennale glissante⁴. En pratique, les flux seraient plutôt de l'ordre 5 % de la ration¹. Leur usage, parfois remis en cause, permet toutefois de sécuriser l'approvisionnement en intrants.

ENJEUX LIEES
AUX INTRANTS



La méthanisation permet de réduire les émissions de CH_4/N_2O lors du stockage des déjections.



Incidence nulle sur l'évolution du stock de matière organique dans les sols² et ne remet pas en cause le rendement des futures cultures et la qualité des sols³.

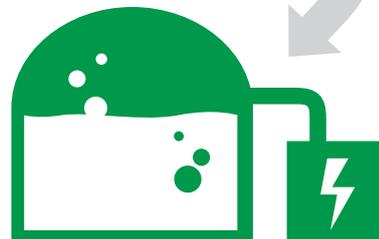


Le changement d'utilisation des sols avec une production agricole spécifiquement dédiée à l'alimentation d'un méthaniseur peut dégrader le bilan GES³ d'une activité agricole.

ENJEUX LIEES
AUX METHANISEURS



Une petite méthanisation en élevage génère moins d'externalités négatives (dévaluations immobilières, nuisances dues aux odeurs et au trafic routier...) qu'une unité de plus grande dimension. Son **acceptabilité** sociale n'en sera que plus élevée.



Méthaniseur à la ferme

ENJEUX LIEES
AUX EXTRANTS



Les **fuites de biogaz** des installations à la ferme devraient être peu élevées (entre 0 et 1.2%)⁴ comparées à d'autres modèles de méthanisation (généralement admis entre moins de 1 et 25 % du biogaz produit⁵).



Valorisation agronomique des digestats ce sous-produit est un fertilisant organique avec la même quantité d'azote et de phosphore que les déjections traitées. Le périmètre du plan d'épandage sera relativement inchangé.



Les **rendements de production de biogaz et de valorisation énergétique** ne sont pas aussi optimisés que dans les modèles de méthanisation de plus grande taille.

Pour assurer son équilibre financier et compte tenu d'une absence d'économie d'échelle, la petite méthanisation à la ferme doit réduire ses coûts d'investissement et de fonctionnement en actionnant certains leviers (réutilisation d'ouvrages existant, simplicité, généricité et rusticité de l'installation...).

Sources : ¹ADEME, 2019 ; ²Projet Opticive, Arvalis, 2015-2018 ; ³Note d'information, NégaWatt et Solagro, 2021 ; ⁴Jorgensen et al., 2014 ; ⁵INERIS 2015

DESCRIPTION TECHNICO-ÉCONOMIQUE DE LA PETITE MÉTHANISATION EN ÉLEVAGE

1. Valorisation de l'énergie

Produire de l'eau chaude avec une chaudière

Pour les élevages ayant des besoins réguliers de chaleur et un potentiel de production de méthane peu élevé, il est préférable de valoriser le biogaz à l'aide d'une chaudière. Les élevages de porcs, de volailles et de veaux de boucherie sont principalement concernés. Les possibilités de valorisation de la chaleur sont multiples :

- Chauffage des bâtiments d'élevage en filière porc (maternité, post-sevrage) et volaille. Dans ce cas, il est nécessaire de disposer d'un réseau d'eau chaude de la chaudière aux salles ou bâtiments à chauffer. Ces derniers devront être équipés d'aérothermes, de plaques à eau chaude ou de planchers chauffants. Selon la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, la méthanisation psychrophile par couverture d'une fosse de 1 200 m³ permettrait ainsi de couvrir 65 à 90 % des besoins de chaleur d'un élevage naisseur-engraisseur de 200 à 300 truies.
- Production d'eau chaude pour un atelier de transformation laitière (eau chaude sanitaire, pasteurisation)
- Séchage en grange et/ou à plat des fourrages d'une exploitation ou de bois énergie
- Production d'eau chaude pour l'alimentation des jeunes animaux, par exemple pour la reconstitution de la buvée en élevage de veaux de boucherie
- Contribution au chauffage d'une habitation. Cette option est possible si elle se situe à proximité de l'unité de méthanisation, le réseau de chaleur pouvant être prohibitif relativement à l'ensemble des investissements.

Vendre de l'électricité avec un co-générateur

Lorsqu'une unité de méthanisation produit de plus grandes quantités de biogaz, il devient envisageable de produire de l'électricité et de la chaleur avec un moteur de cogénération. Dans ce cas, l'électricité produite est revendue en totalité au travers d'un contrat d'une durée moyenne de 20 ans. En 2021, le prix de rachat de l'électricité injectée était de 213 €/MW pour les unités de puissance inférieure ou égale à 80 kWé, à la condition que la proportion des effluents d'élevage constitue au minimum 60 % des intrants annuels (tableau 3).

Injecter du biométhane

La valorisation du biogaz par injection dans le réseau de gaz naturel, après épuration, présente l'intérêt de bons rendements énergétiques (80 à 90 %) et le réseau de gaz naturel permet d'atteindre une forte diversité d'usages et d'usagers. Le seuil de rentabilité généralement admis est toutefois de 50 Nm³/h (ce qui équivaut à environ 200 kW électrique installée), soit une taille d'installation difficilement atteignable par un élevage seul sauf à recourir significativement à des intrants organiques extérieurs.

Cette taille critique de rentabilité est envisageable via une unité de méthanisation collective où les élevages sont apporteurs de leurs déjections les plus méthanogènes, sur des distances ne dépassant pas quelques kilomètres. Une alternative consiste à produire du biogaz sur chaque exploitation et à le transporter – par canalisation ou par portage

Tableau 3 : Références de production ou de consommation d'énergie dans quelques situations d'élevage et coûts des dispositifs de valorisation du biogaz principalement rencontrés sur les installations de petite méthanisation en élevage

	Références de production/ consommation d'énergie	Coûts d'investissement	Coûts de fonctionnement
Moteur de cogénération	Troupeau de 100 vaches laitières logées en bâtiment toute l'année, en conduite lisier 2600 m ³ de lisier / an avec un potentiel méthanogène (BMP) de 18 m ³ CH ₄ /t Matière Brute (MB) 46 800 m ³ de méthane/an Energie primaire : 46 800 x 9,94 (PCI du CH ₄ en kW/m ³) = 465 200 kWh Le moteur tournera en moyenne 8 000 h / an avec un rendement électrique de 35 %, soit 20 kW électrique de puissance moyenne Si seuls les lisiers des vaches laitières alimentent le digesteur, il faudra donc installer un moteur d'une puissance électrique de 20 à 30 kWé environ.	Les références des investissements pour la conversion du biogaz en électricité (Prodige, 2019), toutes tailles de méthanisation confondues sont les suivantes : Minimum : 550 € / kWé Décile 2 (20 %) : 1 300 € / kWé Moyenne : 2 000 € / kWé Décile 8 (80 %) : 2 400 € / kWé Maximum : 4 600 € / kWé Pour une petite unité de méthanisation, le coût d'investissement d'un cogénérateur se situerait plutôt entre le Décile 8 et le maximum, soit de 2 400 € à 4 600 € / kWé.	Le coût de fonctionnement des moteurs de cogénérations est globalement compris entre 10 k€ (20 kWé) et 20 k€ (80 kWé) par an.

	Références de production/ consommation d'énergie	Coûts d'investissement	Coûts de fonctionnement
Chaudière	<p>Elevage de 400 veaux de boucherie logés en bâtiment toute l'année et sur caillebotis intégral, soit une production annuelle de 700 veaux</p> <p>970 m³ de lisier dilué / an avec un BMP de 9 m³ CH₄/t MB soit 8 700 m³ de méthane/an</p> <p>Energie totale : 8 700 x 9,94 (PCI du CH₄ en kW/m³) = 86 500 kWh</p> <p>Le rendement d'une chaudière bi-gaz est de l'ordre de 80 %, soit 69 200 kWh disponibles pour chauffer l'eau qui servira à reconstituer la buvée des veaux</p>	<p>Le coût d'investissement d'une chaudière bi-gaz est de l'ordre de 39 à 45 k€ pour une unité de méthanisation passive sur lisier de porc (fosse de 1200 m³, source Crab)</p>	<p>Le coût de fonctionnement (contrat de maintenance) d'une installation avec chaudière est de l'ordre de 1000 € par an.</p>
Réseau d'eau chaude	<p>L'acheminement de la chaleur nécessite un réseau d'eau chaude. En aviculture, le chauffage représente environ 85 % de la consommation énergétique totale avec des besoins élevés (32 à 37°C) en début de lot (stade poussin) mais aussi sur les stades ultérieurs en raison du renouvellement d'air croissant (consommation entre 70 et 150 kWh/m²/an).</p> <p><i>Exemple : Pour le chauffage de 4 poulaillers totalisant 4400 m² (production de dinde et de poulets de chair avec 8 lots lancés à l'année), d'un logement et de l'eau sur le site d'élevage, l'économie annuelle de propane s'élève à environ 30 t/an.</i></p>	<p>41 à 45 €/ml et 150-200 €/ml respectivement sans et avec génie civil (sur la base d'un réseau de 1,7 km - Ademe, 2016)</p> <p>Coût d'un aérotherme à eau chaude compris entre 1100 et 5200 € - hors installation - pour une puissance respectivement de 12 et 86 kW (Courbatel, 2021)</p>	<p>Le coût de maintenance des aérothermes est peu élevé (car équipement et mode de fonctionnement simple)</p>
Séchage à plat	<p>Le séchage à plat peut être appliqué aussi bien sur du foin, des céréales (type maïs) que sur du "bois énergie" (type plaquette). Il peut s'agir des produits de la ferme ou extérieurs, dans le cadre d'une prestation (environ 15 à 25 €/t). Les produits sont disposés en vrac sur des caniveaux recouverts d'une grille d'où sort un air chaud.</p> <p>Ce type d'installation est parfaitement adapté à des élevages disposant d'une petite méthanisation.</p>	<p>Le coût d'aménagement des cellules (béton, caniveaux et grilles) est en moyenne de 150 €/m².</p> <p>A cet équipement de base, pourront se rajouter des éléments périphériques : couverture voire containerisation, automatisation (sonde de T° et boîtier de contrôle...), pose comprise ou non. Ces choix impacteront les coûts de façon très variable car compris entre 250 et 2950 €/m².</p>	<p>Le ventilateur est une pièce mécanique qui pourrait être amené à être remplacée (coût indicatif de 900 à 1200 €/HT).</p> <p>Le temps de chargement/déchargement du dispositif de séchage est également à considérer.</p>

après une épuration sommaire – sur un site d'injection collectif. Ces organisations qui peuvent être prometteuses, ne seront pas développées ici car le modèle de méthanisation est différent (1^{er} cas) ou dispose de trop peu de retour d'expériences (2nd cas).

2. Repères économiques

Concernant la méthanisation psychrophile (couverture de collecte du biogaz sur une fosse de stockage des déjections non chauffée), les coûts d'investissement et de fonctionnement pour une situation standard sont rapportés par la société Nénufar (Toudic, communication personnelle, 2022) dans le tableau ci-contre. Les coûts d'investissement couvrent les éléments suivants : couverture et dispositif de sécurité, ligne de traitement et de transport du gaz sur 100 m (analyseur biogaz inclus), chaudière bigaz biogaz/propane, autres frais divers (ICPE, câbles électriques, terrassement). Les coûts de fonctionnement concernent les points suivants : maintenance, consommation électrique et de charbon actif, temps de travail et assurance.

Tableau 4 : Ordres de grandeurs de coût pour une unité de méthanisation psychrophile avec chaudière bigaz en situation standard (Toudic, communication personnelle, 2022)

	Volume de lisier de référence (m ³ /an)	Coût en € (en €/an pour les coûts de fonctionnement)
Investissement	2000	84 400
	6000	112 000
	10000	133 000
Fonctionnement	2000	2 500
	6000	3 000
	10000	3 500

Sur ce modèle de méthanisation, des économies d'échelle sont envisageables tant sur l'investissement que sur les coûts de fonctionnement. Le taux de subvention en 2022 est de 40 % (50 % pour les jeunes agriculteurs) avec un plafond de dépenses éligibles fixé à 125 000 €. Concernant la méthanisation mésophile valorisant le biogaz avec un cogénérateur, le coût d'investissement toute puissance confondue,

s'élève en moyenne à 7700 € par kW électrique installé, avec une part de subvention moyenne de 10 à 15 % en 2019, qui tend à diminuer. Il existe toutefois une forte économie d'échelle. Le coût d'investissement est compris entre 9900 et 10200 €/kWé pour une installation de 70 kWé (= modèle de méthanisation ciblé dans cette brochure) et il est compris entre 7200 et 7500 €/kWé pour une installation de 150 à 200 kWé. Concernant les coûts de fonctionnement, ils sont assez comparables entre ces deux tailles d'installation, de l'ordre de 11 cts €/kWh vendus. Ces coûts sont issus de deux études (Ademe et al, 2019 ; Ademe et APCA, 2022) portant respectivement sur 19 et 11 unités de petite méthanisation avec cogénération.

Il existe également de grands écarts pour une même puissance. Dans le panel des 19 unités de petite méthanisation (puissance moyenne de 73 kWé, Ademe et al, 2019), le coefficient de variation du coût d'investissement s'élève à 31 %. Nous ne disposons pas d'explication de telles différences de coût. Elles sont vraisemblablement multifactorielles : ouvrages en béton ou non, modules préfabriqués ou non, dimensionnement standard ou sur-mesure, diversités des substrats stockés et incorporés (uniquement des liquides ou y a-t-il également des solides nécessitant une trémie d'incorporation voire un broyeur, etc.



Compte tenu d'économie d'échelle en défaveur de la petite méthanisation, l'investissement devra être particulièrement bien raisonné afin de sécuriser la rentabilité économique de cette installation. Cela concerne le dimensionnement de l'installation, la qualité des équipements, notamment du moteur de cogénération. Ces derniers ayant des rendements et des durées de vie le plus souvent inférieurs aux moteurs de plus grandes puissances. La vigilance concerne également la maîtrise de la charge de travail, le choix d'une ration stable en quantité et qualité toute l'année, etc.

La très bonne rentabilité économique de l'installation n'est toutefois pas l'unique objectif de la petite méthanisation en élevage, d'autres critères peuvent être pris en compte : réduction des émissions directes de GES des effluents ou plus généralement amélioration de la durabilité de l'élevage, intérêt du digestat pour sa valorisation agronomique, couplage avec une mise aux normes (capacité de stockage, mise en place d'une couverture dans le cadre d'un élevage IED, vétustés d'ouvrages existants), etc.

FICHES DESCRIPTIVES DE QUELQUES PROCÉDÉS DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

Nénufar-biogaz	12
Enerpro-biogaz	13
CRD / Cogéo	14
Agri-Power	15
Valogreen	16
Evalor	17
BIOGAZ PlanET FRANCE	18
AGRIKOMP	19

Nénufar-biogaz

Procédé

Le procédé Nénufar consiste à couvrir une fosse à lisier avec une couverture flottante pour récupérer le biogaz naturellement émis dans l'atmosphère. Ce biogaz, après un traitement épuratoire avec un filtre à charbon actif pour éliminer l'hydrogène sulfuré, est envoyé vers une chaudière par un surpresseur où il y est brûlé pour la production d'eau chaude à destination de l'exploitation. Ce procédé de captation du biogaz n'est possible que sur les ouvrages de stockage des lisiers, il est inopérant sur fumière.

Particularités

Le procédé Nénufar est mis en œuvre en conditions psychrophiles (= à température ambiante) sur des ouvrages de stockage existants. Les investissements sont donc limités. Dans le cas des élevages IED (« Industrial Emissions directive », i.e. de grande taille), la couverture des fosses de stockage est obligatoire. Dans ce cas, il ne pourrait être comptabilisé que le surcoût de la couverture Nénufar par rapport à une couverture permettant de réduire les émissions d'ammoniac.

Si l'objectif premier de ce procédé est de produire de l'eau chaude à des fins d'auto-consommation, la possibilité de l'associer à un moteur de cogénération pour produire de l'électricité est en cours de développement. Ce procédé présente un grand intérêt pour les filières d'élevages qui ont des besoins en eau chaude conséquents et réguliers (par exemple en veaux de boucherie pour reconstituer la buvée, en atelier de transformation fromagère pour la production d'eau chaude sanitaire, en élevage porcin et avicole pour chauffer les bâtiments).

Repères économiques

Les investissements sont variables en fonction de la situation de départ, notamment de la présence et de la qualité des ouvrages existants (fosse de stockage, pompes, brasseurs, chauffe-eau, etc.). L'ordre de grandeur des coûts d'investissement et de fonctionnement sont les suivants (Nénufar, communication personnelle, 2022) :

Quantité annuelle d'effluents	Investissements (€ HT) *	Fonctionnement (€ HT / an)**
2 000 m ³	84 400	2 500
6 000 m ³	112 200	3 000
10 000 m ³	133 000	3 500

* Investissements : couverture Nénufar et équipements de sécurité associés, ligne de transport sur 100 m et de traitement du biogaz (analyseur biogaz inclus), chaudière biogaz et autres frais divers (ICPE, électricité, terrassement). ** Maintenance, consommation électrique et de charbon actif, temps de travail, assurance.

Retour d'expérience d'une réalisation

(d'après Langlois, projet Prométhée, 2021)

L'exploitation : EARL Bernard, exploitation porcine dans les Côtes d'Armor. Elevage de 300 truies naisseur-engraisseur total, 6 400 porcs charcutiers produits/an. 3 UTH. Besoins thermiques estimés à 83 640 kWh/an.

L'installation de méthanisation : Couverture Nénufar d'une fosse de 1200 m³ (22 m de diamètre, 3 m de hauteur) mise en œuvre en 2018.

Intrants : Lisier des 1999 places d'engraissement et des eaux de lavage, soit environ 3450 m³/an. Fréquence d'apport mensuelle sauf en hiver (3 apports/mois)

Indicateurs techniques et économiques :

- Investissement : 94 k€ dont 32,6 k€ de subvention
- 33 m³ de méthane produit quotidiennement
- 76 % des besoins thermiques (1300 places de post-sevrage + 10 places de maternité) couverts (les besoins thermiques des 42 autres places de maternité sont envisagés à plus long terme).
- Charges de fonctionnement : 0,67 k€/an
- Produits : 3,6 k€/an
- Temps de retour sur investissement = 5,5 ans

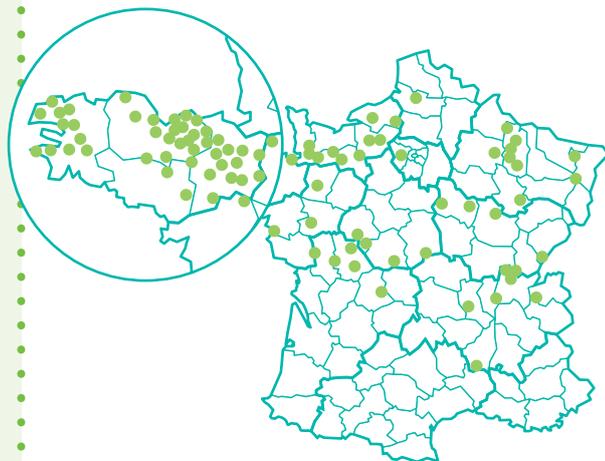
CRAB



Réalisations

En janvier 2022, il était dénombré 113 installations en fonctionnement sur tout le territoire national, en élevage porcin et bovin (veaux de boucherie, vaches laitières) majoritairement. Une vingtaine de projets voient le jour chaque année.

