

La méthanisation passive : facteurs de réussite et de rentabilité en élevage porcin

Anne-Sophie LANGLOIS

Chambre régionale d'agriculture de Bretagne, Rond Pont Maurice Le Lannou, 35 000 Rennes, France

anne-sophie.langlois@bretagne.chambagri.fr

La méthanisation passive : facteurs de réussite et de rentabilité en élevage porcin

La méthanisation passive consiste à récupérer le biogaz naturellement émis par les effluents à température ambiante grâce à une couverture flottant à la surface des fosses de stockage. L'énergie captée peut notamment être valorisée sous forme d'eau chaude pour chauffer les bâtiments d'élevage. Le biogaz peut aussi être capté depuis des fosses de stockage en amont ou en aval d'une unité de méthanisation mésophile pour améliorer le rendement de l'unité. Trois élevages porcins équipés de ce système ont été suivis par la Chambre régionale d'agriculture de Bretagne entre 2018 et 2020. Des bilans techniques, économiques et environnementaux ont été dressés. Les résultats confirment ceux issus du suivi de la méthanisation passive à la station de Guernévez (29) obtenus dans le cadre du Projet Promethis (2016-2018). Les apports de lisier frais fréquents permettent de maintenir une production de biogaz même au cœur de l'hiver, sous un climat semi-tempéré et pour une fosse enterrée ou semi-enterrée. Le temps de suivi du dispositif, environ 30 min/semaine, est très réduit, mais nécessaire à l'optimisation du procédé. Une configuration adéquate de l'exploitation permet d'optimiser le fonctionnement du procédé : taille de la fosse suffisamment grande par rapport à la taille de l'élevage, fosse pas trop éloignée des bâtiments d'élevage, possibilité d'apporter du lisier frais régulièrement tout au long de l'année. Lorsque ces conditions sont réunies, le temps de retour sur investissement est d'environ 5 ans par rapport à un système de chauffage tout électrique. Placée en amont d'un digesteur mésophile, la méthanisation passive améliore le rendement de la cogénération et le temps de retour sur investissement est estimé à 4 ans.

Passive anaerobic digestion: success and profitability factors in pig farming

Passive anaerobic digestion consists of recovering the biogas naturally emitted by animal waste at ambient temperature using a cover that floats on the surface of storage pits. The energy captured can be used to heat water to ultimately heat livestock buildings. Biogas can also be captured from storage pits upstream or downstream of a mesophilic anaerobic digestion unit to improve the unit's efficiency. Three equipped pig farms were monitored by the Regional Chamber of Agriculture of Brittany from 2018-2020. Technical, economic and environmental assessments were performed. The results confirmed those obtained from the monitoring of passive anaerobic digestion at the Guernévez station (Finistère department) obtained during the Promethis project (2016-2018). Frequent fresh slurry inputs maintained minimum biogas production, even in the middle of winter under a semi-temperate climate and for a buried or semi-buried pit. The monitoring time, ca. 30 min/week, is short, but necessary to optimise the process. A suitable farm configuration allows the process to be optimised: size of the pit sufficiently large in relation to the size of the farm, pit not too far from the farm buildings, and the ability to input fresh manure regularly throughout the year. When these conditions are met, the payback time is ca. 5 years compared to an all-electric heating system. Placed upstream of a mesophilic digester, passive anaerobic digestion improves the efficiency of cogeneration, thus decreasing the payback time to ca. 4 years.

INTRODUCTION

La méthanisation passive se développe depuis quelques années en France. Elle consiste en une couverture de fosse flottant à la surface des effluents liquides dans les fosses de stockage existantes et capable de récupérer le biogaz naturellement émis à température ambiante. Les intérêts et la faisabilité de ce procédé ont déjà été testés en station expérimentale (Toudic *et al.*, 2018). Lorsqu'il est valorisé sous forme d'eau chaude, le biogaz permet de réaliser jusqu'à 80% d'économies d'énergie sur le poste chauffage (maternité + post-sevrage) en conditions de fonctionnement optimisées. Des apports de lisier frais et fréquents, un climat tempéré et une fosse enterrée ou semi-enterrée ont déjà été identifiés comme facteurs d'optimisation. Dans ces conditions, l'activité des bactéries est maintenue, notamment en hiver quand la température du lisier chute et que les besoins en chauffage augmentent. Le temps de retour sur investissement est alors estimé entre 7 et 8 ans par rapport à un chauffage tout électrique.

