



Suivi expérimental de l'installation de méthanisation du GAEC du Bois Joly

Synthèse



BIOMASSE NORMANDIE

19 quai de Juillet - 14000 CAEN
Tél. : 02 31 34 24 88 - Fax : 02 31 52 24 91
<http://www.biomasse-normandie.org>



APESA

Technopole Hélioparc
2, Av. du Président Pierre Angot
64053 PAU Cedex 09

Novembre 2010

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
2. CONTEXTE	2
2.1 L'exploitation agricole.....	2
2.2 L'installation de méthanisation.....	2
2.2.1 UF1 : le stockage des matières premières.....	3
2.2.2 UF2 : la digestion.....	3
2.2.3 UF3 : la valorisation du biogaz.....	5
2.2.4 UF 4 : le stockage du digestat.....	5
2.2.5 UF 5 : aménagements divers.....	5
2.2.6 Synthèse.....	5
3. LES RÉSULTATS DU SUIVI	6
3.1 Les paramètres suivis.....	6
3.1.1 UF 1 : Réception/préparation des déchets entrants.....	6
3.1.2 UF 2 : Digestion.....	6
3.1.3 UF 3 : Valorisation du biogaz.....	7
3.1.4 UF 4 : Valorisation du digestat.....	7
3.1.5 UF 5 : Fonctionnement général.....	7
3.2 Les résultats.....	7
4. ANALYSE ET CONCLUSION	10
4.1 Sur la technologie en discontinue.....	10
4.2 Sur les déchets traités et les mélanges entrants en digestion.....	11
4.3 Sur les performances économiques.....	12
4.4 Sur l'insertion de l'unité dans l'exploitation agricole.....	12
4.5 Sur l'adéquation avec le développement territorial.....	13

1. Introduction

La méthanisation est un procédé de traitement biologique des déchets organiques permettant la production conjointe d'un amendement organique de qualité et d'un gaz riche en méthane, le biogaz. Le nombre d'installations de méthanisation est en fort développement en France depuis quelques années, notamment dans le milieu agricole.

Il existe différentes technologies, la plus courante étant celle de l'infiniment mélangé à alimentation continue adaptée aux mélanges liquides. Pour les mélanges pâteux voire solides, il existe le procédé "batch" à alimentation discontinue, mis en place sur le GAEC du Bois Joly en Vendée. Néanmoins, c'est un procédé mal connu sur lequel il existe peu de données et de retour d'expérience.

Face à ce constat, l'ADEME a souhaité disposer d'un référentiel complet visant à caractériser ce type d'installation. L'objectif de l'agence est de disposer d'indicateurs permettant d'évaluer la performance et de mesurer la pertinence de ce type de technologie. Le référentiel a également pour but d'aider au dimensionnement des nouvelles installations.

Dans ce cadre, l'ADEME a sollicité Biomasse Normandie et l'Apesa pour assurer le suivi de l'unité de méthanisation du GAEC du Bois Joly et établir un référentiel technique, économique et environnemental de l'installation.

Engagée en avril 2008, cette mission qui s'est déroulée sur 32 mois se décline en quatre phases :

- Phase 1 : présentation générale de l'exploitation
- Phase 2 : détermination des indicateurs référents et définition du protocole de suivi
- Phase 3 : suivi de l'installation (24 mois)
- Phase 4 : analyse des données et élaboration d'un référentiel

Plusieurs rapports d'étape ont ponctué les différentes phases de la mission avec des présentations régulières au comité de pilotage.

Le présent document constitue une **synthèse** de l'étude.

Remerciements

Ces remerciements s'adressent tout à d'abord à Denis BROSSET, exploitant de l'installation de méthanisation qui s'est investi sans compter son temps et qui a su proposer et apporter des pistes de réflexion pertinentes et constructives tout au long du suivi. Sans son dévouement et son investissement quotidien, cette étude n'aurait pas pu être conduite. Il convient également de souligner la transparence de la société Aria Energie, concepteur de l'unité de méthanisation, qui nous a permis d'accéder librement à l'ensemble des éléments de conception et de fonctionnement de l'installation.