De plus en plus de projets concernent la mise en place d'une couverture Nénufar en aval d'une unité de méthanisation en cogénération ou en injection, afin de capter le méthane résiduel du digestat. Les installations Nénufar sont bien développées dans les élevages porcins et concernent, en 2022, un tiers des installations en fonctionnement.



Cartes des réalisations

Le constructeur

Nénufar-biogaz est une entreprise française au service de l'élevage depuis 2012.

L'entreprise possède deux antennes en France :

Aubervilliers (siège social) :
09 86 32 84 84

Le Gouray (antenne dans les côtes d'Armor) :
02 96 31 37 54

Contacts :

Rémy ENGEL Co-fondateur :
r.engel@nenufar-biogaz.fr

Aurore TOUDIC Responsable commerciale :
a.toudic@nenufar-biogaz.fr

Procédé

Cette entreprise propose différentes formes de méthanisation en voie solide et liquide pour s'adapter à chaque situation.

Deux dispositifs en voie solide discontinue dits "pailleux" pour la valorisation des fumiers et déchets végétaux :

- CASIER de petite taille d'une capacité standard de 20 m³
- SILO PENTE « Ener'SILO » pour des capacités supérieures à 150 m³

Deux dispositifs en voie liquide continu dits "non pailleux" pour la valorisation des lisiers et autres effluents liquides organiques :

- COMPACT de petite taille d'une capacité standard de 20 m³
- DIGESTEUR AERIEN « Ener'KUB » pour une capacité comprise entre 50 et 100 m³

Particularités

Le principal objectif d'Enerpro Biogaz est de permettre une production d'énergie à coût modéré impliquant une autonomie totale en intrants provenant du site d'exploitation. Les solutions développées de méthanisation de proximité s'adressent aux exploitations agricoles, aux particuliers et petites agro-industries. Le cœur de leur activité est le développement de solutions de petite puissance adaptées au volume d'effluent produits sur une seule exploitation. La valorisation du biogaz issu des procédés de méthanisation mis en place se fait majoritairement par une production d'eau chaude via une chaudière. Néanmoins, l'entreprise propose aussi des cogénérateurs d'une puissance de 10 à 80 kWé.

Repères économiques

Quelques repères économiques pour les 4 solutions proposées par le constructeur sont donnés à titre indicatif ci-dessous. Ces niveaux d'investissements sont à préciser en fonction des caractéristiques de chaque projet.

	Liquide	Solide
Petite taille	COMPACT 10-20m ³ Investissement 30 k€ pour 5m ³ d'effluents traités par semaine	CASIER 10-20m ³ Investissement 60 k€ pour 500 tonnes de fumier traités par an
Grande taille	Ener'KUB Investissement 450 k€ pour une installation en cogénération de 63 kWé	Ener'SILO Investissement 500 k€ pour une installation en cogénération de 63 kWé

Retour d'expérience d'une réalisation

L'exploitation : GAEC de l'Ormeau (Sarthe)– exploitation de vaches laitières. 110 ha de SAU. 70 vaches laitières en production logées dans une stabulation aire paillée.

L'installation de méthanisation : procédé Ener'SILO en voie solide discontinue avec un cogénérateur d'une puissance de 63 kW électriques installés. L'installation est composée de 4 digesteurs de 250 m³ chargés avec les fumiers de bovins, d'un local technique et d'une cuve de stockage du percolat de 150 m³. Mise en service début 2021.

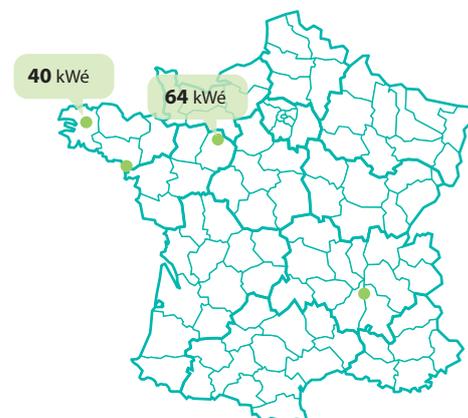
Intrants (en t/an) :

- 2000 t fumiers de bovins
- 400 t déchets verts de la commune voisine
- Refus d'ensilage
- 10 t déchets de céréales

Indicateurs techniques et économiques :

- Investissements : 400 000 € HT, soient 6 350 € HT / kWé installé. Aucune subvention. Une partie des travaux réalisés en auto-construction.
- Température de digestion : 37°C
- Temps de séjour moyen : 35 jours dans chaque silo / vidange et chargement d'un silo tous les 9-12 jours
- Temps de travail : 0,25 ETP
- Fonctionnement du moteur : prévisionnel de 8000 h/an, 8200 h réalisées la 1^{ère} année
- Charges : 60 k€/an, remboursement emprunts et assurances, entretien et maintenance
- Produits : 90 k€/an, contrat d'achat de l'électricité sur 20 ans
- Temps de retour sur investissement < 7 ans
- Revenus agricoles prévisionnels : 30 k€/an

Enerpro Biogaz dispose actuellement de références en fonctionnement en France sur des effluents diversifiés : valorisation des fumiers en élevage de vaches laitières, épuration des eaux usées de brasserie et blanchisserie, valorisation des lisiers de veaux de boucherie pour produire de l'eau chaude pour l'alimentation des veaux, épuration du lactosérum en atelier de transformation fromagère en élevage caprin, etc.



Cartes des réalisations

Avis de l'éleveur

« Dans un souci permanent de protection de l'environnement, je m'intéresse depuis 15 ans à la méthanisation. Je voulais rester en aire paillée et je me suis donc tourné vers un projet collectif dans un premier temps. Ce projet ne voyant pas le jour assez rapidement, nous avons décidé de nous lancer seuls dans cette aventure »
(Paysan breton, mars 2022).

<https://www.paysan-breton.fr/2022/03/produire-de-lenergie-grace-a-de-la-methanisation-par-voie-solide/>

Le constructeur

Enerpro Biogaz est une entreprise française créée en 2015 spécialisée dans le développement et l'installation d'unités de méthanisation de petite taille, simple, robuste et à l'échelle d'une exploitation.

L'entreprise est basée à Rennes en Bretagne :

Enerpro Biogaz, 154 rue de Vern, 35 200 Rennes
Tel : 06 19 30 68 40

Contacts :

Nicolas Angeli CTO
fondateur / mise en service et suivi :
nicolas.angeli@enerpro-biogaz.fr

Maxime Buche co-fondateur / ingénierie et projets :
maxime.buche@enerpro-biogaz.fr

Alexandre BOUGEANT CEO
commerce et développement :
alexandre.bougeant@enerpro-biogaz.fr

Procédé

Le procédé CRD (Concept Rolland Développement) /Cogéo est un modèle de petite méthanisation à la ferme en voie liquide continue (voir photo). Le biogaz est valorisé par un moteur de cogénération pour la production d'électricité verte et de chaleur. La puissance cible du constructeur est de 50 à 100 kWé, bien que deux installations de 150 et 210 kWé aient été construites.

Particularités

Le procédé se veut simple et robuste et il est particulièrement bien adapté aux exploitations laitières en système lisier et/ou fumiers mous à partir de 100 vaches pour disposer d'une quantité annuelle d'effluents d'élevage suffisante et de qualité. C'est une solution qui a déjà fait ses preuves et qui est bien positionnée dans le segment des unités de méthanisation en cogénération de moins de 100 kWé. Selon le constructeur, la puissance optimale est de 80 kWé.

Repères économiques

L'investissement pour la mise en place d'une installation de petite méthanisation à la ferme chez ce constructeur se situe autour de 8 500 à 9 500 € HT / kW électrique installé. Sur cette base, la rentabilité économique des premières références en fonctionnement est là, de même que la satisfaction des porteurs de projet.

Retour d'expérience d'une réalisation

L'exploitation : GAEC Le Sablonné – exploitation de vaches laitières dans l'Indre et Loire. 150 ha de SAU, 150 vaches laitières en production logées dans une stabulation logettes paillées toute l'année.

L'installation de méthanisation est en voie liquide continue avec un cogénérateur d'une puissance de 50 kWé. L'installation est composée d'un digesteur de 600 m³ chargés avec les effluents d'élevage, d'un conteneur faisant office de local technique, d'une préfosse de mélange des intrants, d'un séparateur de phases pour le digestat brut et d'une fosse circulaire en béton pour le stockage du digestat liquide (réutilisation d'une fosse existante). Mise en service en 2018.

Intrants :

- Fumiers mous/lisier pailleux des vaches laitières 16,5 m³ /j
- Eaux blanches et vertes de la salle de traite (roto) 12 m³/j

Le tonnage d'intrants est de 9 900 t/an, le mélange s'effectue dans une préfosse, la teneur en matière sèche à l'entrée du digesteur s'élève à 11 %.

Indicateurs techniques et économiques :

- Investissements : 405 000 € HT, soit 8 100 € HT / kWé installé (aucune subvention).
- Température de digestion : 37°C
- Temps de séjour moyen en 2019 : 15 jours
- Temps de travail : 0,1 ETP
- Fonctionnement du moteur : 8460 h réa-lisé la 1^{ère} année
- Charges : 35,5 k€/an (remboursement emprunts et assurances, entretien et maintenance)
- Produits : 98,9 k€/an, contrat d'achat de l'électricité sur 20 ans (225 €/MWh) + économies d'engrais
- Temps de retour sur investissement < 8 ans
- Revenus agricoles prévisionnels : 63,4 k€/an

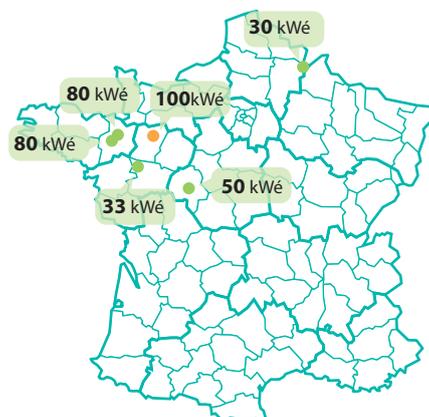
Avis de l'éleveur (propos recueillis en 2020)

« L'idée de la méthanisation était présente depuis quelques années mais nous nous y sommes penchés sérieusement en 2016 et les premières études des constructeurs ont vite montrées que nous avons la capacité d'alimenter seul un petit méthaniseur avec nos fumier et lisiers. Il a fallu environs deux ans pour voir l'installation de 50 kWé sortir de terre. L'investissement bien que conséquent est rentable avec un prix de rachat de la production électrique de 22,5 cts€/kWh injecté dans le réseau d'Enedis. Notre unité fonctionne aujourd'hui exclusivement avec des effluents de l'élevage. Cette installation nous a permis de libérer un peu de temps pour travailler sur d'autres projets. Nous venons d'installer et de mettre en route un robot d'alimentation pour l'élevage. En parallèle ma fille travaille pour s'installer sur la ferme et faire de la transformation. Ce projet est très intéressant car nous pourrions ainsi mieux valoriser la chaleur issue du moteur de cogénération. Depuis quelque temps nous pensons également au photovoltaïque en autoconsommation pour réduire notre facture électrique qui a augmenté avec la mise en route de la méthanisation. Le dernier projet du moment est l'extension de l'unité. Nous travaillons sur l'ajout d'un digesteur et d'un moteur supplémentaire de 80 kWé car nous nous sommes rendu compte qu'avec notre temps de séjour très court la matière qui sort du digesteur a encore beaucoup de biogaz à extraire. Cette extension nous permettra de mieux valoriser nos matières mais également d'y ajouter les fumiers de génisses. »



Réalisations

Six installations sont en service fin 2021, 5 en France et 1 en Belgique. Deux autres installations sont en construction dans des exploitations laitières.



Cartes des réalisations

Les constructeurs

CRD France est une entreprise spécialisée dans la gestion des effluents agricoles et les solutions automatiques de traitement du lisier. L'entreprise mayennaise a été rachetée en 2021 par la coopérative Cooperl Arc Atlantique. Depuis 2017, le développement d'installations de méthanisation à l'échelle d'une exploitation en France par la société CRD s'est fait en partenariat avec l'entreprise belge COGEO.

Contacts :

CRD, 52 avenue de Paris, 53 500 Ernée
Tel : 02 43 30 45 90
info@c-r-d.com

Procédé

AGRIPOWER France est une entreprise française créée en 2012. Elle a concentré son développement sur l'installation et la maintenance de solutions de méthanisation, basées sur des choix technologiques en rupture (acier inoxydable et acier vitrifié). Ce modèle cible la méthanisation individuelle à la ferme d'une puissance de 50 kWé et fonctionne uniquement en voie liquide infiniment mélangé. Ce sont des installations qui se veulent 100 % autonomes en intrants, uniquement du lisier. Il faut un minimum de 100-110 vaches laitières pour faire tourner une installation de 50 kWé. Ces dernières années AGRIPower France s'est également développé pour proposer des solutions de méthanisation collective avec des installations pouvant produire entre 250 kWé et 2 MWé (modèles non détaillés dans la suite de cette fiche).

Particularités

Les unités de méthanisation AGRIPower France vise à impacter le moins possible les installations de l'élevage. Un radier béton est réalisé pour accueillir un conteneur et un digesteur sur une surface compacte (environ 500 m²). AGRIPower France est labellisé Qualiméthéa et est conforme aux règles du décret ICPE 2781 de 2021 (distance conteneur-digesteur de 10 m, traitement du biogaz, torchère obligatoire, etc.) Afin de limiter les investissements, les digesteurs sont réalisés en acier vitrifié, sans pose de liner. Plusieurs avantages sont cités pour ce type d'installation :

- Un investissement d'environ 300 000 € pour un temps de retour sur investissement de 6 à 7 ans.
- Un temps de mise en œuvre sur l'exploitation de 3 semaines
- La production d'un digestat 100 % d'origine animale, intéressant pour la fertilisation des sols et cultures

Repères économiques

Les repères économiques ci-dessous sont donnés pour un moteur de cogénération de 50 kWé et une durée annuelle de fonctionnement de 5 000 h, 6 500 h et 8 000 h et avec un tarif d'achat de l'électricité à 207,5 €/MWh. Il s'agit d'estimations qui doivent être ajustés en fonction des spécificités de chaque site.

	50 kWé 5000 h	50 kWé 6500 h	50 kWé 8000 h
Investissements (installation et aménagements)	259,5 k€	289,5 k€	318,5 k€
Production annuelle d'électricité	250 MWh	325 MWh	400 MWh
Produits annuels	51 k€	67 k€	83 k€
Charges annuelles (maintenance et assurances)	13 k€	16 k€	20 k€
Temps de Retour sur Investissement	7 ans	6,6 ans	6 ans

Le constructeur propose deux options d'investissement : un achat de l'installation en totalité ou une mise à disposition avec option d'achat.



Réalisations

AGRIPOWER France compte une centaine d'installations de micro-méthanisation en fonctionnement qui se trouvent essentiellement dans le Grand-Ouest : Bretagne, Normandie et Hauts-de-France



Cartes des réalisations

Contact constructeur

Agripower France :
9 bis rue de la métallurgie,
44 470 Carquefou
Tel : 02 28 06 05 90
Email : contact@agripower-france.com

Procédé

L'offre Valogreen intègre une solution de méthanisation basée sur le principe de la micro-cogénération (50 à 100 kWé) mésophile, avec une gestion d'intrants provenant à 100 % d'un seul site d'élevage. Le procédé est capable d'intégrer des matières solides comme des fumiers, ensilages, déchets verts (jusqu'à 40 % du total des intrants) aux liquides (lisiers, jus de fumiers, eaux...) via un pré-traitement par broyage et un mélange dans une pré-fosse d'incorporation. Le digesteur peut être en béton ou en acier (voir photo), sans éléments mécaniques à l'intérieur. Après traitement par désulfuration, le biogaz est envoyé vers un cogénérateur. Le digestat peut faire l'objet d'une séparation de phases. La fraction liquide est stockée dans une cuve dédiée et peut être renvoyée vers la pré-fosse d'incorporation. La fraction solide est stockée avant sa valorisation agronomique.

Particularités

Valogreen propose des digesteurs entièrement en béton préfabriqué pour une installation rapide (6 semaines à 3 mois), robuste et bénéficiant d'une bonne durée de vie. En outre, d'après ce fournisseur, le béton dispose d'une meilleure isolation thermique que l'acier ce qui favoriserait donc la production de méthane. Si besoin, cette offre peut être adaptée en fournissant un digesteur en acier (voir photo).

Repères économiques

L'investissement s'établit entre 810 et 920 k€ pour une puissance installée respectivement de 75 et 100 kWé. L'entretien est peu élevé de même que le temps de suivi (10 à 30 min/j). L'emprise foncière est 500 m² environ pour une unité de 75-80 kWé.

	75 kWé	100 kWé
Investissements (installation et aménagements)	810 k€	920 k€
Production annuelle d'électricité	622 MWh	830 MWh
Produits annuels	131 k€	174 k€
Charges annuelles (maintenance et assurances)	35 k€	43 k€
Temps de Retour sur Investissement	8,5 ans	8,4 ans

Retour d'expérience d'une réalisation

L'exploitation : GAEC DE LA LOSNE- Elevage de vaches laitières en Haute Marne. 220 ha de SAU, 150 vaches laitières avec 3 associés.

L'installation de méthanisation : Mise en service en mai 2020 - Cogénérateur de 100 kWé - Fosse d'incorporation de 90 m³ utile - Local technique (12 m²) - Un digesteur en structure métallique de 1224 m³ utile - Un séparateur de phases de 20m³/h environ - Fosse circulaire de stockage du digestat en béton de 3570 m³ utile - Séchage à plat caniveaux.

Intrants : Lisier de bovin lait : 5000 t/an - Fumier de bovin : 1500 t/an - CIVE : 385 t/an - Ensilage de maïs : 167 t/an - Ensilage d'herbe : 300 t/an - Soit un total de 20 t/j.

Indicateurs économiques :

- Investissements moyens : Annuité du gros œuvre : 65 k€/an sur 15 ans - Annuité du cogénérateur : 21 k€/an sur 8 ans soit une annuité totale de 85 k€/an.
- Valorisations : Production d'électricité : 830 526 kWh/an pour un temps de fonctionnement du cogénérateur de 8 517 h/an - Chiffre d'affaires de la 1^{ère} année : 180 à 185 k€ - Excédent brut d'exploitation inférieur à 110 k€.
- Revenus agricoles moyens espérés : entre 25 - 30 k€/an les 8 premières années, 45 à 50 k€/an les 7 années suivantes, 100 à 120 k€/an les 3 dernières années.

Avis d'éleveur :

« On voulait valoriser nos déchets sans faire de cultures dédiées à la méthanisation et en étant quasiment autonome pour les intrants. »

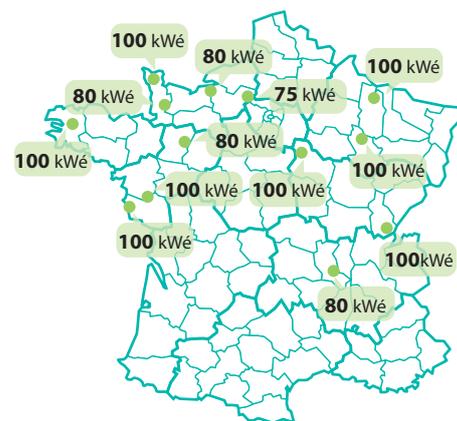
« Au début j'avais une heure de travail par jour pour le méthaniseur, mais maintenant il me suffit de 25 min pour l'alimenter ». <https://youtu.be/QQQ7b3AFv8>



Digesteur en acier

Réalisations

Valogreen est une société française indépendante disposant de plus de 10 ans d'expérience et de 30 références dont près de la moitié, 14 exactement, de micro-méthaniseurs de 75 à 100 kWé. Les projets de micro-méthanisation se sont accélérés puisque 11 d'entre eux ont été mis en œuvre entre 2018 et 2020.