Pour faire suite à ces premiers résultats expérimentaux, la Chambre régionale d'agriculture de Bretagne a suivi, entre 2018 et 2021, trois élevages de porc bretons ayant choisi de mettre en place des procédés de méthanisation passive sur leurs exploitations. L'objectif était de faire ressortir et de préciser les facteurs de réussite et de rentabilité et les bénéfices environnementaux à travers l'étude de cas concrets.

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

1.1. Principe

Une couverture de fosse étanche posée à la surface des effluents de la fosse de stockage existante capte le biogaz émis par l'effluent. Contrairement à la méthanisation classique mésophile, l'objectif de la méthanisation passive est de valoriser l'existant sans chercher à maximiser la production de biogaz. La fosse n'est pas chauffée et seul un minimum d'agitation est requis (Figure 1). Une population de bactéries dites psychrophiles capables de produire du biogaz sur de larges gammes de température se développe. La production de méthane est bien moindre qu'en méthanisation mésophile pour un temps de séjour plus long. L'investissement est également moindre et le mode de valorisation sera différent. Lorsque la production de méthane ne suffit pas à couvrir les besoins, un complément de propane permet généralement de prendre le relai.

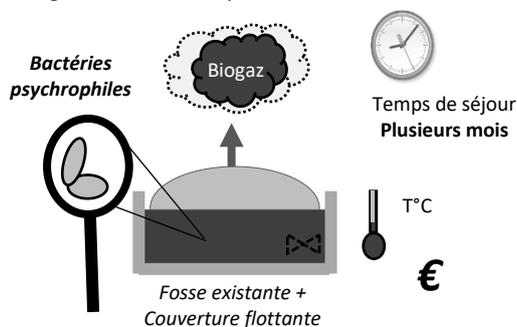


Figure 1 – Principe de la méthanisation passive

1.2. Intérêts et applications

La méthanisation passive présente les mêmes atouts qu'une couverture de fosse souple classique. Elle réduit les odeurs au stockage. Elle évite en partie le stockage et l'épandage des eaux de pluie et diminue aussi les émissions d'ammoniac au

stockage, tout en augmentant le pouvoir fertilisant de l'effluent épandu. Elle présente aussi des atouts spécifiques. Le biogaz capté peut être brûlé par une chaudière dans l'objectif de produire de l'eau chaude et chauffer les bâtiments d'élevage. La rentabilité provient alors des économies d'énergie réalisées sur la facture de chauffage. Placée sur une fosse de stockage de lisier ou de digestat en amont ou en aval d'un digesteur mésophile, le biogaz capté est envoyé vers le système de valorisation existant. Dans ce cas, la rentabilité provient de l'augmentation de la recette de vente d'énergie. Enfin, le méthane valorisé n'est pas émis dans l'air. La baisse d'émissions de ce gaz à effet de serre 25 fois plus puissant que le CO₂ contribue à améliorer le bilan carbone des exploitations.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Description des installations

Quatre installations ont été suivies au cours de l'étude. Elles sont décrites au tableau 1.

Le premier cas étudié « élevage 1 » est un élevage naisseur-engraisseur partiel de 300 truies. La méthanisation passive flotte sur une fosse enterrée de 1 200 m³. L'eau chaude produite par la chaudière bi-gaz de 70 kW sert à chauffer les 1 300 places de post-sevrage et 10 places de maternité. Une cuve de propane prend le relai lorsque le lisier de la fosse ne produit plus assez de méthane.