2. Contexte

2.1 L'exploitation agricole

Le GAEC du Bois Joly, créé en 1981, est exploité depuis 1996 par deux associés : Denis BROSSET et Jean-Louis VRIGNAUD. L'exploitation est située sur la commune de la Verrie (85) au lieu dit "La Touzinière". Elle dispose d'une surface agricole utile de **68,4 ha** essentiellement dédiée à la production de fourrage et assure une production de viande par le biais d'un élevage de vaches allaitantes (150 têtes) et d'un élevage de lapins (atelier naisseur et atelier engraisseur).

Initié en 2000 avec Aria Energie, le projet de méthanisation s'est concrétisé en 2007 dans le cadre de la mise aux normes avec deux objectifs :

- limiter le recours à des intrants extérieurs pour les cultures (engrais, pesticides...) et les animaux (concentrés, prophylactiques...) ;
- limiter la dépendance énergétique pour assurer une meilleure maîtrise des coûts.

Tableau 1 : Bilan du fonctionnement global de l'exploitation

	Atouts	Faiblesses
Limiter le recours à des intrants extérieurs	Fertilisation 100 % organique et coût bien maîtrisé (67 € HT/ha) Fourrages et pâturage à la base de l'alimentation des bovins	Ateliers lapins, système hors-sol, dépendant de l'extérieur pour l'alimentation (concentrés)
Limiter la dépendance énergétique	Chauffage au bois pour couvrir les besoins thermiques de l'habitation : - coût maîtrisé (25 € HT/MWh PCI) - énergie renouvelable	Couverture des besoins professionnels par le propane : - énergie chère (57 € HT/MWh PCI) - non renouvelable (origine fossile)