Cartes des réalisations

Constructeur

Valogreen est en mesure de proposer un service intégré comprenant le développement, l'étude, la conception, la réalisation et la maintenance d'unités de production de biogaz adaptées à la taille des exploitations agricoles. Pour mener à bien son activité, cette entreprise dispose d'un bureau d'étude interne, d'équipes techniques de pilotage de chantier, de montage et de service techniques d'exploitation ainsi que d'un laboratoire d'analyses.

Contact :

Valogreen, 4 Avenue Laurent Cély, 92 600 Asnières-sur-Seine (siège social)
Tel : 09 81 90 54 22
Email : info@valogreen.fr

Procédé

Evalor propose une solution de méthanisation en voie liquide mésophile (35 - 42°C) avec une agitation mécanique. Afin de valoriser au maximum les ressources présentes sur les exploitations agricoles, tout en restant sur une forte base de lisier, cette entreprise adapte les modes d'incorporation à façon pour i) faciliter l'alimentation du méthaniseur (trémie d'incorporation), ii) limiter l'introduction d'indésirables (fosse de prémélange de lisier) et iii) faciliter la digestion en prétraitant la matière (broyeur de fibres longues, fosse d'hydrolyse).

Le digestat est ensuite majoritairement valorisé à l'état brut par épandage. Des séparateurs de phases peuvent aussi être proposés afin de gérer plus facilement cette étape de valorisation agronomique. La phase liquide peut alors être épandue sur les parcelles les plus proches et la phase solide sur les parcelles plus éloignées ou être exportée. Le stockage de biogaz, au niveau du gazomètre, permet de réguler l'équilibre entre sa vitesse de production et d'utilisation. Différents modes de valorisation du biogaz brut prétraité sont possibles : production uniquement de chaleur (chaudière) ou production conjointe d'électricité et de chaleur par cogénération.

Particularités

Evalor est en mesure d'assurer le suivi biologique de ses unités de méthanisation et plus largement d'offrir des solutions sur mesure et « clé en main ». Evalor dispose en outre d'une solide expérience des procédés de traitement des déjections animales (traitement biologique par boue activée, compostage, stripping de l'azote...) dont la séparation de phases (par vis compacteuse, décanteuse-centrifuge...) et la valorisation des fractions liquide-solide qui en sont issues.

Repères économiques

L'investissement est estimé entre 6 000 et 10 000 € du kWé pour une petite unité de méthanisation valorisant le biogaz par cogénération. Cette fourchette de prix se situe dans les coûts pratiqués par les différents constructeurs. Les témoignages et retours d'expériences montrent un amortissement économique et une satisfaction des éleveurs ayant choisi ce fournisseur.

	100 kWé
Investissements (installation et aménagements)	600 à 1 000 k€
Production annuelle d'électricité	750-800 MWh
Produits annuels	155-160 k€
Charges annuelles (maintenance et assurances)	33 k€
Temps de Retour sur Investissement	10 ans

Retour d'expérience d'une réalisation

L'exploitation : EARL du Clos de la Pierre - Elevage de porcs dans les côtes d'Armor, 75 ha de SAU, 400 truies naisseur-engraisseur, avec 2 associés.

L'installation de méthanisation : Mise en service en 2012 d'une unité équipée d'un cogénérateur de 100 kWé. Elle est disposée en amont d'une décanteuse-centrifuge dont la fraction solide est compostée puis exportée hors de Bretagne. La fraction liquide subit ensuite un traitement biologique par boue activée qui résorbe une partie de l'azote des digestats.

Caractéristiques techniques : trémie d'incorporation, 1 digesteur, bassin de traitement biologique par boue activée, décanteuse-centrifuge et plateforme de compostage. La chaleur produite par le cogénérateur sert à chauffer le bâtiment d'élevage. Intrants : 7 500 m³/an de lisier de porc, 2000 t/an de déchets de légumes et de tontes de pelouse.

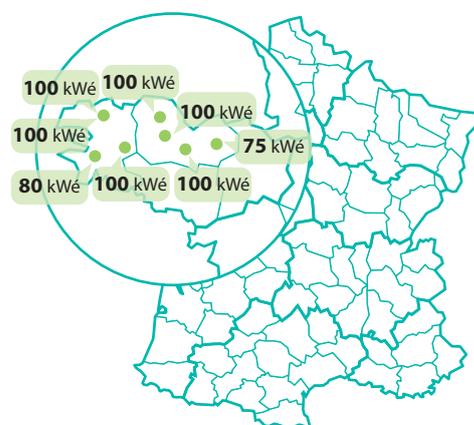
Indicateurs économiques :

- Investissement moyen de 1 050 k€ soit une annuité moyenne de 80 k€.
- Valorisation : chiffre d'affaires moyen de 160 k€ auquel s'ajoute une économie d'énergie sur la facture de chauffage de la porcherie - Excédent brut d'exploitation d'environ 80 k€/an.
- Revenus agricoles moyens espérés : le revenu agricole se fait initialement sur les économies de chauffage de la porcherie pendant que la vente d'électricité sert à couvrir les annuités liées à l'amortissement des infrastructures. Cette économie est estimée à 25 k€/an, correspondant à 500 000 kWh/an auto-consommés à un tarif de 5 cts€/kWh.



Réalisations

En 25 ans, cette entreprise a acquis plus de 100 références dont près de la moitié en cogénération. Sur ce panel, huit projets de micro-méthaniseurs (100 kWé ou moins) ont pu être réalisés par Evalor.



Cartes des réalisations

Avis d'éleveur

« On s'est lancé dans la méthanisation car nous chauffions les porcheries au fioul et nous voulions supprimer cette source d'énergie »
 « L'avantage des installations Evalor, c'est qu'elles sont simples. Pour celui qui veut reprendre la main après nous, ce n'est pas compliqué »

https://www.youtube.com/watch?v=eNOSJoKwDac&ab_channel=EVALOR

Constructeur

Evalor a été créée à l'initiative de coopératives agricoles du Grand Ouest. Elle fait figure de pionnière puisque l'installation de sa première unité de méthanisation date de 2012. Bien que ce savoir-faire se soit surtout développé autour de projets de méthanisation de plus grande envergure, Evalor est à même de proposer et d'accompagner des éleveurs dans la conception, la réalisation et le suivi de petite méthanisation en élevage.

Contact :

Evalor, 1 rue Georges Guynemer,
 22190 Plérin (siège social)
 Téléphone : 02 96 74 56 57
 Email : evalor@evalor.fr

BIOGAZ PlanET FRANCE

Procédé

Biogaz PlanET dispose d'un modèle de petite méthanisation de 75 à 100 kWé (voire 50 kWé). Celui-ci a, pour l'instant, été mise en œuvre avec une unité de production de biogaz en voie liquide continue avec du lisier de vache laitière. Le système, simple, procède au pompage des lisiers vers un digesteur en acier inoxydable équipé d'un système d'agitation automatisé. Le biogaz est entièrement valorisé par cogénération permettant de produire conjointement de l'électricité et de la chaleur.

Particularités

Biogaz PlanET a démarré son activité en Allemagne, en 1998. En France, après une première réalisation en 2010, la 100^{ème} unités a été montée en 2021 (toutes tailles confondues). PlanET dispose donc d'une solide expérience de méthanisation en élevage. Le modèle de méthanisation français est différent du modèle allemand. Ce dernier est principalement basé sur une puissance de 75 kWé via l'emploi d'intrants exclusivement constitués de lisier et/ou de fumier. En France, les installations sont de taille beaucoup plus importante, 250 kWé pour la cogénération, mais aussi pour de l'injection. Cette large expérience, permet aussi à Biogaz PlanET de proposer des optimisations technologiques avec des trémies modulables et spécialement conçues pour intégrer des effluents d'élevages solides et fibreux. Les équipements d'agitation des digesteurs ont également fait l'objet d'optimisation et de dépôts de brevet. Enfin, le process de désulfuration est intégré au toit du digesteur avec une couverture en maille plastique adaptée.

Repères économiques

L'investissement est estimé à 9 000 € du kWé. Les principaux indicateurs économiques pour une unité de méthanisation de 75 kWé sont mentionnés ci-dessous :

Investissements (installation et aménagements)	670 k€
Production annuelle d'électricité	550-600 MWh
Produits annuels	120 k€
Charges annuelles (maintenance et assurances)	40 k€
Temps de retour sur investissement	7 à 9 ans

Retour d'expérience d'une réalisation

L'exploitation : SARL NOVALAIT - Elevage laitier dans le nord de la France avec 300 vaches laitières, 60 vaches taries et 50 veaux.

L'installation de méthanisation : Mise en service en 2018 avec un cogénérateur de 75 kWé. L'installation de méthanisation permet de chauffer la fromagerie et l'atelier de production laitière.

Caractéristiques techniques : Digesteur de 600 m³ (16 m de diamètre et 3 m de haut) équipé d'un chauffage mural et au sol, ainsi que d'un système de brassage. Il est alimenté à 100 % avec du lisier de bovin.

Intrants : 7 000 m³/an de lisier de vache

Indicateurs économiques :

- Investissement moyen : Investissement de 670 k€.
- Valorisation : Chiffre d'affaires moyen de 120 k€ auquel se rajoute une économie d'énergie sur la facture de chauffage de la fromagerie et de l'atelier laitière.

Avis d'éleveur :

L'éleveur vante la « faible consommation électrique » de l'installation (l'agitateur ne tourne pas plus de 3 heures par jour, la pompe pas plus de 15 minutes) ainsi que sa surveillance 4 à 5 minutes par jour, auxquelles s'ajoutent une vidange du moteur toutes les deux semaines pour une installation tranquille et sereine ».

La qualité agronomique du digestat est aussi apprécié car selon lui, « ce produit [le digestat] se montre plus efficace que le lisier pour fertiliser les cultures, en particulier en début de campagne »

Témoignage vidéo sur la seconde référence de Biogaz PlanET :

Nos clients vous racontent : [La méthanisation au sein de l'EAL de la Clergerie](#)



Réalisations

La filiale Biogaz PlanET France dispose d'environ 140 références, dont 2 relèvent du statut de petite méthanisation (100 kWé ou moins). A l'international, le groupe comptabilise plus de 580 références.



Cartes des réalisations

Constructeur

Biogaz Plan-ET, pour «Planning and Application of Energy Technology», est spécialisée dans la conception, la construction et l'entretien d'installations de méthanisation agricole. PlanET a démarré son activité en 1998 et compte aujourd'hui plus de 250 employés dans le monde, dont 33 en France (activité démarrée en 2010).

Contact :

Biogaz Plan-ET, 6 rue Gilles de Roberval,
35340 Liffré (siège social)
Tel : 02 23 25 56 50
Email : info@biogaz-planet.fr

Procédé

Agrikomp propose des solutions de méthanisation à la ferme aussi bien sur mesure que dans une approche standardisée, avec une distinction entre deux gammes : 55 à 80 kWé et 75 à 150 kWé. Ces solutions reposent sur un processus en voie liquide infiniment mélangé et s'adressent à des éleveurs en recherche d'autonomie énergétique. Cette entreprise est en capacité de fournir des solutions d'incorporation d'intrants adaptables à leur nature (y compris des effluents type fumiers ou des substrats fibreux). Leurs digesteurs sont en béton armé (avec ou sans isolation) intégré dans un revêtement (intérieure et extérieure) en polyuréthane et équipés de systèmes d'agitation. La couverture du digesteur peut être une double membrane ou une simple membrane en EPDM souple. Le biogaz peut être entièrement valorisé par des cogénérateurs développés et fabriqués par Agrikomp. Voir aussi la vidéo de présentation :

https://www.youtube.com/watch?v=yF8GU0T3HZI&ab_channel=agrikompFrance

Particularités

Créée en 2006, Agrikomp France dispose d'une expérience de plus de 15 ans au cours desquelles le groupe - de dimension européenne et initié en Allemagne depuis les années 2000 - a développé des équipements en propre pour optimiser ses installations. De multiples éléments (système d'incorporation, digesteur, agitateur, séparation de phases, gestion du digestat et du biogaz...) ont fait l'objet de dépôt de brevets. Cette recherche d'innovation s'est également déclinée au niveau des cogénérateurs. Depuis 2014, Agrikomp fabrique et commercialise des cogénérateurs spécifiques aux petites unités de méthanisation, sur des puissances comprises entre 55 et 80 kWé. Peu de fournisseurs sont allés jusqu'à intégrer en propre cette composante. Ces orientations se sont traduites par une forte standardisation de leurs unités de méthanisation.

Repères économiques

L'investissement est compris entre 7 000 et 11 000 € du kWé. Agrikomp précise qu'afin d'assurer une meilleure rentabilité, il est préférable pour les installations à la ferme de réutiliser des ouvrages déjà existants. Les ordres de grandeurs pour les différentes gammes de produit proposés n'ont pu être relevés.

Retour d'expérience d'une réalisation

L'exploitation : GAEC de la Corderie poly-élevage (atelier lait et avicole) situé en Vendée, 300 vaches laitières, 2 poulaillers label de 400 m², 450 ha de SAU.

L'installation de méthanisation : Mise en service en 2019. La puissance installée du cogénérateur était initialement de 80 kWé, puis elle est passée à 100 kWé après 6 mois.

Caractéristiques techniques : Le projet a été conçu dans une véritable autonomie en intrants provenant à 100 % de l'activité d'élevage. Le digesteur a été conçu à partir de la fosse de stockage en béton existante sur le site. Afin de prévenir d'éventuels problèmes d'homogénéisation (notamment à cause de l'introduction de fumiers de volailles solides), les éleveurs ont optés pour l'intégration d'une unité de brassage qui se présente sous la forme d'un bras muni de pelles. La fosse existante a été pourvue d'une charpente en bois qui soutient une membrane épuratrice des composés soufrés. Cette dernière est recouverte d'une seconde membrane souple en EPDM dont la dilatation offre une solution de stockage du biogaz. Le cogénérateur et un poste de pilotage sont installés dans un conteneur technique pré-fabriqués en béton.

Intrants : 8680 t/an dont 8200 t/an de lisier de vaches laitières (24-25 m³/j), 80 t/an de fumiers de volailles, 400 t/an d'eaux vertes et blanches.

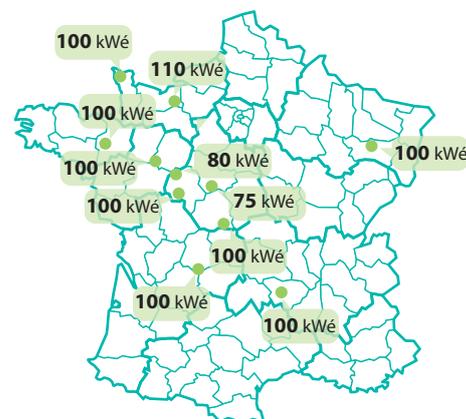
Indicateurs économiques :

- Investissement moyen de 560 k€ (ce coût peu élevé s'explique par la reprise d'ouvrages existants et l'auto-construction d'une partie des aménagements du digesteur). L'investissement a été réalisé sans subvention.
- Valorisation : Le chiffre d'affaires moyen est de 155 k€/an (le cogénérateur fonctionne environ 8 600 h/an)



Réalisations

Agrikomp France dispose d'un peu moins de 200 références, dont 14 relevant du statut de micro-méthanisation à la ferme (installation de 100 kWé ou moins). A l'international, le groupe comptabilise plus de 1000 références.



Cartes des réalisations

Avis d'éleveur

« Le projet est né d'une volonté de maîtriser et valoriser au niveau du site d'élevage des effluents et un ouvrage de stockage déjà présents. Ainsi la méthanisation apporte un plus économique pour l'exploitation. Ce modèle est facile à dupliquer et n'engendre pas un temps de travail supplémentaire qui est estimé à 10 min/j. »

« La méthanisation à l'échelle de la ferme constitue un vrai plus comparé à des projets de plus grandes envergures qui sont la source de nuisances et dans lesquels les éleveurs apportent leurs effluents mais ne retirent pas une rémunération à sa juste valeur »

Constructeur

Agrikomp France est une entreprise spécialisée dans la conception, la construction et l'entretien d'installations de méthanisation agricole. Après 15 ans d'existence, elle compte aujourd'hui une centaine de salariés, dont 30 dédiés au SAV.

Contact :

Agrikomp, 5 rue Franciade, 41260 La Chaussée St-Victor (siège social)
Tel : 02 54 56 18 57
Email : info@agrikomp.fr

POTENTIEL MÉTHANOGENÈ ET COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE DES DÉJECTIONS ANIMALES

Si la méthanisation constitue un levier d'action pour réduire les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) des effluents d'élevage, le dimensionnement des installations utilisant ces intrants, notamment à titre principal, nécessite de bien connaître leur potentiel méthanogène (BMP). Dans le cadre du projet ABILE2, les instituts techniques animaux (Ifip, Idele, Itavi) ont collecté plus de 160 déjections porcines, bovines et avicoles, de natures très contrastées : liquides/solides, avec un substrat ligno-cellulosique ou non, frais/âgés, ... Ces effluents ont fait l'objet d'une analyse physico-chimique et de leur BMP par l'INRAE Transfert de Narbonne, également partenaire de ce projet afin d'élaborer une base de données libre d'accès (<https://ifip.asso.fr/base-de-donnees-abile/>). Dans cette brochure, les résultats sont regroupés sous forme de fiches par grande catégorie de déjection animale et pour chacune des trois productions animales (bovin, porc et volaille). Chacune de ces catégories a fait l'objet d'une description de leurs conditions de production (mode d'élevage, type d'animal), de leur importance dans le panel des déjections animales et y sont présentés, leur potentiel méthanogène (BMP), leur composition physico-chimique (matière sèche, matière organique, azote totale et ammoniacal, phosphore et potassium) et les facteurs de variation de ces critères.

Cette étude montre globalement que la composition chimique et le BMP s'avèrent très contrastés entre effluents d'élevage. La détermination de la teneur en matière sèche permet d'avoir une bonne estimation de leur BMP ($R^2 = 0,88$) et bien qu'ayant été effectué sur un petit échantillon ($n=16$), la DCO s'avère également bien corrélée à ce paramètre ($R^2 = 0,96$) pour ces produits organiques. Par mesure de sécurité, compte tenu des enjeux financiers, il demeure souhaitable de mesurer le BMP des effluents d'élevage pour dimensionner une unité de méthanisation fonctionnant principalement à partir de ces substrats. La perte de BMP des effluents d'élevage au cours du stockage semble également très contrastée, tant entre nature d'effluent (lisier, fumier accumulé/raclé), qu'espèces animales (porc, bovin, volaille). L'ensemble des résultats a fait l'objet d'une synthèse par Levasseur et al. (2022).

La détermination du BMP (Biochemical Methane Potential) repose sur une méthode de mesure du volume de biogaz produit et de sa teneur en méthane par une matrice organique solide ou liquide, mise au contact d'un inoculum (quantité connue de microorganismes anaérobies actifs). Les conditions, très contrôlées, sont les plus propices à l'expression de ce potentiel (température, absence de lumière directe, oligo-éléments non limitant, réacteur parfaitement mélangé...). La production de biogaz est suivie et cumulée tant qu'elle reste significative.