L'« élevage 2 » correspond à un élevage naisseur-engraisseur multiplicateur de 600 truies. La couverture de méthanisation passive est installée sur une fosse aérienne de 1 800 m³ en amont d'une unité de traitement biologique de lisier. La chaudière de 120 kWh permet de produire l'eau chaude destinée à chauffer les 2 528 places de post-sevrage et des 98 places de maternité de l'élevage. Une cuve de propane prend le relai lorsque le lisier de la fosse ne produit plus assez de méthane.

L'« élevage 3 » est un élevage de 420 truies naisseur-engraisseur partiel, où 20% des porcs sont engraisés à façon. La couverture de méthanisation passive flotte sur sa fosse enterrée de 2 400 m³. Le biogaz sert à chauffer les 1 800 places de post-sevrage de cet élevage. Une cuve de propane prend le relai lorsque le lisier de la fosse ne produit plus assez de méthane.

La méthanisation passive de l'« élevage 4 » a été placée sur une fosse semi-enterrée de 500 m³ positionnée en amont d'un digesteur mésophile. L'ensemble du lisier mixte de l'élevage de 350 truies naisseur engraisseur y transite avant d'être envoyé vers le digesteur mésophile. Le biogaz capté est valorisé par cogénération.

2.2. Suivi des installations

Trois installations ont été suivies dès le début des travaux puis pendant un an au minimum. Des échanges réguliers ont eu lieu avec les éleveurs pour suivre l'évolution de la production de biogaz et les éventuels incidents techniques rencontrés. Les consommations de biogaz et de propane ont été relevées à l'aide des compteurs de temps de fonctionnement du surpresseur. Les résultats d'analyses de la qualité du biogaz (CH₄, CO₂, O₂ et H₂S) réalisées par les éleveurs ont également été consignés. L'objectif était d'estimer les consommations mensuelles de biogaz et de méthane. Une installation supplémentaire associant méthanisation passive et station de traitement biologique a été visitée une fois. Les consommations de biogaz et de propane annuelles recueillies sont également présentées dans cet article.

2.3. Réalisation des bilans techniques, économiques et environnementaux

A l'issue de la période de suivi, un entretien a été réalisé avec chaque éleveur dans le but de recueillir les données économiques nécessaires à l'estimation du temps de retour sur investissement : montant de l'investissement et des aides, temps de suivi, consommation de charbon actif, coût de la maintenance.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre au stockage des effluents avec méthanisation passive a été estimée à partir d'une méthode basée sur les facteurs d'émission de CO₂ de la base carbone de l'ADEME de 2014.

3. RESULTATS

3.1. Atouts de la méthanisation passive

3.1.1. Réduire sa facture chauffage

D'après le bilan annuel de l'élevage 1, 78% des besoins en eau chaude ont été couverts par le biogaz et 22% par le propane. La qualité du biogaz était constante, avec 57% de méthane après passage du biogaz dans le filtre à charbon actif. La consommation de méthane suit l'évolution des températures extérieures. La période critique correspond à la période hivernale, lorsque les températures extérieures baissent, diminuant de fait l'activité des bactéries (Figure 2). La fosse est uniquement alimentée par le lisier d'engraisement, plus méthanogène que le lisier de truies ou de porcelets. Les apports de lisier ont lieu deux fois par mois en hiver et une fois par mois le reste de l'année. Le trop-plein de lisier de cette fosse est pompé vers une deuxième fosse de 1 000 m³ à proximité. Ainsi la fosse équipée de méthanisation passive peut recevoir régulièrement du lisier frais tout au long de l'année.