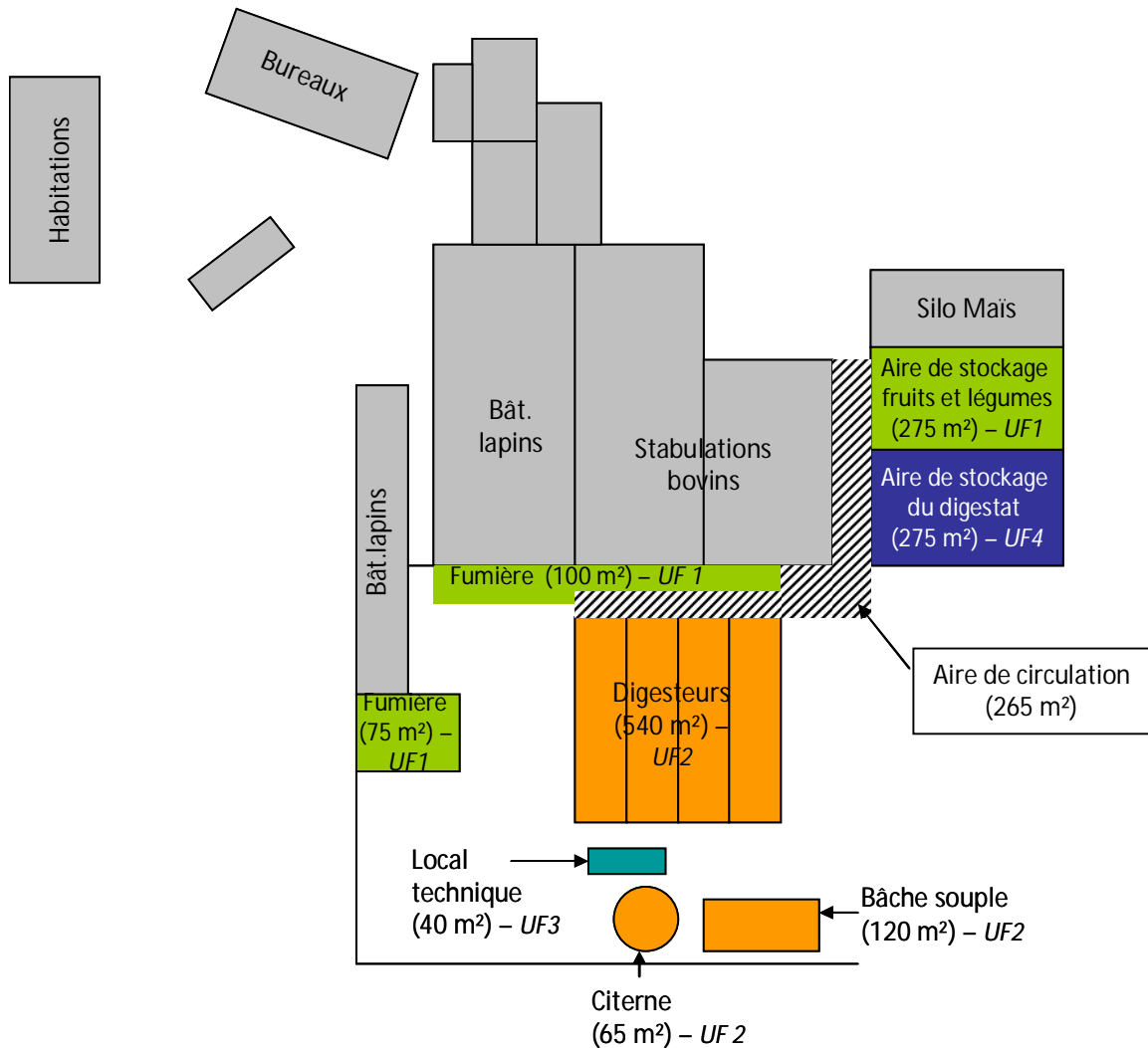
2.2 L'installation de méthanisation

L'installation de méthanisation repose sur une **technologie en voie sèche à alimentation discontinue appelée "batch"**. Elle est particulièrement adaptée aux effluents de l'exploitation.

L'installation a été dimensionnée pour traiter **1 380 t/an** d'effluents agricoles (270 t MS/an et 215 t MO/an), dont 70 % produits "in situ". Le biogaz produit est transformé dans un module de cogénération.

L'installation comprend cinq unités fonctionnelles.

Figure 1 : Schéma d'implantation



2.2.1 UF1 : le stockage des matières premières

La surface de réception des matières est entièrement bétonnée et s'étend sur **450 m²** avec :

- **une fumière de 75 m²** (pré-existante) ;
- **une fumière de 100 m²** créée avec l'unité de méthanisation ;
- **une aire de stockage des fruits et légumes de 275 m²** créée en 2010.