Le résultat s'exprime en quantité de méthane produite par unité de masse de substrat (matière brute ou organique). L'expression du BMP relativement à la matière brute revêt une approche très opérationnelle, notamment quand il s'agit de rationaliser les distances d'approvisionnement. L'expression du BMP relativement à la matière organique permet de s'affranchir de la part d'eau et de matières minérales ne contribuant pas à la production de méthane. Leurs proportions peuvent être très variables d'un effluent à l'autre. Dans le cas de produits très liquides, les résultats s'expriment plutôt en fonction de la matière brute ou de la demande chimique en oxygène. Pour ces produits, les mesures des matières sèches et organiques sont souvent sous-estimées compte tenu des pertes au séchage à respectivement 105 et 550°C).

1. Fumiers très compacts de litière accumulée - bovins, ovins et caprins

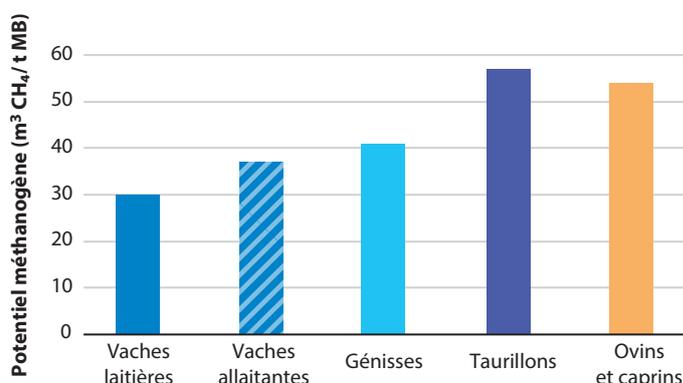
Caractéristiques

Les fumiers constituent une part très significative du gisement national de déjections en élevage de ruminants. Ils représentent 80 % du gisement chez les bovins toutes catégories confondues et presque la totalité du gisement chez les petits ruminants (ovins et caprins) qui sont très majoritairement logés dans des bâtiments avec production de fumier. Cette fiche vise à présenter les caractéristiques des fumiers très compacts (FTC) de litière accumulée des bovins, ovins et caprins. Un fumier très compact est produit au niveau du couchage d'une stabulation libre, ayant subi un stockage minimum de deux mois sous les animaux ou sur une fumièrre. La particularité de ce type de fumier est qu'il est non susceptible d'écoulement et qu'il peut être ainsi stocké au champ.

La quantité de paille brute apportée quotidiennement pour la constitution de ce type de fumier est d'au moins 5 kg par animal et par jour pour les bovins et d'au moins 3 kg par animal et par jour pour les petits ruminants.

Les analyses effectuées sur des échantillons de FTC de bovins adultes ne montrent pas de différence de teneurs en matières sèches entre les fumiers de vaches laitières (23,5 % de matière sèche) et les fumiers de vaches allaitantes (23,2 % de matière sèche). Chez les jeunes bovins, la teneur en matière sèche plus élevée notamment pour les génisses (30,3 % de matière sèche) est liée au logement sur pente paillée avec un drainage des urines facilité vers le couloir raclé. Les FTC de petits ruminants sont des fumiers beaucoup plus secs avec une teneur en matière sèche supérieure à 40 %.

Les prélèvements des FTC ont été réalisés dans 7 sites distincts. Le tableau ci-dessous présente les résultats moyens des caractérisations agronomiques et de BMP pour 6 catégories animales (*).



Effet de la catégorie animale sur le potentiel méthanoène des fumiers compact de litière accumulée

Il est observé des différences de BMP entre les différentes catégories animales. Les FTC de vaches laitières présentent le BMP le plus bas (30 m³ CH₄/t MB) et les taurillons celui le plus haut (57 m³ CH₄/t MB), suivi de près par les FTC des ovins et caprins avec un BMP de 54 m³ CH₄/t MB. En revanche, si on compare les BMP par rapport à la teneur en matière organique des FTC, on observe des valeurs très similaires entre les FTC des vaches laitières et des petits ruminants (respectivement 151 m³ CH₄/t MO et 153 m³ CH₄/t MO).

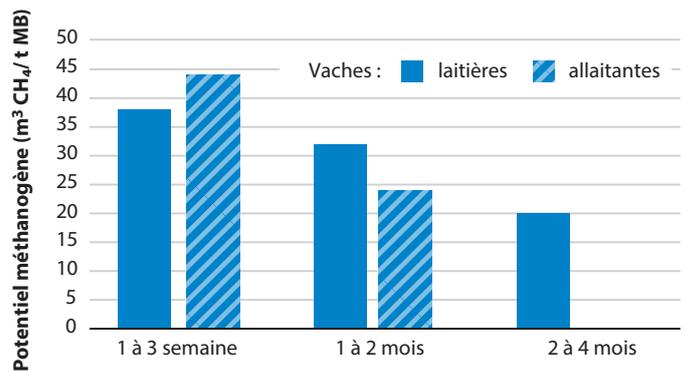
Nombre de prélèvements	Bovins adultes				Jeunes bovins				Petits ruminants	
	Vaches laitières		Vaches allaitantes		Génisses		Taurillons		Ovins et caprins	
	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type								
	6		6		4		2		4	
Matière sèche	235	49	232	53	303	28	242	-	416	66
Matière organique	198	43	196	46	251	21	217	-	344	58
Carbone Organique	82	20	86	24	113	13	90	-	161	36
N Total Kjeldahl	5,7	1,2	5,9	1,3	8,7	2,2	7,4	-	12,3	5,3
N-NH₄⁺	0,5	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	-	0,8	0,4
P₂O₅	3,4	0,9	1,9	0,8	3,3	1,2	3,6	-	4,2	0,8
K₂O	9,5	1,4	8,7	7,2	15,7	1,5	8,3	-	19,3	2,2
Potentils méthanoènes (BMP)										
BMP moyen (m³ CH₄/ t MB)	30	9	37	13	41	16	57	-	54	19
BMP moyen (m³ CH₄/ t MO)	151	32	189	39	163	65	264	-	153	31
BMP (m³ CH₄/animal/an) (**)	405	122	400	140	414	162	542	-	76	27

* En dessous de 3 valeurs, les écart-types ne sont pas présentés – MB : matière brute – MO : matière organique

** hypothèse de production de 37 kg de Fumier Très Compact /UGB VL par jour de présence en stabulation libre toute paillée, soit : VL : 13,5 t/an, VA : 10,8 t/an, Génisses : 10,1 t/an, Taurillons : 9,5 t/an et Petits ruminants : 1,4 t/an

Facteurs de variation

La fraîcheur d'un effluent est l'un des facteurs le plus important de variation de son BMP. Les fumiers sont en général stockés plusieurs semaines voire plusieurs mois sous les animaux ou en fumière avant d'être utilisés. La perte de BMP correspondante est illustré dans le graphique ci-dessous pour les FTC de vaches laitières et de vaches allaitantes. Des écarts importants sont observés entre des FTC stockés sous les animaux pendant 1 à 3 semaines et des FTC stockés plusieurs mois. Le BMP d'un FTC de vaches laitières diminue ainsi de 16 % entre 2 semaines de stockage sous les animaux et 1,5 mois de stockage, soit de 38 à 32 m³ CH₄/t MB. La baisse du BMP atteint même 48 % après 3 mois de stockage, soit de 38 à 20 m³ CH₄/t MB. Il semble que cette perte de BMP soit encore plus rapide pour les FTC de vaches allaitantes, avec une baisse de 46 % du BMP dès 1,5 mois de stockage en comparaison à un FTC âgé de 2 semaines, soit de 44 à 24 m³ CH₄/t MB.



Effet de la fraîcheur du fumier très compact de litière accumulée sur son potentiel méthanogène

Il est donc primordial d'adapter la gestion des fumiers de litière accumulée lorsque ceux-ci sont destinés à alimenter un digesteur. La possibilité de prélever le fumier 1 ou 2 fois par semaine directement dans le bâtiment sera privilégiée par rapport à une longue durée de stockage sous les animaux ou en fumière avant entrée dans le digesteur.

2. Fumiers de raclage - bovins lait

Caractéristiques

Les fumiers de raclage représentent environ 35 % du gisement national de fumiers, toutes catégories confondues. Il existe 4 catégories de fumiers de raclage : les fumiers très mous (FTM) et les fumiers mous (FM ; 1,5 à 2,5 kg de paille/VL/jour), les fumiers mous à compact (FMC ; 2,5 à 3,5 kg/VL/jour) et les fumiers compacts (FC ; plus de 3,5 kg/VL/jour). Ces fumiers sont produits dans les stabulations logettes avec un niveau de paillage plus ou moins élevé et dans les stabulations aire paillée combinées à une aire d'exercice raclée au même niveau ou surélevée et sans muret. Ces fumiers sont très majoritairement produits dans les élevages de bovins lait, et de façon plus anecdotique dans les systèmes allaitants. C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, les prélèvements de fumiers de raclage ont été réalisés uniquement dans des bâtiments de vaches laitières. Deux des 4 catégories de fumiers de raclage ont été étudiées, les FM et les FMC.

La différence de niveau de paillage entre les deux catégories de fumiers de raclage révèle logiquement une différence de teneur en matière sèche. Les échantillons de fumier mou ont une teneur en matière sèche de 13 % tandis que celle des fumiers mous à compact est plus importante avec 18 % de matière sèche. L'écart concernant la teneur en matière organique est identique, avec une différence de 5 points entre les FM et les FMC (respectivement 11 % et 16 %).

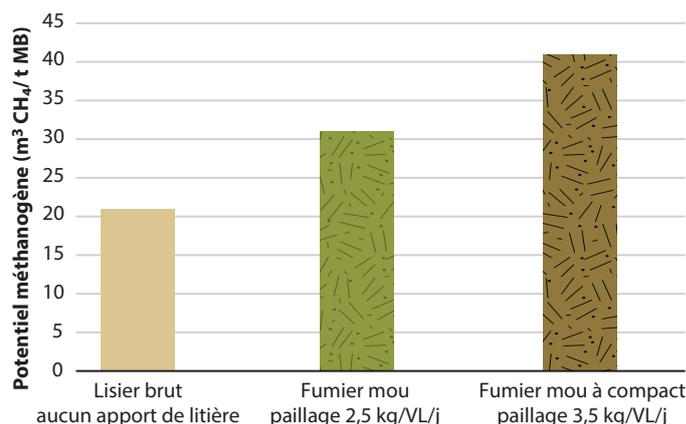
Les prélèvements des FM et FMC ont été réalisés dans 4 exploitations laitières différentes. Le tableau ci-dessous (*) présente les résultats moyens des caractérisations agronomiques et de BMP des deux catégories de fumiers de raclage retenues.

En termes de BMP, le tableau ci-dessus montre un écart entre les deux catégories de fumiers de raclage. Les FM de vaches laitières ont un BMP moins élevé que les FMC de vaches laitières (respectivement 31 et 41 m³ CH₄/t MB). Lorsqu'ils sont exprimés par rapport à la matière organique, il est constaté que les BMP sont là encore différents, mais aussi inverses : le BMP des FM des vaches laitières est plus élevé que le BMP des FMC (respectivement 291 m³ CH₄/t MO et 256 m³ CH₄/t MO).

Facteurs de variation

Le niveau de paillage, c'est-à-dire la quantité quotidienne de paille apportée par vache sur la zone de couchage, est un facteur clé de la valeur du BMP. En effet, la paille a un rapport C/N et une quantité de car-

bone élevée. Elle permet d'accroître le BMP des effluents d'élevage. Le graphique ci-dessous montre l'effet du niveau de paillage sur le potentiel méthanogène des fumiers de raclage produits dans des bâtiments pour vaches laitières. Le lisier brut (= non dilué) de vaches laitières a un BMP moyen de 21 m³ CH₄/t MB, il constitue le témoin. Un fumier mou de vaches laitières a un BMP supérieur de 33 % par rapport à un lisier brut et il est 25 % plus élevé pour le fumier mou à compact par rapport au fumier mou. Ainsi, le BMP d'un FMC est deux fois plus élevé que le BMP d'un lisier brut de vaches laitières (41 m³ contre 21 m³ CH₄/t MB respectivement). Les valeurs de BMP des FMC obtenues sont similaires au BMP des fumiers très compacts de litière accumulée FTC (38 m³ CH₄/t MB) présenté dans la fiche précédente.



Effet du niveau de paillage sur le potentiel méthanogène des fumiers de raclage

De la même manière que pour les fumiers très compacts de litière accumulée, la fraîcheur du produit est un facteur qui impacte le BMP. Il est donc souhaitable, lorsque les fumiers de raclage sont intégrés à une unité de méthanisation, de limiter le plus possible la durée de stockage en amont.

Dans le cadre de cette étude, d'autres facteurs ont été étudiés mais n'impactent pas ou que très peu le BMP des fumiers de raclage. Il s'agit notamment de l'alimentation (ration sèche majoritairement à base de maïs, ration humide majoritairement à base d'herbe) et le niveau de production laitière des vaches.

Niveau de paillage	Vaches laitières			
	Fumier mou		Fumier mou à compact	
	2,5 kg/VL/jour		3,5 kg/VL/jour	
Nombre de prélèvements	4		4	
	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type
Matière sèche	130	10	180	30
Matière organique	110	10	160	30
Carbone Organique	42	2	71	16
N Total Kjeldahl	3,5	0,4	0,6	0,2
N-NH ₄ ⁺	4,5	0,7	0,6	0,2
P ₂ O ₅	1,9	0,5	2,1	0,3
K ₂ O	3,3	0,2	5,2	1,7
Potentiels méthanogènes (BMP)				
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MB)	31	1	41	3
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MO)	291	11	256	38
BMP (m ³ CH ₄ /animal/an) (**)	521	17	689	50

* MB : matière brute – MO : matière organique ** hypothèse de production de 46 kg de Fumier Mou /UGB VL par jour de présence en stabulation logettes fumier, soit 16,8 t/an

3. Lisiers de bovins

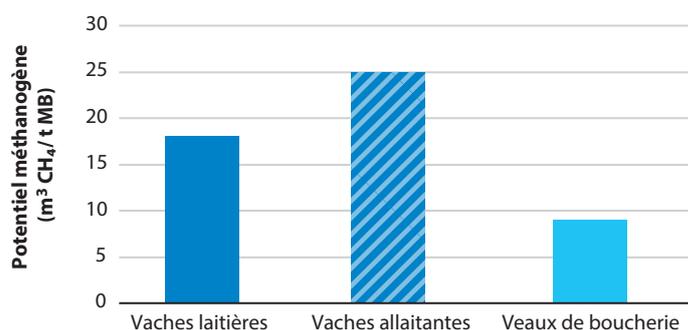
Caractéristiques

Les lisiers des bovins représentent 20 % du gisement national des déjections bovines. Ils sont produits dans les stabulations logettes, dans les systèmes caillebotis et les aires d'exercice raclées des stabulations à aires paillées lorsqu'un muret sépare l'aire raclée de la zone de couchage.

Cette fiche vise à présenter les caractéristiques des lisiers bruts, c'est-à-dire non dilué par des eaux de pluie ou de lavage, des vaches laitières et des vaches allaitantes et le lisier dilué des veaux de boucherie.

Le lisier de veaux de boucherie est très liquide, avec une teneur en matière sèche très réduite, de l'ordre de 3 % en moyenne pour les échantillons analysés. L'alimentation des jeunes veaux est en effet majoritairement sous forme liquide : de l'eau est ajouté à la poudre lactée pour reconstituer la buvée. A cela s'ajoute le lavage des installations entre deux bandes. En comparaison, les lisiers des bovins adultes ont des teneurs en matière sèche bien plus élevées : 9,5 % pour les vaches laitières et 12 % pour les vaches allaitantes. La légère différence observée entre les vaches laitières et les vaches allaitantes peut être due à l'alimentation plus sèche des vaches allaitantes.

Les prélèvements des lisiers ont été réalisés dans 6 sites différents et pour 3 catégories d'animaux. Le tableau ci-dessous (*) présente les résultats moyens des caractérisations agronomiques et de BMP pour les différentes catégories animales.



Effet de la catégorie animale sur le potentiel méthanogène des lisiers de bovins

Il est observé des différences de BMP assez élevées entre les différentes catégories animales. Le lisier dilué de veaux de boucherie présente le BMP le plus bas (9 m³ CH₄/ t MB) et les vaches allaitantes le plus haut de l'échantillon (25 m³ CH₄/ t MB, comparable à un FTC après 1,5 mois de stockage). En revanche, si l'on exprime les BMP par rapport à la teneur en matière organique des effluents analysés, les lisiers de vaches laitières et de vaches allaitantes sont proches (respectivement 234 et 246 m³ CH₄/ t MO) et bien en dessous du BMP du lisier de veaux de boucherie de 463 m³ CH₄/ t MO.

Nombre de prélèvements	Vaches laitières		Vaches allaitantes		Veaux de boucherie	
	14		3		2	
	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type
Matière sèche	95	25	120	18	30	-
Matière organique	78	22	100	16	20	-
Carbone Organique	34	9	43	5	8	-
N Total Kjeldahl	3,3	1,0	3,7	0,6	2,9	-
N-NH₄⁺	0,6	0,3	0,3	0,1	1,6	-
P₂O₅	1,6	0,7	1,8	0,3	0,5	-
K₂O	3,4	1,7	3,7	0,8	2,9	-
Potentiels méthanogènes (BMP)						
BMP moyen (m³ CH₄/ t MB)	18	7	25	4	9	-
BMP moyen (m³ CH₄/ t MO)	234	90	246	6	463	-
BMP (m³ CH₄/animal/an) (**)						-

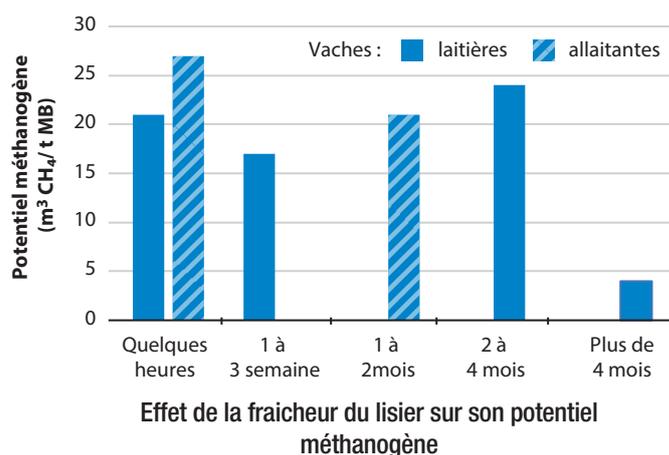
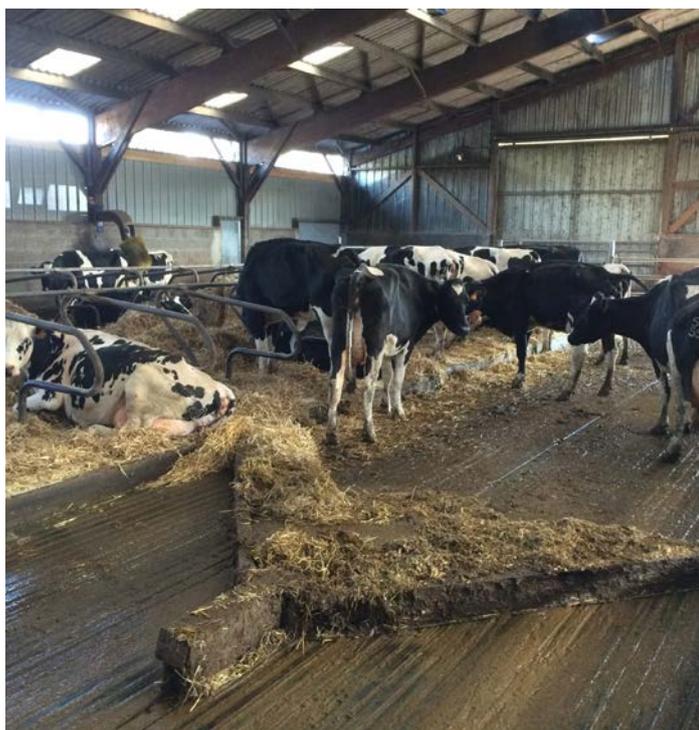
* En dessous de 3 valeurs, les écart-types ne sont pas présentés – MB : matière brute – MO : matière organique

** hypothèse de production de 60 litres de lisier /UGB VL par jour de présence en stabulation logettes lisier, soit, VL : 21,9 m3/an, VA : 17,5 m3/an et Veaux : 3,7 m3/an



Facteurs de variation

Entre un lisier fraîchement excrété et un lisier âgé de deux semaines environ, la baisse de BMP observée est déjà de près de 10 % (respectivement 18 et 21 m³ CH₄/ t MB). La perte la plus élevée s'observe pour un lisier stocké en fosse pendant plus de 4 mois et dilué par les eaux de pluie : le BMP n'est plus que de 4 m³ CH₄/ t MB, soit une valeur inférieure à celle d'un lisier dilué de veaux de boucherie. De même pour les lisiers de vaches allaitantes, après 1,5 mois de stockage, la perte de BMP s'élève à plus de 20 % avec un BMP respectivement de 27 et 21 m³ CH₄/ t MB.