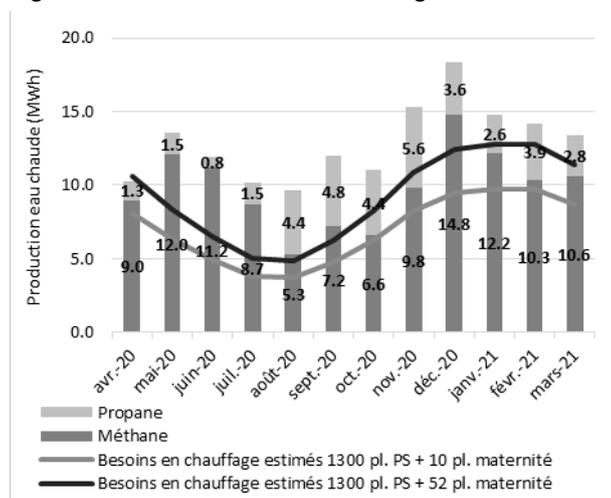


Figure 2 – Production d'eau chaude et besoins en chauffage théoriques : Répartition des sources d'énergie entre avril 2019 et mars 2020 – Elevage 1

A partir de l'été 2019, les besoins en chaleur réels sont supérieurs aux besoins théoriques estimés sur la base de l'étude IFIP (2008). Cela pourrait s'expliquer par des conditions d'ambiance différentes de celles considérées dans l'étude de l'IFIP, par exemple une température de consigne de chauffage plus élevée, un chauffage continu lors du vide sanitaire, ... D'après ces résultats, la méthanisation passive couvre 93% des besoins théoriques en chauffage hors équipements de réduction des consommations d'énergie de 1 300 places de post-sevrage et 10 places de maternité (IFIP, 2008). Par rapport à ces mêmes références, elle couvrirait 84% des besoins

théoriques en chauffage de 1 300 places de post-sevrage et de 52 places de maternité, soient la totalité des besoins en eau chaude de ces deux stades.

3.1.2. Complémentarité en amont d'un système de traitement du lisier

Les fosses de stockage de lisier placées en amont de systèmes de traitement du lisier tels qu'un digesteur mésophile ou une station de traitement biologique par boues activées peuvent être équipées de méthanisation passive. En effet, elles reçoivent quotidiennement ou hebdomadairement un volume de lisier très frais quand un volume équivalent est envoyé vers l'unité de traitement. C'est le cas de l'élevage 2 où la méthanisation passive a permis de couvrir 72 % des besoins annuels en chauffage. La fosse couverte reçoit quotidiennement du lisier très frais trois semaines sur quatre. De plus, son volume important semble contribuer à créer une certaine inertie thermique même en hiver.

3.2. Facteurs de réussite et de rentabilité

3.2.1. Configuration de l'élevage

Dans le cas de l'élevage 3, la fosse se situant loin des bâtiments et de l'autre côté d'une route, le suivi n'est pas aisé. Par ailleurs, le lisier mixte qui arrive dans la fosse a préalablement transité par des fosses intermédiaires et a perdu une partie de son pouvoir méthanogène lorsqu'il arrive dans la fosse finale couverte par la méthanisation passive. Dans cette configuration seulement 40% des besoins annuels en eau chaude ont été couverts par le biogaz et 60% par le propane (Figure 3). Le défaut de suivi est particulièrement visible en été, lorsqu'une dérive du capteur de tension est également survenue.

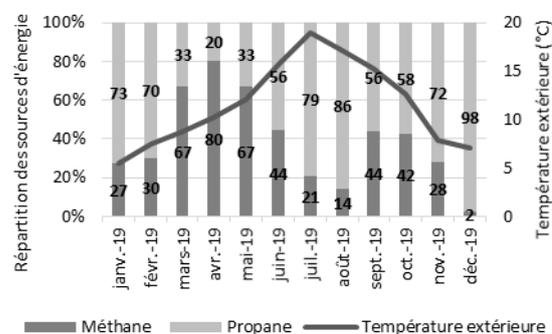


Figure 3 – Energie thermique valorisée et estimation des besoins en chauffage théoriques – Elevage 3

Ainsi, la consommation de méthane par jour de l'élevage 3 est cinq fois moins élevée par rapport à l'élevage 1 (Tableau 1). La configuration de l'élevage et le suivi de l'installation impactent aussi les émissions de GES évitées au stockage. Elles sont six fois moins élevées pour l'élevage 3 que pour l'élevage 1 (Tableau 2). A l'inverse, les consommations de méthane et les émissions de GES évitées au stockage des élevages 1 et 2 sont les plus élevées des cas suivis. Les configurations de ces deux élevages permettent en effet d'apporter du lisier frais ou à fort potentiel méthanogène fréquemment tout en conservant une certaine inertie thermique dans la fosse, permettant ainsi d'optimiser le procédé.