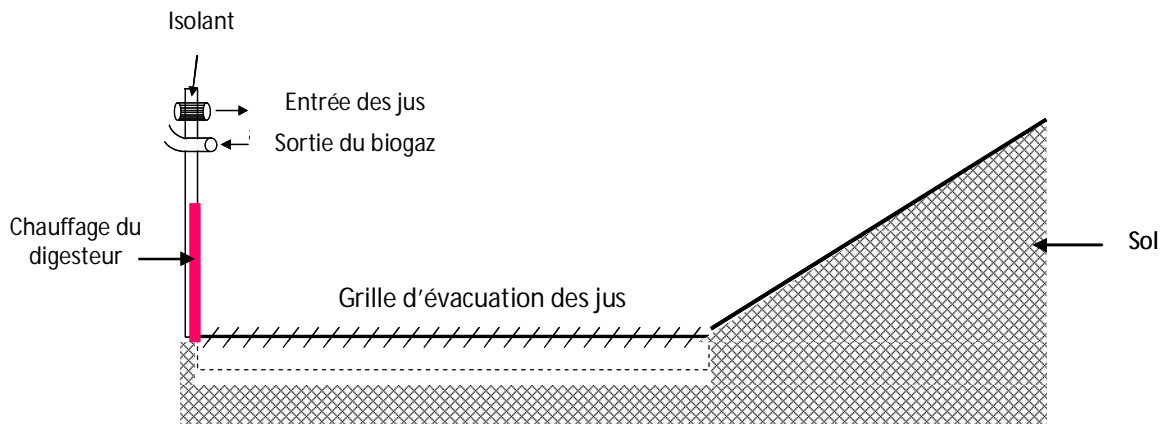
2.2.2 UF2 : la digestion

L'UF dédiée à la digestion s'étend sur **540 m²** et comprend 4 digesteurs totalisant une capacité de **740 m³** et fonctionnant en parallèle.

Chaque digesteur est équipé :

- d'un dispositif de chauffage (plancher et parois) ;
- d'une arrivée permettant l'introduction de la phase liquide ;
- d'une rigole couverte d'une grille permettant la récupération des jus en fond de silo ;
- d'un système de récupération du biogaz.

Figure 2 : Coupe d'un digesteur



Afin d'assurer une isolation thermique suffisante, les parois et le plancher sont recouverts d'une couche d'isolant.

La couverture des digesteurs est réalisée à l'aide d'une bâche en EPDM, autorisant le stockage temporaire du biogaz. L'étanchéité du dispositif est assurée par un joint pneumatique.

Tableau 2 : Caractéristiques des digesteurs

Postes		Caractéristiques
Capacité		185 m ³ par digesteur 740 m ³ au total
Emprise au sol		540 m ²
Construction	Matériau Enfouissement	Béton banché Semi-enterré
Maintien de la température	Isolation Mode de chauffage	Styrodur et Polystyrène Lisiers chauffés au préalable, apport des jus de recirculation et réseau d'eau chaude Réseau de chauffage coulé dans le plancher et les parois
Stockage du biogaz		Au niveau de chaque digesteur (bâche en EPDM)

Cette unité fonctionnelle intègre également le **système de gestion des jus** assurant l'immersion du mélange nécessaire au développement microbien et au maintien des conditions anaérobies.

Les jus sont constitués par les lisiers de lapin mélangés au jus d'égouttage du mélange. Après un stockage temporaire dans une cuve chauffée et isolée de 30 m³ ou une bâche souple de 120 m³, ils sont injectés par l'intermédiaire de 4 pompes de 2 kW chacune et d'un tuyau percé positionné sur les matières en digestion permettant de distribuer les jus de façon homogène.

Photo 1 : Cuve de stockage des jus



Photo 2 : Pompe de circulation des jus



Photo 3 : Distribution des jus



2.2.3 UF3 : la valorisation du biogaz

Le biogaz est stocké temporairement dans le digesteur, sous les bâches, puis évacué par l'intermédiaire d'un réseau de canalisation en PVC. Il rejoint ensuite le module de cogénération d'une puissance de **30 kWélec.** doté d'un moteur à combustion interne de type 100 % gaz disposé dans un local en béton, couvert, de **40 m².**

Le moteur est également équipé d'un aérotherme qui permet d'évacuer la chaleur non utilisée et de refroidir le moteur.

L'électricité est vendue en intégralité à EDF dans le cadre d'un contrat d'achat encadré par l'arrêté du 10 juillet 2006. La chaleur, récupérée par l'intermédiaire d'un échangeur thermique à plaques, est alors utilisée :

- pour maintenir les conditions mésophiles dans le digesteur (idéalement 37 à 40 °C) ;
- pour chauffer les jus ;
- pour couvrir une partie des besoins thermiques et de production d'ECS du site (habitation et bâtiments lapins).

2.2.4 UF 4 : le stockage du digestat

Le digestat est stocké, soit en bout de champ sur des terres de l'exploitation, soit sur une aire dédiée de **275 m²** permettant un ressuyage du digestat.