L'évacuation quotidienne des lisiers en dehors du bâtiment, et leur méthanisation, permet de préserver le BMP des intrants et d'optimiser la production de biogaz. Les systèmes de gestion des effluents associés à des racleurs mécaniques sont ainsi bien appropriés. En revanche, les systèmes caillebotis où le lisier est stocké en fosses profondes pendant plusieurs mois sont moins pertinents pour le bon fonctionnement d'une installation de méthanisation, notamment pour les petites unités où les déjections animales peuvent représenter plus de 90 % des intrants.

4. Lisiers de porc

Caractéristiques

Plus de 90 % des porcs sont élevés sur caillebotis. La fraction restante est essentiellement constituée de porcs sur litière et une autre, très marginale, en plein air (les truies davantage que les autres stades physiologiques). Les effluents porcins sont donc très majoritairement produits sous forme de lisier. Trois stades physiologiques sont distingués : les truies, les porcs charcutiers et les porcelets en post-sevrage. Les lisiers de truie représentent environ 30 % du lisier produit par un élevage naisseur-engraisseur total. Ils sont peu concentrés en éléments fertilisants car leur abreuvement est encouragé (pour réduire les risques d'infection urinaire et favoriser la production laitière des truies en maternité) et le lavage des équipements entre deux bandes est également très impactant (notamment en maternité). Les consommations d'eau des porcs charcutiers et des porcelets en post sevrage sont un peu plus maîtrisées. Il en résulte des teneurs en matières sèches plus élevées que pour les lisiers de truie. Dans le cadre de ce projet, il est observé un contraste assez élevé entre le lisier de porcelets (9,1 % de matières sèches) et le lisier de porc charcutier (5,3 % de matière sèche). Sur un nombre de données beaucoup plus élevé, la brochure du RMT Elevage et Environnement (Levasseur et al, 2019) mentionne des teneurs en matières sèches de l'ordre de 6,7-6,8 % pour des lisiers sous caillebotis de ces deux catégories d'animaux. Compte de la dilution par les eaux de lavage et les eaux de pluie sur les ouvrages non couverts, la teneur en matières sèches des lisiers de porc charcutier et de porcelet en post-sevrage devrait converger vers 5 % environ. Cela dit, il demeurera toujours une grande variabilité entre élevage selon le niveau de maîtrise des flux d'eau. Les teneurs des autres éléments (matières organiques, azote, phosphore et potassium) sont à adapter en conséquence puisque la dilution est le premier facteur de variation.



Les prélèvements des lisiers ont été réalisés dans 2 sites différents et pour les 3 catégories d'animaux. Le tableau ci-dessous présente les résultats moyens des caractérisations agronomiques et de BMP pour les différentes catégories animales.

En termes de BMP, le tableau ci-dessus montre des écarts notables de valeurs entre stades physiologiques. Les lisiers de post-sevrage ont un BMP plus élevé que les lisiers de porcs charcutiers (moyennes et écarts-types respectivement de 28 ± 10 vs. 12 ± 4 Nm³ CH₄/t MB), à fortiori par rapport au lisier de truies (4 ± 2 Nm³ CH₄/t MB). La hiérarchie des BMP exprimés par rapport à la matière organique est similaire mais les différences sont en proportion moins contrastées. Les BMP pour les lisiers de porcelets, porcs charcutiers et truies sont respectivement de 390, 359 et 151 Nm³ CH₄/t MO. Sur cette base de comparaison, au moins trois hypothèses sont envisageables pour expliquer ces différences : (1) la durée de stockage des déjections, bien plus courte en post-sevrage que pour les deux autres stades physiologique, (2) le nettoyage ou non des fonds de fosse entre deux vidanges (effet ensemencement) et, (3) l'aptitude des porcs à digérer les nutriments, les truies ayant une aptitude à digérer certaines matières celluloseuses que n'ont pas les porcs charcutiers et à fortiori les porcelets.

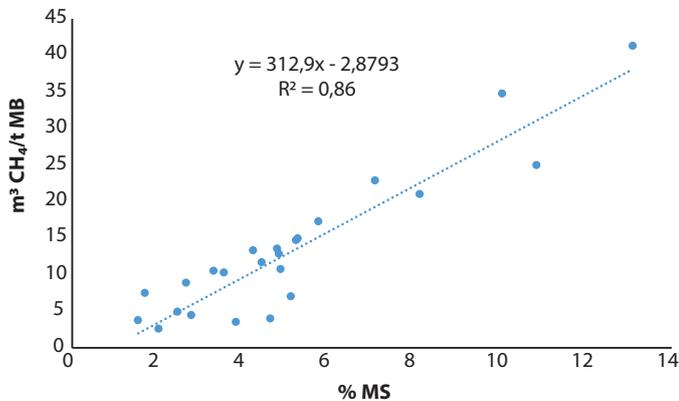
Lisier :	Post-sevrage		Porc charcutier		Truie	
Nombres de prélèvement	2		17 *		4	
Critères de production et stockage du lisier	Prélèvement sous caillebotis à l'issu des 7 semaines de post-sevrage		Prélèvement sous caillebotis ou lors de la vidange des pré-fosses à l'issu de la phase d'engraissement		Prélèvement en pré-fosse, sous les truies gestantes (lisier accumulé plus de 2 mois)	
	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type
Matière sèche	91	-	53	30	41	10
Matière organique	70	-	40	23	30	8
Carbone Organique	32	-	20	12	13	3
N total Kjeldahl	8,1	-	3,8	1,7	3,0	0,9
N-NH ₄ ⁺	3,0	-	1,5	0,5	1,3	0,3
P ₂ O ₅	3,4	-	2,1	1,3	2,8	1,0
K ₂ O	6,8	-	2,6	1,2	2,3	0,6
Potentiels méthanogènes (BMP)**						
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MB)	28	-	12	4	4,5	1,6
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MO)	390	-	359	55	151	49
BMP (m ³ CH ₄ /place/an)	16	-	17	5,8	28	10

* n = 6 pour les BMP des porcs charcutiers

** MB : matière brute – MO : matière organique - Post sevrage : rotation de 6,5 et 90 l lisier/porcelet produit – Porc charcutier : rotation de 3 et 480 l lisier/porc produit – Truie : 6,2 m³ lisier/truie présente/an

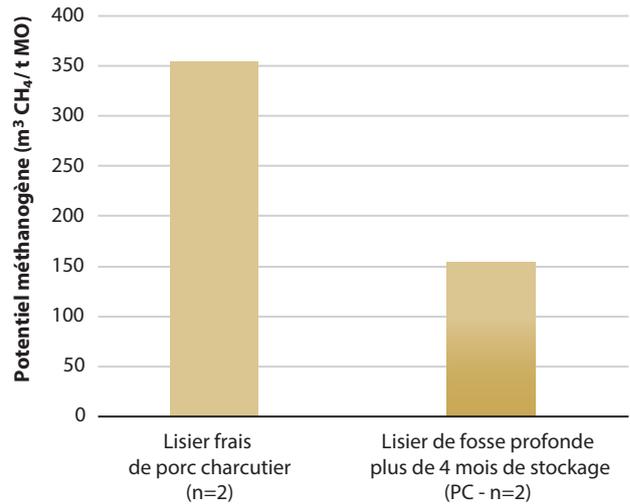
Facteur de variation

La dilution est le premier facteur de variation de la composition du lisier en éléments fertilisants mais aussi de son BMP exprimé sur la matière brute. La figure ci-dessous montre le lien entre le BMP (sur matière brute) et la teneur en matière sèche. Cette dernière explique 86 % de la variabilité du BMP au sein des lisiers d'où l'importance de maîtriser les flux d'eau.



Corrélation entre le potentiel méthanogène (exprimé sur la matière brute) et la teneur en matière sèche

Outre la dilution, bien d'autres facteurs impactent leur composition (Levasseur et al, 2019) : l'alimentation, la catégorie d'animal, le mode de logement... Certains facteurs sont toutefois dépendant les uns des autres, les différentes catégories d'animaux étant en effet assez souvent caractérisées par une alimentation et un logement spécifique.



Effet de la durée de stockage sur la perte de potentiel méthanogène (en m³ CH₄/t MO)

L'état de fraîcheur des effluents porcins est un critère qui impact également leur BMP. La figure ci-dessus montre ainsi une perte de 57 % du BMP (rapporté à la matière organique) pour du lisier de porc charcutier (respectivement 355 et 154 Nm³ CH₄/t MO) entre un état frais et un stockage de plusieurs mois en fosse profonde. Lorsqu'un lisier est stocké en fosse profonde, outre la durée de stockage, il y a un effet ensemencement en bactéries responsables de la méthanisation, ce mode de stockage conservant généralement un fond de fosse difficilement vidangeable.

5. Fumier de porc

Caractéristiques

A l'échelle de la France métropolitaine, la production annuelle de fumiers porcins est minoritaire par rapport à la production de lisier, respectivement 640 000 tonnes contre 18 millions de m³ environ. La production de fumier peut être de type « accumulée » ou « raclée ». Le fumier accumulé se caractérise par un apport conséquent de litière à l'arrivée des porcs et des compléments d'apports plus ou moins espacés dans le temps, le curage n'ayant lieu qu'au départ des porcs. Ce mode de gestion des litières est bien plus fréquemment que la litière raclée. Pour cette dernière, le paillage et le curage est généralement effectué quotidiennement. Que ce soit pour de la litière accumulée ou raclée, la paille est le substrat lignocellulosique le plus employé en comparaison des litières de copeaux ou sciure. Les résultats du tableau ci-dessous présentent la composition physico-chimique et le BMP de litières accumulées pour les 3 stades physiologiques (porcelets, porcs charcutiers et truies gestantes) et d'une litière raclée pour les truies gestantes uniquement.

Les prélèvements ont eu lieu dans 2 stations expérimentales et un élevage de production d'afin d'obtenir cette diversité d'effluent. Les fumiers porcins étant de compositions très hétérogènes, chaque lot a fait l'objet de deux prélèvements distincts afin de sécuriser la représentativité des échantillons obtenus.

Les fumiers de truie, qu'ils soient raclés ou accumulés ont des teneurs en matières sèches (respectivement 20,5 et 21,9 %) inférieures à celle des fumiers accumulés de porc charcutier (28,9 %) et de porcelets en post sevrage (31 %). Contrairement aux lisiers, cette hiérarchie ne se retrouve pas nécessairement au niveau des autres éléments fertilisants.



Une teneur élevée en matières sèches peut s'expliquer par une proportion de paille élevée en comparaison de l'apport de déjection. La teneur élevée en potassium de la litière accumulée de porcelet et des porcs charcutiers (respectivement 10,3 et 11,3 g K₂O/kg MB) par rapport aux fumiers accumulés et raclés de truie (respectivement 7,2 et 5,3 g K₂O/kg MB) illustre ce propos car la paille est fortement pourvue en cet élément.

Les BMP des fumiers accumulés et raclés de truie sont comparables (respectivement 47 et 50 m³ CH₄/t MB). Ils sont moins élevés que les fumiers accumulés de porc charcutier et surtout de porcelet (respectivement 59 et 67 m³ CH₄/t MB). Cela dit, les différences de BMP observées entre fumiers accumulés sont dues aux différences de teneurs en matières sèches et organiques puisqu'ils sont similaires lorsqu'ils d'expriment par rapport à la matière organique (valeurs comprises entre 240 et 246 m³ CH₄/t MO).

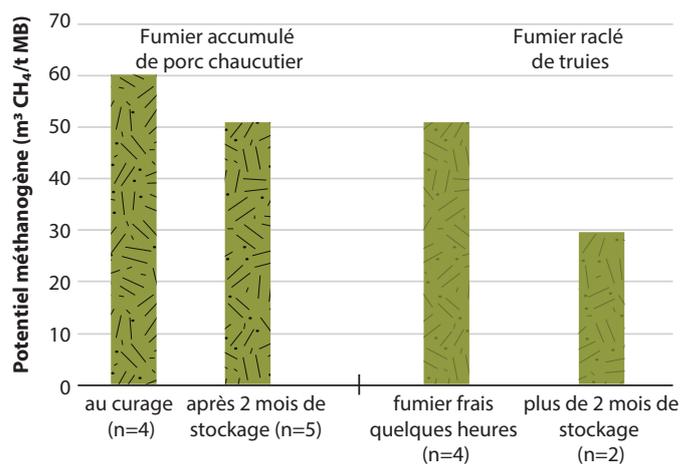
Elevages :	Station expérimentale Romillé (35)				Station expérimentale Crécom (22)		Elevage de production (22)	
Nature effluent	Fumiers accumulés						Fumier raclé	
Critères de production et de stockage	Prélèvement au curage à l'issu de 7 semaines de post-sevrage		Prélèvement au curage à l'issu de 110 jours d'engraissement		Fumier accumulé en cours de gestation truies en groupe		Produit échantillonné lors d'un raclage (quotidien)	
Nombre de prélèvement	Post-sevrage (n = 2)		Porc charcutier (n = 4)		Truie gestante (n = 3 [F. acc.] ; n = 4 [F. raclé])			
	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type
Matière sèche	310	-	289	18	219	6	205	10
Matière organique	275	-	248	14	193	11	174	10
Carbone Organique	122	-	111	8,6	79	6	72	4
N total Kjeldahl	6,8	-	7,8	1,3	5,1	0,6	6,1	1,2
N-NH ₄ ⁺	1,8	-	1,95	0,9	0,5	0,2	0,9	0,5
P ₂ O ₅	4,0	-	3,6	0,4	3,7	2,1	6,7	2,7
K ₂ O	10,3	-	11,3	1,4	7,2	1,8	5,3	0,8
Potentiels méthanogènes (BMP) *								
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MB)	67	-	59	4	47	2	50	3
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MO)	245	-	240	15	246	13	286	32
BMP (m ³ CH ₄ /place/an)*	15,7	-	42,5	2,9	103	4	ND	

* MB : matière brute – MO : matière organique – ND : non déterminé par manque de données - Post sevrage : rotation de 6,5 et 36 kg fumier/porcelet produit – Porc charcutier : rotation de 3 et 240 kg fumier/porc produit (Levasseur, 2005) – Truie : 2,2 t fumier/place truie gestante en système réfectoire+courette/an (Paboeuf, 2012)

Facteurs de variation

Après une période de stockage de 2 à 3 mois (selon les échantillons), le BMP baisse pour toutes les catégories de fumier suivis, et cela, qu'il s'exprime par rapport à la MB ou la MO. Le graphique ci-dessous illustre ces propos pour le fumier accumulé de porc charcutier et le fumier raclé de truie. Après stockage, le BMP sur MB d'un fumier accumulé de porc charcutier diminue de 15 % (30 % relativement à la MO), soit de 59 à 50 m³ CH₄/t MB. Le BMP sur MB du fumier accumulé de truies diminue de 31 % (16 % relativement à la MO), soit de 48 à 33 m³ CH₄/t MB. La perte de BMP sur MB du fumier raclé de truie est plus élevée puisqu'elle diminue de 41 % (40 % relativement à la MO), soit de 50 à 29 m³ CH₄/t MB. L'état de fraîcheur de ces deux catégories de fumiers « frais » (accumulé vs. raclé) ne sont toutefois pas comparables. Le fumier raclé quotidiennement a conservé tout son BMP alors que le fumier accumulé a déjà subi une dégradation par fermentation aérobie sous les animaux, le prélèvement ayant eu lieu au curage, lors du départ des animaux.

Dans la fiche concernant les lisiers porcins, il a été montré une forte corrélation entre la teneur en matières sèches et le BMP ($R^2 = 0,92$). Pour l'ensemble des fumiers, il n'est pas retrouvé une telle corrélation ($R^2 = 0,38$).



Effet de la durée de stockage et du mode de production du fumier (raclé, accumulé) sur son potentiel méthanogène

6. Fumiers de poulet de chair sortie de bâtiment

Caractéristiques

Cette fiche présente les caractéristiques des fumiers (mélange de fientes et de litière) issus de production de poulet de chair standard, sans accès au parcours. La production de volaille de chair sur litière, hors palmipèdes gras, concerne près de 6 500 élevages en France, soit environ 60 % des élevages nationaux. Pour cette filière, un substrat de litière (paille broyée, copeaux de bois...) est apporté avant l'arrivée des poussins d'un jour. Afin de conserver une litière sèche (environ 60 % de matières sèches) et friable, garante du bien être des volailles et de bonnes performances techniques, des paillages intermédiaires peuvent être réalisés. Le bâtiment d'élevage est curé dès le départ des animaux (l'âge du fumier est décompté à partir de ce moment). La durée des bandes est très hétérogène d'une espèce/production à l'autre. Un poulet standard sera ainsi élevé durant 40 jours contre 130 jours pour les dindes. Il en résultera un nombre de bande spécifique.

La campagne de prélèvement a pris en compte plusieurs critères potentiellement impactant la composition et le BMP des effluents : la saison (période chaude/ froide), le type de sol (béton/ terre battue) et le type de litière (copeaux de bois, mélange paille broyée/copeaux et fine de copeaux). Pour chaque prélèvement, la quantité de litière a été notée. Les résultats obtenus sont représentatifs de la diversité des situations rencontrées en élevage. Les valeurs spécifiques sont à retrouver dans la BDD présenté au début de cette partie.

Les fumiers ont été prélevés eu bâtiment dans les 24 h suivant le départ des animaux (= fumier frais). Les prélèvements ont été systématique-



ment réalisés en double compte tenu de l'hétérogénéité de la litière. Le comparatif entre les types de sols et les périodes a été réalisé dans deux bâtiments distincts mais appartenant à la même exploitation. Pour les litières se sont les résultats de trois exploitations différentes qui sont présentés.

Les résultats de caractérisation agronomique des fumiers et de leur BMP sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Pour les fumiers frais, les taux MS et de MO moyens sont légèrement inférieurs (-4 et -3 %) aux références de l'ITAVI (Levasseur et al., 2019) mais restent très cohérents. Concernant la composition chimique, une valeur plus élevée de 20 % est observés pour l'azote et une valeur plus réduite de 9 % pour le phosphore sont observés.