3.2.2. Piloter son installation

Le temps de suivi est relativement limité : environ 30 minutes par semaine. Il correspond à une analyse hebdomadaire de biogaz et à une inspection visuelle globale de l'installation (gonflement de la bache, suivi des compteurs de temps de fonctionnement, réglage de l'injection d'air dans le gazomètre).

A cela s'ajoute le temps supplémentaire passé en cas d'incidents ponctuels. Cette inspection hebdomadaire est importante. On a ainsi observé dans l'élevage 1 une augmentation de 30% de la consommation de propane suite à une dérive du capteur de tension. Le déclenchement du surpresseur permettant l'envoi du biogaz jusqu'à la chaudière a été perturbé ce qui a favorisé le basculement de la chaudière vers le propane. Ce défaut n'a pas été détecté tout de suite et les effets se sont prolongés sur plusieurs mois.

La fosse de l'élevage 4 reçoit un volume de lisier de 8 à 10 m³/j remplaçant un volume identique envoyé vers le digesteur. Le lisier mixte qui arrive dans cette fosse est comparable à celui de l'élevage 2 en termes de fraîcheur. Toutefois, la bâche de la

méthanisation passive de l'élevage 4 a probablement été endommagée par l'agitateur placé en fond de fosse suite à une vidange trop importante. A cela s'est ajoutée la présence d'une croûte à la surface du lisier qui a perturbé l'étanchéité de la méthanisation passive nécessaire à son bon fonctionnement. Ces défauts qui n'ont pas été repérés tout de suite ont affecté la récupération journalière de méthane. Le tableau 1 fait ainsi état d'une production de méthane presque quatre fois moins élevée pour cet élevage que pour l'élevage 1. Les émissions de GES sont 5,3 fois moins élevées que pour l'élevage 1. Cela peut s'expliquer par les défauts observés et par un rendement de 70% de l'énergie valorisée par cogénération contre 95% pour les chaudières bi-gaz.

Tableau 1 – Synthèse des configurations et des consommations de méthane des installations présentées

	Elevage 1	Elevage 2	Elevage 3	Elevage 4
CONFIGURATION DE L'ELEVAGE				
Volume lisier + eaux de lavage, m ³	3 450	13 380	7 833	7 805
Taille fosse avec méthanisation passive, m ³	1 200	1 800	2 400	500
Présence 2 ^{ème} fosse pour évacuation du trop-plein de lisier	Oui	Oui (station de traitement biologique)	Non	Oui (digesteur mésophile)
Type et fraîcheur de lisier	Engrais	Mixte frais	Mixte	Mixte frais
Utilisation de l'énergie issue de la méthanisation passive	Chauffage 1 300 places PS + 10 places maternité	Chauffage 2 258 places PS + 98 places maternité	Chauffage 1 800 places PS	Cogénération
VALORISATION DU BIOGAZ				
Volume moyen de CH ₄ valorisé, m ³ /an	12 184	40 764	5 672	6 093
Volume moyen de CH ₄ valorisé, m ³ /j	33	112	16	17
Volume moyen de CH ₄ valorisé, m ³ / m ³ de lisier ayant transité par la fosse	3,5	3,0	0,7	0,8
Energie thermique valorisée, kWh/an	117 572	621 747	54 731	58 797
Autonomie en chauffage (%)	78 %	72 %	40 %	¹ NC

¹ NC : non concerné.