2.2.5 UF 5 : aménagements divers

L'installation comprend également des aires de manœuvre (**265 m²**) et des aménagements paysagers (**1 365 m²**).

2.2.6 Synthèse

Ainsi, l'installation occupe une surface totale d'environ **3 120 m²** dont **1 755 m²** de surface utile correspondant à l'ensemble des aires utiles à la méthanisation (hors locaux administratifs et aménagements paysagers).

Notons que l'exploitant a créé a posteriori en 2010, **une nouvelle aire bétonnée de 550 m²** dont la moitié est dédiée au stockage des fruits et légumes et l'autre au stockage du digestat.

Tableau 3 : Surface totale (en m²)

Catégorie	Surface	Type	m ² /t MB	m ² / t MO
UF 1 : Réception/stockage des déchets	450	Béton	0,32	2,40
<i>dont fumière 1</i>	75	<i>Béton</i>	<i>0,05</i>	<i>0,40</i>
<i>dont fumière 2</i>	100	<i>Béton</i>	<i>0,07</i>	<i>0,53</i>
<i>dont aire de stockage des fruits et légumes</i>	275	<i>Béton</i>	<i>0,20</i>	<i>1,47</i>
UF 2 : Digestion	725		0,53	3,87
<i>dont digesteurs</i>	540	<i>Béton</i>	<i>0,39</i>	<i>2,88</i>
<i>dont bâche souple</i>	120	<i>120 m³</i>	<i>0,09</i>	<i>0,64</i>
<i>dont citerne</i>	65	<i>30 m³</i>	<i>0,05</i>	<i>0,35</i>
UF 3 : Valorisation du biogaz	40	Bâtiment	0,03	0,21
UF 4 : Valorisation du digestat	275	Béton	0,20	1,47
UF 5 : Aménagements divers	1 630		1,17	8,69
<i>dont aire de manœuvre</i>	265	<i>Béton</i>	<i>0,19</i>	<i>1,41</i>
<i>dont aires diverses (aménagements paysagers...)</i>	1 365	<i>Divers</i>	<i>0,98</i>	<i>7,28</i>
Total	3 120		2,25	16,64
<i>dont surface utile</i>	<i>1 755</i>		<i>1,27</i>	<i>9,36</i>

3. Les résultats du suivi

L'ensemble des indicateurs utilisés pour réaliser le référentiel est défini dans le "guide méthodologique de suivi d'une installation de méthanisation agricole"¹, réalisé en 2009 par Biomasse Normandie et l'Apesa, pour le compte de l'ADEME.

3.1 Les paramètres suivis

3.1.1 UF 1 : Réception/préparation des déchets entrants

Sur l'unité de réception/préparation, les 24 mois de suivi ont porté sur :

- **les caractéristiques des matières entrantes** (densité de chaque substrat, potentiel méthanogène, composition du mélange entrant ...) ;
- **les modalités de préparation** du mélange ;
- **les opérations de chargements/déchargements** (durée, matériels utilisés, fréquence...).

Les relevés ont été effectués à chaque chargement/déchargement.

3.1.2 UF 2 : Digestion

Pendant la phase de digestion, de nombreux paramètres ont été suivis :

- **la température** à l'intérieur des digesteurs ;
- **les caractéristiques des jus** injectés et recirculés ;
- **les caractéristiques du biogaz produit** : la production a été mesurée via un débitmètre, dont les relevés ont été effectués quotidiennement par digesteur (débit instantané et débit cumulé). Les paramètres de température et de pression du biogaz ont également été relevés tous les jours.