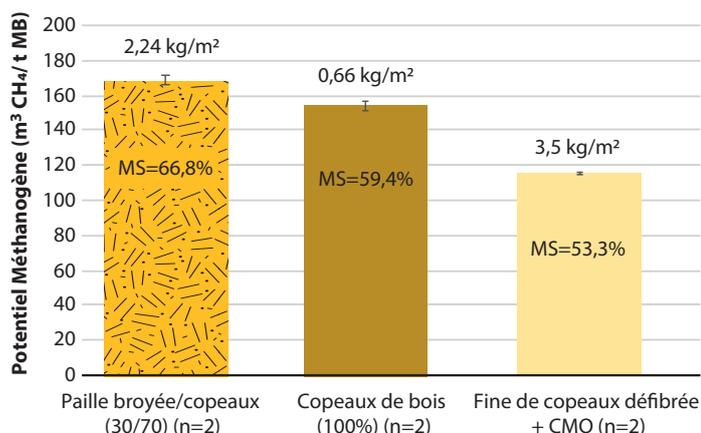
Fumiers prélevés en fin de lot (après le départ des animaux) *						
Département	35		22		85	
Nombre de prélèvement	8 (2 par période et par type de sol)		2		2	
Type de sol (nombre de prélèvement)	Terre battue (4)/ Béton (4)		Béton		Béton	
Période (nombre de prélèvement)	Chaude (4)/ Froide (4)		Chaude		Chaude	
Densité animale au m ²	22		22		18	
Quantité litière (kg) au m ² de bâtiment	3,55/2,24		0,66		3,5	
Macro-éléments	Fumier sur litière mélange paille-copeaux		Fumier sur litière copeaux		Fumier sur litière fine de copeaux	
	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type	Moyenne (g/kg brut)	Ecart Type
Matière sèche	612	6	594	-	533	-
Matière organique	527	7	489	-	424	-
Carbone Organique	215	30	222	-	193	-
N total Kjeldahl	27,7	2,2	27,5	-	20,6	-
N-NH ₄ ⁺	2,5	0,8	2,9	-	2,7	-
P ₂ O ₅	14,4	1,4	9,4	-	13,4	-
K ₂ O	23,9	2,9	18,7	-	14,2	-
Potentiels méthanogènes (BMP)						
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MB)	166	17	154	-	115	-
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MO)	316	23	315	-	270	-
BMP (l CH ₄ /animal/bande)**	291	30	270	-	246	-

* En dessous de 3 valeurs, les écart-types ne sont pas présentés – MB : matière brute – MO : matière organique

** Hypothèse : d'une production de 38,5 kg de fumier par m² et par bande

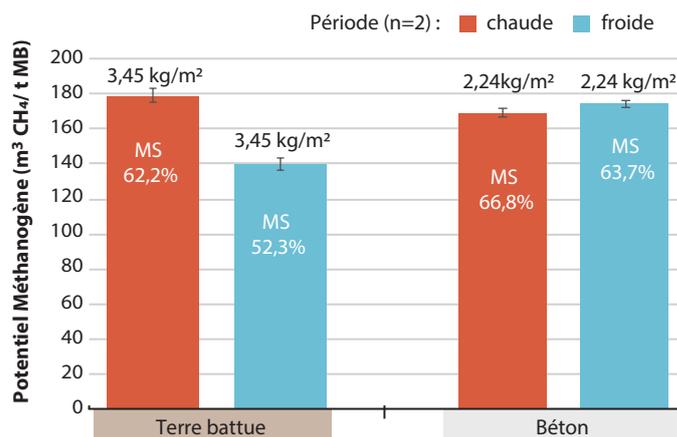
Facteurs de variation

La figure ci-dessous rapporte les effets du matériau de la litière sur le BMP (exprimé sur la matière brute) *.



*CMO : complexe de micro-organisme

La nature de la litière présente une incidence sur le BMP du fumier en fin de lot. Sur un sol béton et en période chaude, le mélange paille-copeaux présente un taux de MS et un BMP supérieur aux autres substrats (entre + 7 et + 31 % pour respectivement le copeau et la fine de copeaux pour le BMP exprimé sur la MB). A l'inverse, les plus faibles teneurs sont observées avec la fine de copeaux. Pour ces échantillons, la densité animale était réduite ce qui peut, pour partie, expliquer les écarts observés. Une hypothèse complémentaire peut être la présentation de ce substrat qui est plus accessible aux micro-organismes décomposeurs comparé aux autres. Il n'est pas exclu que les processus de biodégradation s'opérant dans cette litière soit supérieure et se traduisent donc par un BMP inférieure.



Effet de la période et du type de sol sur le BMP

L'incidence du type de sol sur le BMP est assez limitée puisque pour un sol béton, il est de 172 +/- 5 contre 160 +/- 23 m³ CH₄/t MB pour un sol en terre battue. Concernant ce dernier type de sol, la plus grande variabilité observée (+/- 23 m³ CH₄/t MB) s'explique davantage par un effet saison. En période froide, l'humidité de la litière sur un sol en terre battue est beaucoup plus élevée, favorisant la dégradation de cette dernière et donc la perte de BMP. A contrario, sur sol béton, le BMP de la litière semble être plus stable d'une période à l'autre. Avec un taux de MS supérieure à 60 %, les processus de biodégradation sont plus limités.

7. Fumiers de poulet de chair au stockage

Caractéristiques

Cette fiche vient en complément de la précédente concernant les fumiers de poulet de chair en sortie de bâtiment. Afin de suivre l'incidence du stockage et de la période (chaude/ froide) sur la perte de BMP, deux séries de prélèvements ont été réalisées après 21 et 42 jours de mise en tas des fumiers.

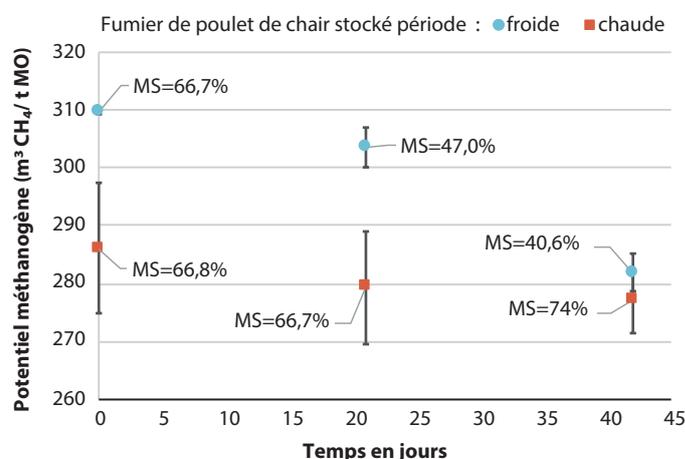
Les fumiers stockés étaient disposés sur une dalle béton non couverte. En pratique, la plupart d'entre eux sont stockés à l'air libre en bout de champs. Les suivis ont été réalisés au sein de la même exploitation et sur deux lots distincts. Les prélèvements ont été réalisés au tas, en veillant à prélever des sous-échantillons à différentes hauteurs et profondeurs de l'andain et sur toute leur longueur.

Le tableau ci-dessous (*) présente les résultats moyens des caractéristiques agronomiques et de BMP des différents fumiers après 21 et 42 jours de stockage. Les prélèvements ont été effectués en Ille et Vilaine, en période chaude et froide.

En période chaude, le fumier stocké devient de plus en plus sec ce qui traduit une forte perte en eau par évaporation. Les macro-éléments ont ainsi tendance à se concentrer dans le fumier. La période froide induit le processus inverse, le fumier reprend de l'eau compte tenu de son exposition à des précipitations. Les concentrations en macro-éléments sont donc moins élevées. Compte tenu de ces variations de bilan hydrique, l'expression des BMP relativement à la matière organique est à privilégier.

Facteurs de variation

L'effet de la saison sur la perte de BMP au cours de 42 jours de stockage est présenté dans le graphique ci-contre. La perte de BMP est respectivement de 9 et 3 % sur les périodes froides et chaudes. Les différences de pertes s'expliquent par le taux de matière sèche qui atteint plus de 70 % en période chaude et limite très certainement les processus biologiques de dégradation de la matière organique. Le coefficient de



Effet de la saison au cours du stockage sur le BMP

régression linéaire est respectivement de - 666 et - 215 L de méthane par kg de MO et par jour de stockage pour les périodes froide et chaude ($R^2 = 0,91$). La perte de BMP est ainsi trois fois plus élevée en période froide. Éviter la reprise en humidité des fumiers avicoles au stockage semble donc être un bon levier pour conserver son BMP.

Les pertes de BMP observées (de 9 et 3 %) ne correspondent pas forcément à des pertes directes de méthane. Au cours du stockage, des processus de dégradation aérobie ont aussi lieu. Le carbone est alors également perdu sous forme de dioxyde de carbone, pas seulement en méthane.

Macro-éléments	Période chaude			Période froide		
	Sortie Bâtiment (n=2)	Après 21 j de stockage (n=2)	Après 42 j de stockage (n=2)	Sortie Bâtiment (n=2)	Après 21 j de stockage (n=2)	Après 42 j de stockage (n=2)
	Moyennes (g/kg brut)					
Matière sèche	668	667	740	637	470	406
Matière organique	592	539	600	563	402	331
Carbone Organique	243	227	255	236	170	156
N total Kjeldahl	30,2	30,1	34,2	28,1	22,2	20,0
N-NH ₄ ⁺	1,45	3,06	3,93	2,72	3,16	3,76
P ₂ O ₅	14,7	16,6	18,4	9,19	11,6	9,02
K ₂ O	23,8	24,7	26,4	12,2	19,0	17,8
	Potentiels méthano-gènes (BMP)					
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MB)	169	150	166	174	122	93
BMP moyen (m ³ CH ₄ / t MO)	286	279	277	310	303	282
BMP (l CH ₄ /animal produit/bande)**	296	263	291	305	214	163

* En dessous de 3 valeurs, les écart-types ne sont pas présentés – MB : matière brute – MO : matière organique

**Hypothèse : d'une production de 38,5 kg de fumier par m² par bande

8. Lisiers de canards à rôtir

Caractéristiques

Cette fiche vise à caractériser les lisiers de canards à rôtir élevés sur caillebotis. En France, il est dénombré environ 500 bâtiments d'élevage de canard à rôtir, soit environ 7 % du parc de production de volailles de chair. Bien que le gisement d'effluent soit moindre comparé aux élevages sur litière, le lisier est plus facilement incorporable dans les méthaniseurs que les fumiers. Le raclage, ou à défaut la vidange par voie gravitaire de la fosse sous les caillebotis, est devenu plus fréquent. Les lisiers sont ensuite stockés dans une fosse couverte ou non.

Les critères pris en compte dans le panel d'échantillonnage sont : l'âge des animaux (prélèvement à mi-lot, à 40 jours et en fin de lot, à 80 jours) et l'état de fraîcheur (lisiers frais vs. stockage de 120-140 jours). Des prélèvements dans des fosses couvertes ou non ont pu être réalisés sur un même élevage sans observer de différences notables sur le BMP. Que le lisier soit frais ou stocké, les prélèvements ont été systématiquement réalisés en double.

Les prélèvements ont été réalisés en Vendée et en période hivernale. Les lisiers frais ont été prélevés à la sortie du bâtiment d'élevage. En outre, une série de prélèvements intermédiaires a été réalisée en cours de vidange/raclage (la concentration en matières sèches du lisier envoyé vers l'unité de stockage n'étant pas forcément homogène) pour être remélangés et constituer un échantillon unique final. Au stockage, les prélèvements ont été réalisés après une homogénéisation de la fosse durant 15 à 30 min. De la même manière que sur les lisiers frais, des prélèvements intermédiaires ont été faits pour avoir un maillage de la surface et de la profondeur des ouvrages. Le tableau ci-dessous présente les résultats moyens des caractéristiques agronomiques et de BMP des lisiers frais (à mi bande et en fin de lot) et stockés (avec ou sans couverture).



La composition chimique des lisiers frais (MS, MO, NTK, NH_4^+ , P_2O_5 et K_2O) est comparable, à plus ou moins 10 %, aux références de l'ITAVI (Levasseur et al., 2019). Pour les lisiers stockés, les valeurs mentionnées ci-dessus sont très inférieures aux références de l'ITAVI, vraisemblablement sous l'effet d'une plus grande dilution par les eaux de pluie et/ou de lavage. Un écart relatif compris entre 7 et 35 % peut être observé selon les paramètres considérés. Les concentrations les plus élevées sont logiquement rencontrées dans la fosse de stockage couverte. La teneur en matières sèches (contenant principalement la matière organique) des lisiers est l'un des paramètres ayant également le plus d'impact sur le BMP.

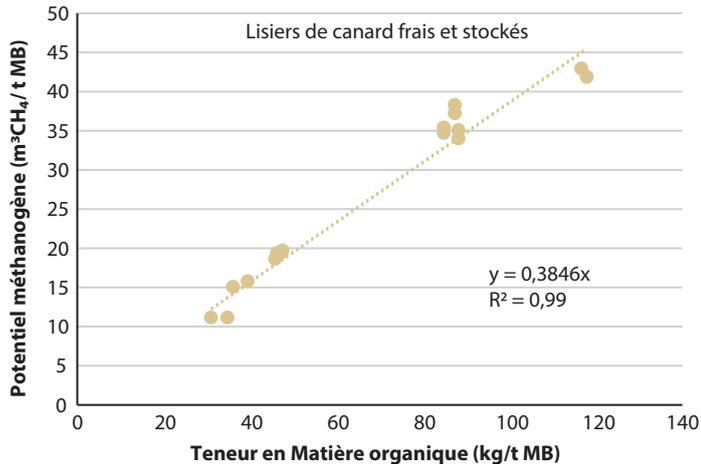
Macro-éléments	Lisiers frais de canards à rôtir				Lisiers stockés de canards à rôtir			
	A mi-bande 40 j (n=4)		Fin de bande, 80 j (n=4)		Lisier stocké avec une couverture (n=4)		Lisier stocké sans couverture (n=4)	
	Moyenne (g/kg brut)	E.T	Moyenne (g/kg brut)	E.T.	Moyenne (g/kg brut)	E.T.	Moyenne (g/kg brut)	E.T.
Matière sèche	123	9	106	0	53	0	48	0
Matière organique	103	9	87	1	43	0	40	0
Carbone Organique	45	5	37	0	18	1	16	2
N total Kjeldahl	7,9	0,5	6,6	0,1	3,9	0	3,4	0,4
N- NH_4^+	2,7	0,1	2,5	0,1	1,8	0	1,4	0,3
P_2O_5	4,1	0,5	3,0	0,3	1,5	0	1,3	0,2
K_2O	4,6	0,3	3,8	0,1	2,1	0	1,4	0,3
Potentiels méthanogènes (BMP) *								
BMP moyen ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t MB}$)	40	1	34	0	17	1	14	2
BMP moyen ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t MO}$)	389	20	395	6	396	4	303	3
BMP ($\text{l CH}_4/\text{animal}/\text{bande}$)**	667	23	577	5	287	20	182	38

* MB : matière brute – MO : matière organique - E.T. : Ecart Type

** Hypothèses : production de 17,2 l de lisier frais/ canard - 26,2 l de lisier stocké/ animal - densité du lisier : 1,02

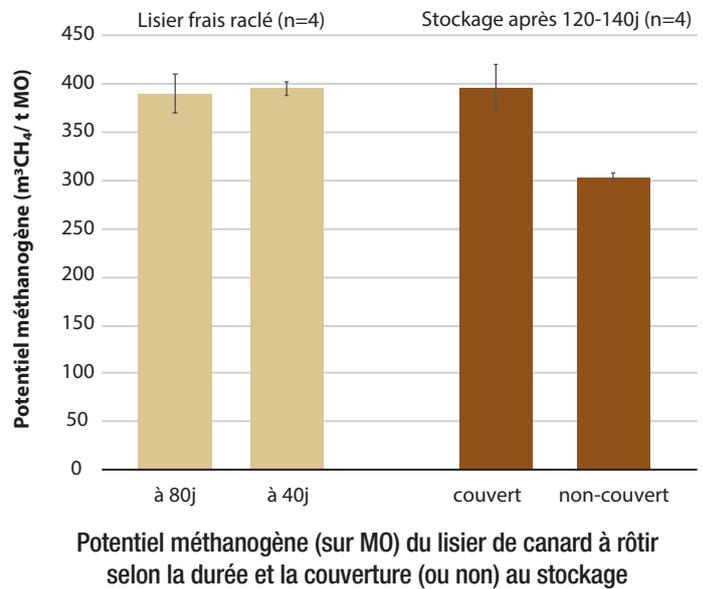
Facteurs de variation

Le BMP des lisiers est surtout tributaire des taux de matières sèches et organiques. Une teneur élevée est donc à favoriser par la mise en place d'une couverture de fosse, la séparation des eaux de lavage... Le graphique ci-dessous montre qu'un kilogramme de matière organique contenu dans un lisier de canard à rôtir correspond à environ 385 l de méthane (quel que soit l'âge des palmipèdes qui le produit, la durée et les conditions de stockage). Les lisiers frais disposent de plus de MO, ils sont donc ceux qui disposent du BMP le plus élevé (+ 57 % exprimé par rapport à la MB, comparé aux lisiers stockés entre 120 et 140 j). La couverture au stockage contribue dans une moindre mesure à conserver la MO et donc à un meilleur BMP (+ 17,6 % de BMP exprimé par rapport à la MB).



Potentiel méthanogène (sur MB) du lisier de canard à rôtir selon sa teneur en matière organique

A l'inverse de nombreux autres effluents, le lisier de canards à rôtir semble perdre peu de BMP lors de son stockage (surtout en fosse couverte). L'hypothèse privilégiée serait liée à son pH. Son acidité (pH = 5,9) pourrait inhiber/ limiter l'expression des flores microbiennes méthanogènes plutôt actives dans des gammes de pH de 7 à 8. Cette hypothèse reste à confirmer.



9. Fumiers de canards gras

Caractéristiques

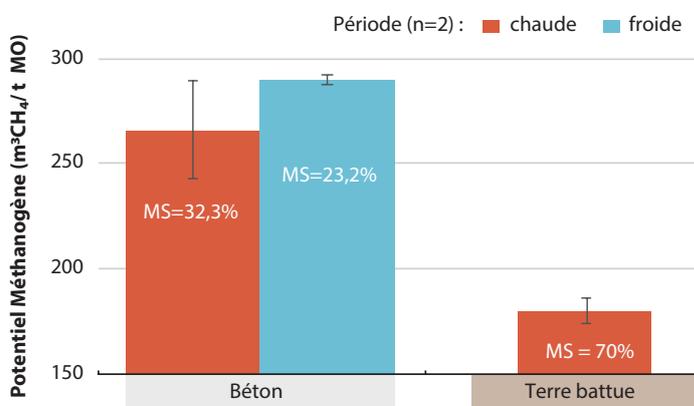
La production de canards prêts à engraisser (PAE) se déroule dans un bâtiment sur litière, généralement constituée de paille longue de 10-15 cm. Les canards disposent d'un accès à un parcours très fréquenté, notamment en période estivale. Les principaux bassins de production français sont situés dans le sud-ouest et le nord-ouest. Les typologies de bâtiment dans ces aires géographiques sont également contrastées avec respectivement des bâtiments sur sol terre battue et béton. L'incidence du type de sol et de la saison sur le BMP a été investigué via le plan d'échantillonnage. A l'instar des productions de volailles de chair sur litière, des ajouts de litières peuvent être réalisés en cours de bande. Le fumier est par la suite curé après le départ des animaux.