Tableau 2 – Emissions de gaz à effet de serre évitées au stockage grâce à la méthanisation passive

	Elevage 1	Elevage 2	Elevage 3	Elevage 4
Energie thermique produite grâce au biogaz, kWh thermique/an	117 572	406 009	54 731	2 285
Electricité produite grâce au biogaz, kWh/an	0	0	0	19 723
¹ Volume annuel de méthane valorisé, Nm ³ /an	12 426	42 909	5 784	4 874
² Emissions de GES évitées, t équivalent CO ₂ /an	211	729	98	73
³ Emissions de GES évitées par la substitution d'électricité par la chaleur de la chaudière, t équivalent CO ₂ /an	7	25	3	0
³ Emissions évitées par la production d'électricité, t équivalent CO ₂ /an	0	0	0	1
⁴ Emissions de GES liées à la consommation électrique de la méthanisation passive, t équivalent CO ₂ /an	0,12	0,12	0,12	0,12
Emissions de GES évitées par la méthanisation passive, t équivalent CO ₂ /an	222	754	102	74
Energie thermique produite par le propane, kWh thermique/an	37 059	156 642	80 713	0
⁵ Emissions liées à la consommation de propane, t équivalent CO ₂ /an	10	42	22	0
Emissions évitées par la substitution de l'électricité par le propane, t équivalent CO ₂ /an	2	10	5	0
Emissions de GES évitées au poste « stockage du lisier », t équivalent CO ₂ /an	206	702	75	73
Emissions de GES évitées au poste « stockage du lisier », kg équivalent CO ₂ /m ³ de lisier ayant transité par la fosse	60	52	10	11

Références :

¹ PCI méthane = 9,96kWh/Nm³, rendement chaudière bi-gaz = 95 %

² PRG méthane = 25 (Base carbone GIEC, rapport 4), masse volumique d'un Nm³ de méthane = 0,00068 kg/Nm³

³Emissions de CO₂ liées à la production d'un kWh électrique = 0,0000607 (ADEME 2014, Base Carbone, SCOPE1 -Emissions directes. Facteurs d'émissions amont + combustion des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France, p.37. MAJ 07/2021)

⁴Consommation électrique liée à la méthanisation passive = 2 004 kWh/an (Consommation électrique : référence issue du projet Promethis (Toudic et al., 2018)

⁵ Emissions de CO₂ liées à la production d'un kWh issu du propane = 0,00027 (ADEME 2014, Base Carbone, SCOPE1 -Emissions directes. Facteurs d'émissions amont + combustion des combustibles fossiles liquides pour le périmètre France, p.37. MAJ 07/2021)

Tableau 3 – Temps de retour sur investissement des installations de méthanisation passive suivies

		Elevage 1	Elevage 3	Elevage 4
Investissement, €	Couverture de fosse et équipements	41 800	¹ 20 668	¹ 23 800
	Ligne biogaz et chaudière mixte biogaz/propane	39 800	39 500	8 000
	Agitateur(s)	15 000	25 000	5 500
	Equipements chauffage eau chaude	30 000	92 000	0
	Total hors aides	126 600	177 168	37 300
	Montant des aides	32 640	24 067	2 200
	TOTAL aides incluses	93 960	153 101	35 100
Consommations énergétiques, kWh/an	Méthane	117 572	54 731	58 798
	Propane	37 059	80 713	0
	TOTAL	154 631	135 444	58 798
Facture énergétique de référence tout électrique, €/an		18 556	16 253	2 731
Nouvelle facture énergétique, €/an		1 742	3 794	0
Charges de fonctionnement, €/an	Electricité	² 288	² 288	² 288
	Main d'œuvre	1 063	177	177
	³ Charbon actif	0	0	0
	³ Entretien analyseur biogaz	0	0	0
	³ Maintenance chaudière	250	250	0
	TOTAL	1 601	715	465
Gains, €/an	Epargne épandage eaux de pluie	478	460	1 063
	Recette de revente d'énergie	0	0	3 945
Economie réalisée sur nouvelle facture chauffage, gains et charges inclus, €/an		16 577	11 319	6 211
Temps de retour sur investissement aides incluses, années		5,7	13,5	5,7

¹Seul le surcoût de la méthanisation passive par rapport à une couverture de fosse souple classique est compté du fait de l'obligation réglementaire de couvrir la fosse.