¹ <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15556>
ou http://www.biomasse-normandie.org/articles-documents-methanisation-effluents-dechets-organiques_128_fr.html

3.1.3 UF 3 : Valorisation du biogaz

L'un des intérêts de la méthanisation réside dans la valorisation du biogaz, gaz à fort potentiel énergétique. Afin de mesurer les performances de valorisation de l'installation, les paramètres suivants ont été relevés :

- **les caractéristiques de fonctionnement du moteur**, notamment la durée de fonctionnement quotidienne associée à chaque digesteur. L'usure du moteur a été appréhendée au travers d'analyses régulières des huiles. Un relevé des opérations de maintenance, entretien et réparation intervenues au cours des deux ans de suivi complète ces analyses ;
- la production d'énergie et notamment :
 - . **la production d'électricité** relevée au niveau du compteur EDF de façon régulière (une fois par semaine en moyenne pour la production globale et une fois par jour pour la production par digesteur) sachant que la valeur indiquée correspond à un cumul ;
 - . **la production de chaleur** globale et par type d'usage (chauffage et ECS habitation, chauffage bâtiments d'élevage, digesteurs et aérotherme) ; ce paramètre est relevé par l'intermédiaire de 8 compteurs à calories, une fois par semaine.

3.1.4 UF 4 : Valorisation du digestat

Le digestat présente une valeur agronomique intéressante et peut à ce titre être utilisé en tant qu'amendement organique sur les terres agricoles. **Des analyses physico-chimiques** ont donc été réalisées ainsi que des analyses portant sur les éléments traces métalliques et sur les pathogènes.

3.1.5 UF 5 : Fonctionnement général

Au-delà des relevés techniques spécifiques à une unité fonctionnelle, des paramètres généraux de fonctionnement ont également fait l'objet d'un suivi précis :

- **les données météorologiques** : températures extérieures (relevé quotidien des mini et des maxi en °C) et pluviométrie (mm) ;
- **les données relatives au temps de travail humain** : l'exploitant a relevé quotidiennement le temps passé au fonctionnement de l'unité de méthanisation en distinguant les opérations régulières (contrôle quotidien, temps pour le chargement et le déchargement...) et les opérations exceptionnelles (maintenance du moteur, réparation sur l'installation, visites...) ;
- **le temps d'utilisation du matériel de manutention** (chargeur essentiellement) pour chaque opération (chargement, déchargement, préparation des mélanges...).

3.2 Les résultats

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des indicateurs calculés pour évaluer la performance de l'unité de méthanisation du GAEC du Bois Joly.

Tableau 4 : Synthèse des indicateurs de suivi

Type de bilan	Indicateur	Résultat
Bilan technique	Emprise foncière	2,25 m ² / t MB dont 1,27 m ² utile /t MB
	Temps de travail	0,3 ETP (1h22 min/j) 0,2 ETP hors visite (56 min/j ou 19 min/t MB)
	Temps d'utilisation du matériel	240 h/an
	Fréquence des chargements	Tous les 18 jours (+/- 11 jours) 4 à 5 chargements/digesteur/an
	Matières entrantes	95 t MB/chargement dont 56 t MB de déchets solides (1 045 t MB/an) et 39 t MB/an de jus (0,3 m ³ /j/t MB)
	Température moyenne de digestion	43°C(avant isolation) et 48°C (après isolation)
	Temps de séjour	70 j (42 à 119 j)
	Charge organique	106 kg MO/m ³ (95 à 126) - Equivaut à 1,5 kg MO/m ³ /j
	Production de biogaz	6 730 Nm ³ biogaz/chargement et 55 % de méthane
	Fonctionnement du moteur	Puissance moyenne : 28 kWélec. - 6 970 h/an (19h/j)
Bilan biologique	Rendement volumique/technologique	0,66 Nm ³ biogaz/m ³ digesteur/jour
	Rendement biologique	68 Nm ³ biogaz/t MB (45 à 85)
	Potentiel méthanogène réel	246 Nm ³ biogaz/t MO (+/- 47) Taux d'expression du potentiel théorique : 90 %
	Rendement matière	61 %
	Taux dégradation matière organique	56 %
	Hygiénisation	Hygiénisation efficace pour certains pathogènes (E.coli, Entérocoque, Listéria) Hygiénisation partielle pour Clostridium perfringens
	Minéralisation de l'azote	<i>Durant le procédé</i> : taux de minéralisation très variable sur les échantillons analysés. Variabilité liée à la composition du mélange entrant. <i>Dans le sol</i> : - 7,4 % - Minéralisation intervenant à partir du 30 au 35 ^{ème} jour
Bilan hydrique	Non réalisé - Difficulté de mesure dans le cas d'une unité en voie sèche - Il faudrait mettre en place une jauge dans la citerne afin de connaître le volume initial et le volume final	