Des prélèvements d'échantillon ont été réalisés dans chacun de ces bassins de production, sur des périodes chaudes/ froides (pour le nord-ouest) et exclusivement en période chaude pour le bassin sud-ouest (mis à l'abri compte tenu d'une crise d'influenza aviaire). Dans tous les cas, le mode de prélèvement a été le même. Les fumiers ont été prélevés au bâtiment dans les 24 h suivant le départ des animaux, avec un protocole tenant compte de l'hétérogénéité de la litière.

Le tableau ci-dessous présente les résultats moyens des caractéristiques agronomiques et de BMP des fumiers collectés en fin de lot, à différentes périodes et sur différents modes d'élevage.

Les teneurs physico-chimiques des fumiers pour un même bâtiment sur sol béton sont très contrastées entre les périodes chaude et froide. Le fumier de période froide est plus humide. Pour certains éléments de composition, ce rajoute une dilution par l'ajout de litière lors de la mise à l'abri des animaux (ajout d'un facteur deux à dire d'éleveur). Un contraste très élevé est également observé entre les fumiers produits sur sol béton et terre battue. Pour ces derniers, la teneur en matières sèches très élevée, plus de 70 %, s'explique par une plus grande fréquentation des parcours (recevant une part de déjection importante) sur cette période. Ramenée à la matière sèche, le fumier produit sur terre battue présente des concentrations en macro-éléments bien plus réduite.

Facteurs de variation



L'incidence du type de sol et de la période (chaude/ froide) sur le BMP est présentée dans le graphique ci-contre. Concernant l'incidence de la période, il convient de rappeler que les canards ont été mis à l'abri sur la période froide, privant les animaux d'un accès au parcours. La gestion de la litière et l'ajout important de paille sont des éléments à intégrer dans l'interprétation de ces résultats. La comparaison des BMP s'est d'ailleurs plutôt faite sur la base des teneurs en matière organique et non brute. Il apparaît que le fumier sur sol béton en période froide présente le plus haut BMP bien qu'il soit le moins intéressant à transporter car très chargé en eau. L'incidence du type de sol (béton ou terre battue) sur le BMP reste à clarifier mais semble être moins influent que la mise en claustration. Dans le cas des canards prêt à engraissement, l'accès au parcours se traduit par une litière pauvre en déjection or celle-ci constitue un apport de matière organique source de potentiel méthanogène. Un taux de matières sèches élevé dans le fumier va limiter sa biodégradation et contribuer à la préservation de son BMP.

Fumiers de canards prêts à engraisser *			
Département	85		32
Densité animale au m²	5/ 10 (en période froide)		5
Accès parcours	Oui en période chaude/ Non en période froide		Oui
Type de sol, période et nombre de prélèvement	Sol béton		Sol terre battue
	Période chaude (n=2)	Période froide (n=2)	Période chaude (n=2)
	Moyenne (g/kg brut)		
Matière sèche	323	232	718
Matière organique	241	207	293
Carbone Organique	109	89	n.m
N total Kjeldahl	8,8	7,7	14,1
N-NH₄⁺	1	2,0	1,1
P₂O₅	8,3	3,9	9,4
K₂O	8,8	6,0	7,9
Potentiels méthanogènes (BMP)			
BMP moyen (m³ CH₄/ t MB)	64	60	53
BMP moyen (m³ CH₄/ t MO)	266	290	180
BMP (l CH₄/animal/bande)**	998	929	817

* MB : matière brute – MO : matière organique. n.m : non mesuré ; ** Hypothèse : Production de 15,5 kg fumier/animal/bande



10. Le flash BMP, une méthode alternative de mesure du potentiel méthanogène

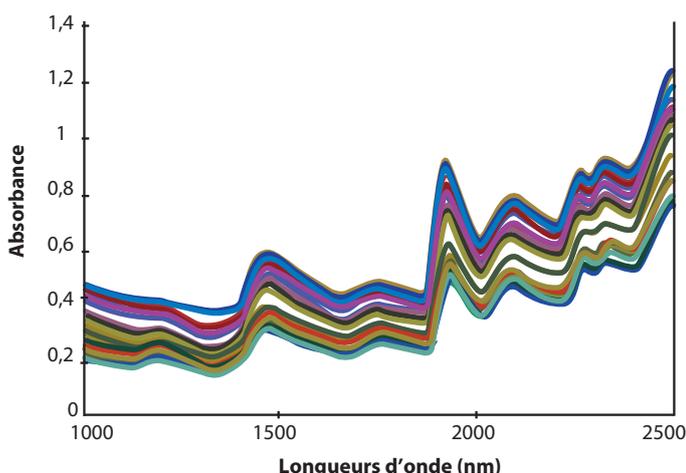
Intérêt

L'optimisation du suivi de la méthanisation et de l'expression du potentiel de production de biogaz d'un effluent peut être atteinte grâce à deux leviers : i) un suivi en ligne des indicateurs physico-chimiques de stabilité au sein du digesteur (pH, température, teneur en matières sèches et acides gras volatiles, titre alcalimétrique complet...); ii) en disposant d'une meilleure connaissance des caractéristiques physico-chimiques des intrants. Cette caractérisation peut s'appuyer sur plusieurs paramètres comme le taux de matières sèches ou organiques, de protéines, de fibres, la demande chimique en oxygène (DCO) ou encore directement le potentiel méthanogène (BMP). Ce dernier critère est en effet le plus intéressant car il fournit des éléments d'optimisation de la méthanisation en faisant le lien entre l'addition des potentiels de production de biogaz des intrants d'une installation approximant ainsi sa capacité de production effective.

Les résultats d'une analyse classique de BMP ne sont toutefois connus qu'après une trentaine de jours, dans le meilleur des cas. Ce délai d'analyse n'est pas compatible avec la logique de suivi en ligne qu'impose l'exploitation d'un méthaniseur. C'est pourquoi la recherche de méthodes d'évaluation plus rapides du BMP est souhaitable.

Principe

La spectroscopie proche infrarouge (SPIR) sur une gamme de longueur d'onde de 800 à 2500 nm, est depuis longtemps utilisée pour analyser la composition des matières organiques. Un spectre infrarouge est obtenu en faisant passer une gamme de longueurs d'onde de rayonnement infrarouge dans un échantillon et en déterminant quelle fraction du rayonnement incident est réfléchi (ou par différence absorbée). En général, il s'agit de la mesure d'absorption de différentes fréquences infrarouges par un échantillon placé dans le faisceau.



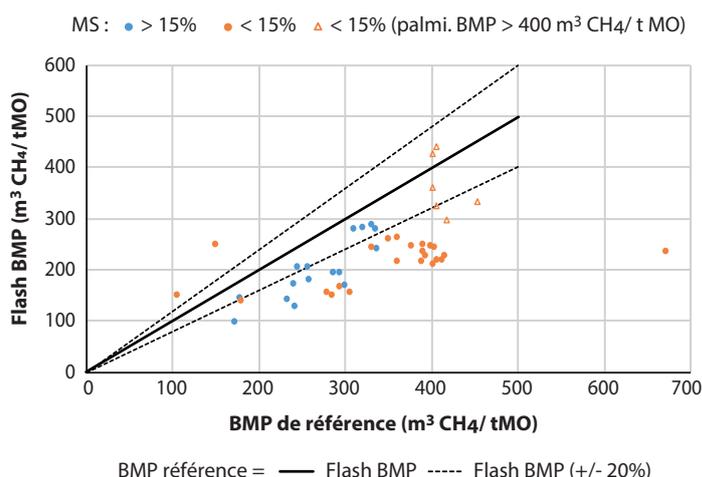
Exemple de spectres obtenus par SPIR sur des effluents d'élevage

Pour l'analyse quantitative, la relation entre l'absorption de la lumière et la concentration des substances est décrite par la loi de Beer Lambert qui relie l'atténuation d'un faisceau de lumière (l'absorbance) aux propriétés du milieu qu'il traverse et à l'épaisseur traversée. Pour traiter les résultats de cette mesure, des modèles de régression sont conçus pour extraire et prédire différentes informations de ces spectres, dont le

potentiel méthanogène. Cette prédiction comporte des étapes de calibration et de validation des modèles et implique de disposer d'une large base de données de mesure de références et de spectres associés. Ainsi, la SPIR offre les avantages d'un suivi continu et en ligne de plusieurs indicateurs avec une réponse presque instantanée car le traitement peut être automatisé. Dans le cas des matrices organiques, elle offre un bon compromis technique entre précision, facilité de mise en œuvre et coût d'analyse. En revanche elle nécessite un prétraitement des échantillons avant leur analyse qui consiste en une lyophilisation et un broyage.

Application aux effluents d'élevage

Dans le cadre du projet ABILE2, ce travail a été réalisé pour 47 échantillons d'effluents d'élevage, présentant une teneur en matières sèches comprise entre 1,7 et 59,8 %. La qualité de la relation linéaire entre les Flash BMP et les BMP de référence est présentée dans le graphique suivant.



Globalement, pour les 47 échantillons testés, le Flash BMP a tendance à sous-évaluer le BMP de référence de 28 % en moyenne. Cette erreur de prédiction est en partie due aux échantillons ayant un taux de matières sèches inférieur à 15 %. En effet, les effluents disposant d'un taux de matières sèches supérieur à 15 %, représentés en ronds bleus sur le graphique, présentent les résultats de flash BMP les plus proches des BMP de référence. Quant aux effluents disposant d'un taux de matières sèches inférieur à 15 % (triangles orange pleins sur le graphique), la précision du flash BMP diminue. Une exception demeure pour les effluents avec un taux de MS compris entre 10 et 20 % et disposant d'un BMP de référence supérieure à 400 l CH₄/kg MO. Ces effluents sont des lisiers frais de palmipèdes gras ou à rôti pour lesquels le niveau de prédiction est satisfaisant (triangles orange vides sur le graphique).

Les imprécisions de mesure par Flash BMP pour des effluents ayant une teneur en MS inférieure à 15 % peut s'expliquer par l'étape de lyophilisation qui engendrerait des pertes de substances volatiles ayant un potentiel méthanogène élevé comme les acides gras volatiles. Cette perte de matière induit systématiquement une sous-estimation du BMP des effluents très liquides.

La stabilité du potentiel méthanogène des lisiers de palmipèdes avait déjà été observée lors de leur phase de stockage (voir fiches effluents). Cette stabilité s'observe également lors de la phase de lyophilisation ce qui expliquerait la meilleure corrélation entre les flashes BMP et la méthode de référence.

En conclusion, le Flash BMP est une méthode de détermination du BMP intéressante pour des fumiers (toutes productions animales) et des lisiers frais de palmipèdes. Pour des lisiers plus dilués ou issus d'autres espèces animales, le prétraitement des échantillons (par lyophilisation) avant analyse semble engendrer un biais sur la capacité de prédiction du modèle. A ce titre, des mesures proches infra-rouge directement sur des matières humides sont en cours de développement. La levée de ce verrou technique permettrait, de renforcer la fiabilité de la mesure sur des lisiers, d'automatiser l'analyse et faciliterait un déploiement sur le terrain. A défaut, l'analyse d'autres critères comme la DCO et la teneur en matière organique, peuvent être également de bons indicateurs pour affiner la corrélation entre BMP conventionnel et mesure par SPIR.

LEVIERS D'ACTION POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DIRECTES DE GES EN ÉLEVAGE

Pendant la phase de stockage (bâtiment, ouvrage de stockage extérieur), les déjections animales subissent des pertes de GES sous forme de CH₄ et N₂O. Ce stockage est nécessaire pour pouvoir les épandre dans de bonnes conditions agronomiques. La méthanisation est le principal levier d'action pour réduire ces émissions directes de GES. Elle a 3 effets complémentaires :

- Le méthane émis est capturé puis transformé en dioxyde de carbone après combustion. Le pouvoir de réchauffement global de chaque molécule carbonée est ainsi réduit de 27 fois (IPCC, 2021).
- Le milieu clos que constitue le méthaniseur réduit également les émissions de N₂O, GES au pouvoir de réchauffement global bien plus élevé que le méthane. Si l'ouvrage de stockage du digestat est couvert, les émissions de N₂O seront également maîtrisées durant cette étape.
- La valorisation énergétique du biogaz pourra venir en substitution de l'énergie antérieurement employée (voir la rubrique rédigée à cet effet). La réduction de GES va alors dépendre de l'ampleur de la substitution et de la ressource énergétique épargnée, l'électricité d'origine française étant moins carbonée que les énergies d'origine fossile.

Pour les déjections animales de type « fumier », les émissions de GES proviennent davantage du N₂O que du méthane. Le milieu clos que

constitue le méthaniseur, bloque ces émissions par saturation du ciel gazeux. Pour des raisons pratiques, le compostage des fumiers de volaille peut toutefois être privilégié à la méthanisation ce qui a également pour effet de réduire ces émissions de N₂O.

Afin de réduire les émissions directes de GES pendant la phase de stockage en bâtiment, il est également recommandé d'évacuer fréquemment des déjections vers le méthaniseur et plus largement, de réduire les durées de stockage des déjections à l'état brut, que ce soit en bâtiment ou dans/sur un ouvrage extérieur. Les émissions de méthane non émises dans l'atmosphère pourront être plus utilement valorisées dans le méthaniseur. La fraîcheur des déjections animales et donc leur BMP s'en trouve amélioré comme cela a été décrit dans les fiches sur les déjections animales.

Le tableau 5 ci-dessous rapporte les pratiques envisageables de gestion des déjections en bâtiment (lorsque c'est possible car à défaut, aucune alternative n'est proposée) et à l'issue de celui-ci par comparaison à une situation standard (en gras) pour les situations les plus couramment rencontrées sur le terrain. Un modèle de méthanisation est proposé par défaut selon les contraintes des déjections (BMP, ampleur du gisement, taux de dilution...). Les modèles de méthanisation simulés sont

Tableau 5 : Principales méthodes de gestion des déjections animales, par catégorie d'animal, pour réduire les émissions directes de GES par comparaison aux pratiques standards (en gras)

	Catégorie	Bâtiment	Extérieur
BOVINS	Vache laitière	Logette lisier raclage 6 à 8 fois/j	Fosse non couverte
		Logette lisier raclage > 12 fois/j	Méthanisation psy + chaudière
			Méthanisation méso + cogé
		Logette fumier raclée	fumière
			Méthanisation méso + cogé
			Méthanisation collective
	Génisse	Litière accumulée (1 curage/3 sem.)	fumière/au champs
		Litière accumulée (1 curage/sem.)	Méthanisation collective
		Logette lisier raclage 6 à 8 fois/j	Fosse non couverte
		Logette lisier raclage > 12 fois/j	Méthanisation psy + chaudière
			Méthanisation méso + cogé
			fumière
	Vache allaitante	Logette fumier raclée	Méthanisation méso + cogé
			Méthanisation collective
		Litière accumulée (1 curage/3 à 6 mois)	fumière/au champs
		Litière accumulée (1 curage/sem.)	Méthanisation collective
Taurillon	Litière accumulée (1 curage/3 à 6 mois)	fumière/au champs	
	Litière accumulée (1 curage/sem.)	Méthanisation collective	
Veau boucherie	Litière accumulée (1 curage/3 à 6 mois)	fumière/au champs	
	Litière accumulée (1 curage/sem.)	Méthanisation collective	
	Lisier préfosse	Fosse non couverte	
	Pompage quotidien	Méthanisation psy + chaudière	
		Méthanisation méso + cogé	

	Catégorie	Bâtiment	Extérieur
VOLAILLES	Canard PAG	Fumier accumulé	fumière/au champs
			Compostage
	Volaille chair	Fumier accumulé	fumière/au champs
			Compostage
Canard gavage	Lisier préfosse	Fosse non couverte	
	Raclage journalier	Méthanisation psy + chaudière	
Canard à rôtir	Lisier préfosse	Fosse non couverte	
	Raclage journalier	Méthanisation psy + chaudière	
PORC	Porc charcutier	Préfosse	Fosse non couverte
		Raclage à plat	Méthanisation psy + chaudière
			Méthanisation psy + chaudière
	Truie	Raclage à plat	Méthanisation psy + chaudière
		Raclage en V	Méthanisation méso + cogé
			Métha collective + injection
	Post Sevrage	Préfosse	Fosse non couverte
		Raclage à plat	Méthanisation psy + chaudière
			Méthanisation psy + chaudière
		Raclage en V	Méthanisation méso + cogé
			Métha collective + injection

principalement au nombre de trois : passive avec valorisation du biogaz par chaudière, individuelle mésophile avec valorisation du biogaz par cogénération, collective mésophile avec valorisation du biogaz par injection, de multiples combinaisons étant envisageables sur le terrain. Toutes les modalités de gestion des déjections animales retenues se sont en grande partie appuyées sur l'expertise des trois Instituts Techniques Animaux partenaires du projet ABILE2 mais aussi sur l'expertise des différents acteurs des productions animales (Chambres d'agriculture, organisations professionnelles, Instituts Techniques...) interviewés dans le cadre de ce projet (voir chapitre rédigé à cet effet).

Compte tenu de cette diversité et des modalités de calcul des émissions directes de GES qui en découle, les Instituts Techniques Animaux ont réalisé un calculateur du coût à la tonne de CO₂ épargné avec une méthode de gestion alternative des déjections en comparaison à une gestion standard des effluents. Il est décrit ci-après.

<https://ifip.asso.fr/actualites/calculateur-du-cout-de-reduction-des-emissions-de-ges-par-la-gestion-des-effluents-delevage/>

Les émissions directes de GES, principalement le CH₄, le N₂O et le NH₃ - en tant que précurseur du NO₂ - sont déterminées par espèce (porc, bovin, volaille) et par stade physiologique. Le périmètre des émissions gazeuses (Figure ci-contre) comprend les fermentations entériques, les pertes lors des différentes phases de stockage des déjections, lors du process de méthanisation (fuites notamment), et lors de l'épandage effluents et digestats (émissions indirectes de N₂O). Les différentes modalités de valorisation énergétique après méthanisation – quantité et nature des substitutions énergétiques – ne sont pas prises en compte.

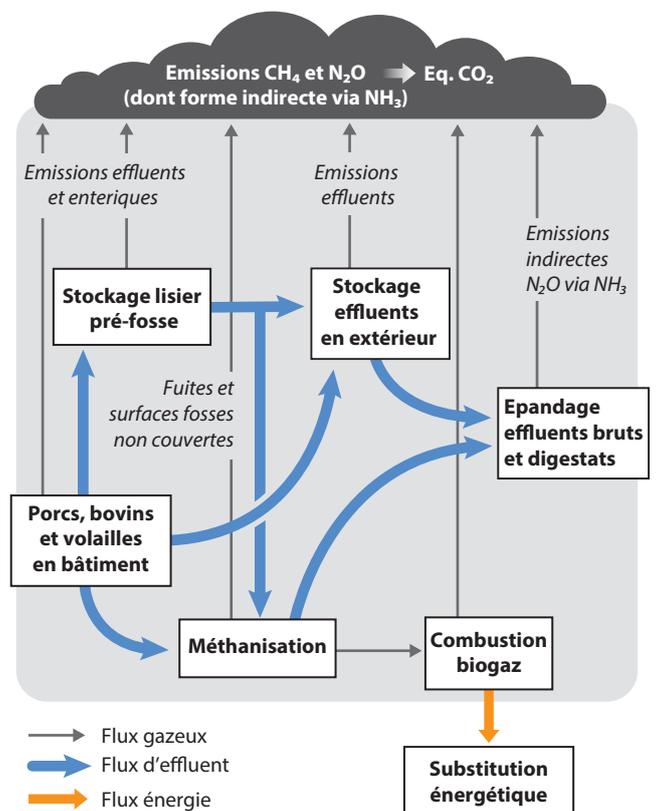


Figure 1 : Périmètre des émissions de GES pris en compte dans le calculateur

Les taux d'expression du potentiel méthanogène des effluents méthanisés, de combustion du biogaz collectable, de couverture de la fosse (psychrophilie) et de fuite du biogaz sont proposés par défaut (Bioteau et al., 2018 ; Toudic et al., 2018 ; IPCC, 2021) mais peuvent être modifiables par l'utilisateur du calculateur à des fins pédagogiques. Ce calculateur constitue une version simplifiée de la méthode globale de calcul du Label Bas Carbone pour les effluents porcins. Des coûts d'investissements et de fonctionnement pour les changements de pratiques de gestion des effluents sont également proposés par défaut (Ademe et al., 2019a ; Nénufar, communication personnelle, 2022) mais modifiables par l'utilisateur.