²Consommation électrique : référence issue du projet Promethis (Toudic et al., 2018)

Références de coût : Coût du kWh électrique : 12 cents/kWh HT ; tarif propane : 4.7 cents/kWh ; Coût main d'œuvre : 2*SMIC horaire brut 2019 : 2 * 10.03 = 20.06 €/h ; rendement chaleur valorisable d'un moteur de cogénération : 37,5% ; rendement électricité vendue d'un moteur de cogénération : 32,5% ; tarif de rachat de l'électricité issue de la cogénération : 0,20 €/kWh HT

³Ces 3 postes de charges sont susceptibles d'augmenter au cours du temps. Les coûts de remplacement du charbon actif, de l'entretien de l'analyseur de biogaz et de la maintenance de la chaudière seront alors estimés en moyenne à 700 €/an, 300 €/an et 600 €/an respectivement (Toudic et al., 2018).

3.2.3. Conditions de rentabilité

En conditions optimisées, le temps de retour sur investissement est inférieur à 6 ans pour une valorisation du biogaz par la production d'eau chaude (cas de l'élevage 1, Tableau 3). Lorsque le fonctionnement n'est pas optimisé, le temps de retour sur investissement double pour une taille de fosse deux fois plus grande (cas de l'élevage 3). Les coûts de certaines charges de fonctionnement vont potentiellement augmenter au cours du temps. Les coûts de remplacement du charbon actif, de l'entretien de l'analyseur de biogaz et de la maintenance de la chaudière seront alors estimés en moyenne à 700 €/an, 300 €/an et 600 €/an respectivement (Toudic et al., 2018).

Pour une valorisation du biogaz par cogénération, le temps de retour sur investissement peut être inférieur à 6 ans, malgré des conditions de fonctionnement non optimisées. Ces types de projet sont les plus rapides à rentabiliser. L'investissement initial ne comprend pas la chaudière, ni les équipements de chauffage eau chaude. De plus, il n'y a pas de pertes de biogaz en été, puisque l'intégralité du biogaz capté sous le gazomètre est valorisée. Le lisier qui transite par ces fosses est très frais.

Enfin le tarif de rachat de l'électricité issue de la cogénération est supérieur au tarif du kWh électrique, utilisé pour le calcul du temps de retour sur investissement des installations avec chaudière. Ces facteurs compensent le rendement moindre des moteurs de cogénération comparé à celui des chaudières bi-gaz.

CONCLUSION

Le suivi d'élevages équipés de méthanisation passive confirme les résultats obtenus par Toudic et al. (2018). Différents facteurs sont à prendre en compte avant d'investir. La configuration de l'élevage doit permettre des apports de lisier frais et fréquents et une inertie thermique minimale du lisier dans la fosse.

L'installation doit être pilotée quotidiennement pour être optimisée. Cette étude montre que la méthanisation passive peut être placée sur une fosse en amont d'un procédé de traitement du lisier (station de traitement biologique, digesteur mésophile). Des économies d'énergie et des bénéfices environnementaux peuvent être tirés de la méthanisation passive lorsque les conditions sont réunies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Toudic A., Lavenan K., Dabert P., Lendormi T., 2018. Méthanisation passive des lisiers de porcs en hiver : résultats de l'installation « Nénufar » de Guernévez et Temps de retour sur investissement du procédé « Nénufar ». Journées Rech. Porcine, 50, 45-46.
- IFIP, Chambres d'agriculture de Bretagne et Pays de la Loire, 2008. Consommations d'énergie des bâtiments porcins : comment les réduire ? Edition IFIP, 20 p.