Les résultats (tableau 6 ci-dessous) montrent des évolutions d'émissions très contrastées selon les catégories d'animaux. Il est obtenu des abattements d'émissions directes de GES compris entre 20 et 71 % pour 13 catégories d'animaux mais aussi des augmentations d'émission comprises entre 8 et 67 % pour 3 catégories d'animaux (filière bovine dans les 3 cas). Pour celles-ci, le mode de gestion standard des déjections est moins émetteur qu'avec une unité de méthanisation où les fuites (dont le niveau est ici fixé à 5 % de la production brute de biogaz) et les pertes résiduelles sur digestat peuvent impacter négativement la performance environnementale de ces méthodes alternatives de gestion des déjections. La maîtrise et le niveau de connaissance de ces pertes est discuté plus loin. En l'absence de fuites de méthane, la performance environnementale de la chaîne de gestion des déjections ne serait pas dégradée. Pour les 13 catégories d'animaux présentant une performance environnementale améliorée, elle serait encore meilleure en l'absence de fuites de GES au cours du processus. Le calculateur présente l'intérêt de pouvoir simuler toutes ces situations.

Dans le cas de la filière porcine, une analyse plus fine de la réduction des émissions de GES par la mise en place d'une unité de méthanisation et d'une évacuation quotidienne des déjections dans un élevage de taille moyenne de 300 truies naisseur-engraisseur est proposée (voir aussi Levasseur et al., 2023).

L'évacuation quotidienne des lisiers d'engraissement par raclage et la mise en place d'une couverture de collecte du biogaz sur la fosse de stockage extérieure pour l'intégralité des déjections (méthanisation psychrophile) permet de réduire potentiellement de 59 % les émissions directes de GES par rapport à une gestion standard de ces déjections ; soit respectivement 472 contre 1143 t d'éq. CO₂ émis/an pour un élevage de 300 truies naisseur-engraisseurs. Ces valeurs sont obtenues avec une fosse de stockage couverte à 90 %, 5 % de fuites du biogaz collecté, l'expression de 29 % du potentiel méthanogène des effluents et la combustion de la totalité du biogaz collectable. En pratique, le biogaz émis peut ne pas être valorisé en dehors des périodes de chauffage venant ainsi dégrader notablement cette performance environnementale.

La combustion, et ainsi la conversion, de chaque molécule de CH₄ en CO₂ est le principal levier de réduction de ces émissions en réduisant de 27,2 fois (IPCC, 2021) le pouvoir de réchauffement global de chaque atome de carbone émis sous forme de méthane.

Bien que présentant un surcoût, la mise en place d'une torchère permettrait de maintenir les 59 % de réduction des émissions de GES. Par ailleurs, des questionnements demeurent quant à l'ampleur réelle des fuites. C'est un paramètre difficilement mesurable et probablement très variable d'une unité de méthanisation à l'autre.

Tableau 6 : Proportion d'abattement des émissions de GES (en équivalent CO₂) par catégorie d'animal selon le mode de gestion des déjections

Catégorie d'animal	Gestion des déjections CONDUITES STANDARD *	Gestion des déjections CONDUITES ALTERNATIVES		% d'abattement en eq. CO ₂ /an	
	En bâtiment	En bâtiment	Sortie de bâtiment		
Vaches laitières	Logette lisier raclage 6 à 8 fois/j	Logette raclage > 12 fois/j	Métha. mésophile + cogé.	-51	
Vaches laitières	Logette fumier raclé	Logette raclage > 12 fois/j	Métha. mésophile + cogé.	+61	
Vaches laitières	Litière accumulé (1 curage/3 sem.)	Litière accumulée (1 curage/semaine)	Méthanisation collective	+8	
BOVINS	Génisses	Logette lisier raclage 6 à 8 fois/j	Logette lisier raclage > 12 fois/j	-52	
	Génisses	Logette fumier raclé	Logette fumier raclée	+67	
	Génisses	Litière accumulé (1 curage/3 à 6 mois)	Litière accumulée (1 curage/semaine)	-27	
	Vaches allaitantes	Litière accumulé (1 curage/3 à 6 mois)	Litière accumulée (1 curage/semaine)	-20	
Taurillons	Litière accumulé (1 curage/3 à 6 mois)	Litière accumulée (1 curage/semaine)	Méthanisation collective	-22	
Veaux de boucherie	Lisier préfosse	Pompasse quotidien	Métha. mésophile + cogé.	-56	
PORCINS	Porcs charcutiers	Lisier stocké en préfosse	Raclage_à_plat_quotidien	-71	
	Truies	Lisier stocké en préfosse	Pré_stockage_lisier_sous_caillebotis	-71	
	Post-sevrage	Lisier stocké en préfosse	Pré_stockage_lisier_sous_caillebotis	-54	
VOLAILLES	Poulets de chair	Fumier accumulé	Fumier accumulé	Compostage	-62
	Canards PAG	Fumier accumulé	Fumier accumulé	Compostage	-66
	Canards au gavage	Lisier stocké en préfosse	Raclage quotidien	Métha. psychrophile + chaudière	-51
	Canard à rôtir	Lisier stocké en préfosse	Raclage quotidien	Métha. psychrophile + chaudière	-47

* En mode de gestion standard des déjections animales, le stockage a lieu en fosse découverte pour le lisier et sur une fumière ou en bout de champs pour les fumiers

Tableau 7 : Perspectives de réduction des émissions de GES en élevage porcin (300 truies naisseur-engraisseur) par la mise en œuvre d'une unité de méthanisation (selon deux modèles) et l'évacuation quotidienne des déjections en engraissement, coût à la tonne de CO₂ épargnée.

Mode gestion des lisiers :	Stockage standard des lisiers en préfosse et en fosse extérieure	Raclage à plat en engraissement – Métha passive (tous lisiers) + chaudière	Raclage à plat engraissement – Métha mésophile (tous lisiers) + cogénérateur
Emissions directes en t éq. CO ₂ /an	1143	472 (-59 %)	455 (- 60 %)
Critères économiques	-	Invest. de 113 k€ (40 % subvention), fonctionnement 3 k€/an, épargne d'énergie 10 k€/an	Invest. de 330 k€ (10 % subvention), fonctionnement 21 k€/an, recettes 41 k€/an
Coût en €/t éq. CO ₂		20	32
Critères spécifiques		Fosse couverte à 90 % - Expression de 29 % du BMP du lisier	Expression de 100 % du BMP du lisier
Critères communs		5 % de fuite de biogaz – 100 % du biogaz collectable est brûlé (chaudière/cogé) – Surcoût de 60 €/place de porc charcutier pour raclage à plat	

L'investissement dans un dispositif de raclage pour l'évacuation quotidienne des déjections permet d'éviter les émissions directes de GES des effluents dans le bâtiment. L'engraissement est privilégié à l'échelle d'un élevage naisseur-engraisseur car ce stade physiologique est responsable de 75 % environ des émissions directes de GES. Ainsi, la mise en place de racleurs pour les truies et les porcelets en post sevrage n'améliore l'épargne d'émission de GES que de six et deux points de pourcentage, respectivement.

Sur l'exemple mentionné précédemment, avec 60 €/place d'engraissement pour le surcoût d'un raclage à plat, un investissement de 113 000 € et des charges de 3000 €/an pour le dispositif de méthanisation psychrophile, le coût à la tonne d'équivalent CO₂ épargné s'établit à 41 €. Avec 40 % de subvention sur l'investissement pour l'unité de méthanisation et une épargne de chauffage de 10 000 €/an par la substitution d'énergie – critères non pris en compte précédemment, le coût diminue en s'établissant à 20 €/t éq. CO₂.

Si l'éleveur de porc opte pour une unité de méthanisation en mésophilie suivie d'une valorisation du biogaz par cogénération, la réduction des émissions directes de GES est similaire (60 vs. 59 % - les paramètres mentionnés précédemment demeurant inchangés). Si la production de méthane et sa combustion est plus élevée, les fuites le sont également en quantité (la proportion demeurant inchangée). En pratique, l'écart de performance environnementale peut être plus élevé et en défaveur de la méthanisation psychrophile si, comme mentionné précédemment, le biogaz n'est pas systématiquement collecté et brûlé.

Les coûts mentionnés par défaut pour le scénario avec méthanisation mésophile sont de 330 k€ d'investissement, 21 k€/an de coût de fonctionnement et 41 k€/an de recettes liées à la vente d'électricité. En intégrant 10 % de subvention à l'investissement, l'ensemble demeure déficitaire, le coût étant de 32 €/t éq. CO₂ épargnée. Les gains de productivité pour les deux modèles de méthanisation sont toutefois multiples : économie d'échelle, meilleure valorisation de la chaleur, réduction des fuites de biogaz, etc.

Conclusion sur les leviers d'action

Pour la plupart des déjections animales, la méthanisation permet de réduire notablement leurs émissions directes de GES. Pour certains types de fumiers, les émissions de GES sont peu élevées et ont principalement lieu sous forme de N₂O. Dans ce cas, la méthanisation pourrait conduire à une augmentation des émissions de GES si les pertes de méthane ne sont pas maîtrisées (fuites, émissions résiduelles sur digestat). Un compostage peut alors être préférable, méthode de gestion alternative des déjections retenue notamment pour des fumiers de volailles. Dans le cadre du projet ABILE2, un calculateur a été réalisé pour fournir des ordres de grandeurs de coût à la tonne d'éq. CO₂ épargnée. Il permet également de hiérarchiser les principaux critères technico-économiques les plus impactant pour ces émissions et d'identifier ainsi les leviers d'action. De nombreuses références restent encore à préciser.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Face à la nécessité de réduction des émissions de GES, l'Union Européenne et la France se sont fixés un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050. A ce titre, un certain nombre de leviers d'action sont envisageables pour réduire les émissions de GES. La mise en œuvre de nouveaux modes de gestion des effluents d'élevage, telle que la méthanisation, en font partie. L'un des principaux modes de réduction des émissions directes de GES de la méthanisation est la combustion et la transformation du méthane en dioxyde de carbone. Le pouvoir de réchauffement global de chaque molécule carbonée émise est ainsi réduit de 27 fois. Au-delà du contexte réglementaire, rappelé au début de ce document, différents acteurs (interprofessions, organisations professionnelles, R et D) ont été interrogés sur l'adaptation des productions animales à ces enjeux environnementaux. Si le mode de gestion des effluents d'élevage devra inévitablement évoluer, il n'est pas sans contrainte, notamment d'un point de vue économique. La méthanisation est à ce titre intéressante car elle permet d'épargner et/ou de vendre de l'énergie. La création d'un revenu complémentaire n'est toutefois pas nécessairement l'objectif prioritaire de la petite méthanisation en élevage, modèle de méthanisation ciblé dans cette brochure.

Les principaux constructeurs (à titre principal ou non) de petites unités de méthanisation en élevage ont fait l'objet de fiches descriptives. Ce modèle de méthanisation, d'une puissance inférieure ou égale à 100 kW électrique installée (ou équivalent), dispose de caractéristiques qui lui sont propres par rapport à des unités de plus grande taille. Elle est particulièrement dépendante du site d'exploitation pour l'approvisionnement en effluents d'élevage. Afin de réduire au maximum les émissions de GES mais aussi préserver leur potentiel méthanogène, ces effluents devront être méthanisés le plus rapidement possible. Les méthodes d'évacuation fréquente des déjections sont envisageables pour certaines catégories d'animaux. Un chapitre décrit à ce titre les leviers d'action et le niveau de réduction des émissions de GES envisageables. Afin de disposer d'un ordre de grandeur de coût et compte tenu de la grande diversité des situations, il a été élaboré un calculateur du coût à la tonne de CO₂ épargné selon les différentes configurations retenues. Cette brochure en rapporte quelques résultats et les limites d'un tel outil.

La petite méthanisation en élevage est également très liée au site d'exploitation par la nécessaire valorisation locale de l'énergie produite, le plus souvent thermique car issue d'une chaudière ou d'un co-générateur ; mais aussi par la connaissance du potentiel méthanogène des déjections animales. Dans le cadre du projet ABILE2, 160 déjections animales (porc, bovin et volaille), se caractérisant par une diversité de pratiques d'élevage, ont fait l'objet d'une analyse de leur composition physico-chimique et de leur potentiel méthanogène. Les résultats, publiés par ailleurs, ont fait l'objet de fiches de synthèse dans cette brochure.

La petite méthanisation en élevage peut être également envisagée comme une opportunité pour réaliser une mise aux normes des capacités de stockage qui s'autofinancent grâce à la valorisation énergétique des effluents, et/ou élaborer de nouvelles stratégies d'organisation de l'exploitation ou encore se diversifier avec le développement d'un nouvel atelier.

Ces petites unités bénéficient d'une bonne acceptabilité sociétale car elles sont intégrées à l'exploitation : de petites tailles et avec un fonctionnement autonome en intrants, elles ne nécessitent pas de transports de matières. De plus, les exploitations équipées de méthaniseurs portent l'image d'exploitation à énergies positives en produisant plus d'énergie qu'elles n'en consomment, réduisant ainsi leur impact environnemental. Ces petites unités de méthanisation sont des solutions économiquement pertinentes si elles restent simples et fiables techniquement. La grande diversité de coûts d'investissement s'explique en partie par des qualités de matériaux et d'équipements contrastées. Lors de la réflexion d'un projet, il est également important de prendre en compte les investissements liés à la préparation des intrants en amont du digesteur. L'incorporation de matières solides aura comme conséquence d'augmenter les équipements de préparation des intrants (ajout d'une trémie d'incorporation par exemple) et ainsi d'engendrer des surcoûts par rapport à une installation alimentée uniquement avec des intrants liquides pompables.

Ce modèle de méthanisation de petite taille dispose de moins de retours d'expérience que la méthanisation à la ferme de 100 à 300 kWé. Néanmoins, son potentiel de développement en élevage semble élevé au regard des enjeux énergétiques et environnementaux en particulier de changement climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- Ademe, Boucher L. et Levasseur P., 2019. Performances et potentiels de diffusion d'unités de méthanisation agricole, Rapport Ademe, 44 pages + annexes.
- Ademe, Haumont A., Richard A., Talpin J., 2019. Réaliser une unité de méthanisation à la ferme - Projets de moins de 500 kWé ou 125 Nm3/h, 40 pages.
- Ademe, GRDF, GRTGaz : un mix 100 % gaz renouvelable en 2050 ? disponible sur : <https://www.ademe.fr/mix-gaz-100-renouvelable-2050>
- Ademe – APCA, 2022. Analyse technico-économique de 84 unités de méthanisation agricole. Synthèse des résultats du programme PROdige 1 et 2. 84 pages.
- Arrêté du 28 novembre 2018 (mise à jour du 03 mars 2022) définissant le référentiel du label « Bas-Carbone, disponible en ligne, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037657970/2022-03-09/>
- Base Carbone, disponible sur le site de l'ADEME, <https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/index/siGras/1>
- Bioteau T., Loisel P., Peu P., Guibert A., Auvinet N., Barbu I., Aissani L., De Oliveira Fernandes M., Heitz D., Déchaux C., Nunes G., Buffet J., Blondel L., Georgeault P., 2018. ADEME - TRACKYLEAKS - Développement d'une méthode d'identification et de quantification des émissions fugitives de biogaz - Application aux installations de méthanisation. 51 pages.
- Citepa, juillet 2021. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format Secten, 496 pages.
- Décret n°2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie, disponible en ligne <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/TRER2006667D%20signe%CC%81%20PM.pdf>
- Décret n° 2020-457 du 21 avril 2020 relatif aux budgets carbone nationaux et à la stratégie nationale bas-carbone, disponible en ligne <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041814459/>
- European Commission, 2019. A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. Disponible en ligne : https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- Ineris, Adam K., 2015. Etat des lieux des connaissances des émissions de CH4 et de N2O des installations de méthanisation, rapport référencé Ineris-DRC-14-141736-12606A, 64 pages.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Masson-Delmotte V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.). Cambridge University Press. In Press.
- JORF (Journal Officiel de la République Française), 2019. Loi n° 2019 – 1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.
- Jørgensen L. et Kvist T., 2015, Methane emission from Danish biogas plants Quantification of methane losses, project report, 44 pages.
- Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., Charpiot A., Ponchant P. et Blazy V., 2019. Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, 83 p.
- Levasseur P., Blazy V., Gervais F., Azam F., Zennaro B., Kabakian S., Carrere H., 2022. Biochemical methane potential and chemical composition of pigs, poultry and ruminant manures—a purpose-built database. Les Cahiers de l'IFIP, Vol 8 – n°1, p 17-24.
- Levasseur P., Blazy V., Gervais F., 2023. Calculateur du coût, à la tonne de CO2 épargné, d'une modification de la gestion des effluents d'élevage. Journées Recherche Porcine en France, 55, (article sous presse).
- Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, consultable en ligne : <https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000038430994/>
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2019. Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat.
- Opticive, Optimisation de la mobilisation de cive pour la méthanisation dans les systèmes d'exploitation, 2015-2018, Rapport final ADEME, 78 pages.
- Paboeuf F. (2012). Approche expérimentale de deux systèmes de production porcine différenciés par le mode de logement : Contribution à la recherche d'un développement durable. Thèse AgroParisTech, 269 p
- Quéral N., 2021. Elaboration de scénarios prospectifs de réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre par une amélioration des pratiques de gestion des effluents d'élevages porcins, bovins et avicoles. Mémoire de fin d'études Institut Agro Rennes-Angers/ ENSAT / IFIP, 55 p.
- Règlement CE N° 1069/2009 du 21 octobre 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine (règlement relatif aux sous-produits animaux)
- SOLAGRO – Association négaWatt – NOTE D'INFORMATION – Méthanisation – Juin 2021, 19 pages.
- Toudic A., Langlois A.S., Lavenan K., Kergourlay F., Carré J.Y., Dabert P. Lendormi T., 2018. Méthanisation passive à température ambiante - Validation de la couverture flottante Nénufar à Guernévez. Rapport d'étude. Chambres d'agriculture de Bretagne, 12 pages.



**Brochure réalisée
dans le cadre du projet ABILE 2
et mise en forme par l'IFIP
(4e trimestre 2022).**

Contacts :
pascal.levasseur@ifip.asso.fr
blazy@itavi.asso.fr

*Ce projet a bénéficié du soutien financier du CASDAR.
La responsabilité du ministère chargé de l'agriculture ne saurait être engagée.*

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*