Type de bilan	Indicateur	Résultat
Bilan énergétique	Production d'énergie primaire	135 000 Nm ³ biogaz/an - 55 %CH ₄ soit 739 500 kWh PCI
	Production d'énergie utile	190 000 kWh élec et 350 000 kWh th
	Rendement de l'installation	Rendement électrique : 26 % Rendement thermique : 47 %
Bilan environnemental	Taux substitution énergies fossiles	34 % soit 33 tonnes équivalent CO ₂ évitées
	Rendement d'efficacité énergétique	22
	Impact sur les émissions de GES	70 tonnes équivalents CO ₂ évitées
Bilan économique	Investissements	314 200 € HT soit 10 470 € HT/kW élec Taux de subvention : 44 % 5 500 € HT/kW élec après subvention
	Résultat net	- 6 580 € HT/an hors subvention + 7 560 € HT/an après subvention
	Taux de rentabilité interne	1 % hors subvention 11 % après subvention
	Valeur actualisée nette	- 70 480 € HT hors subvention + 51 170 € HT après subvention
	Temps de retour brut sur investissement	13 ans hors subvention 7 ans après subvention

Au regard des indicateurs de performance, il est possible de dégager quelques éléments de mise en œuvre et d'exploitation optimum d'une technologie type batch à alimentation discontinue :

- éléments de dimensionnement :
 - . charge organique : 106 kg MO/m³ (95 à 126)
 - . temps de séjour : 70 jours (42 à 119 jours)
 - . emprise foncière : 2,25 m²/ t MB dont 1,27 m²utile /t MB
- éléments d'exploitation :
 - . température interne : 43 à 48 °C ;
 - . injection de jus : 0,3 m³/j/t MB.

4. Analyse et conclusion

Cette partie vise à apporter des éléments de discussion sur le fonctionnement et les performances de production de l'unité de méthanisation discontinue du GAEC du Bois Joly.

Il s'agit de la première installation de méthanisation agricole récente en France pour laquelle on bénéficie d'un ensemble de paramètres de fonctionnement. Le procédé utilisé repose sur un fonctionnement discontinu, sans brassage et en « voie sèche » ; le terme de voie sèche est cependant à relativiser car l'introduction de jus de fermentation permet d'atteindre un taux d'humidité de 75 à 80 %, ce qui est relativement proche des valeurs habituelles dans un digesteur de technologie infiniment mélangé (IM).

Rappelons enfin que la technologie mise en place sur le GAEC du Bois Joly relève d'une ingénierie du bureau d'étude ARIA énergie. Il existe d'autres systèmes de méthanisation en discontinu en voie sèche.

4.1 Sur la technologie en discontinue

L'unité mise en place permet d'obtenir des performances intéressantes en termes de production de biogaz. L'absence de brassage et donc d'homogénéisation ne pénalise pas la production de biogaz totale. En effet, on obtient un taux de dégradation moyen de la matière organique de 56 % ; ce qui est tout à fait comparable à des performances de digesteurs IM fonctionnant sur ce type de résidus fermentescibles. Notons qu'environ 90 % du potentiel méthanogène du mélange sont exprimés au cours de la phase de fonctionnement du réacteur, ce qui est encore une fois honorable.

Ces performances sont obtenues grâce à un temps de séjour (TSM) des déchets dans le réacteur important, en moyenne de 70 jours. C'est à peu près le double de temps que celui nécessaire dans une technologie IM performante. Il faut donc laisser le temps aux microorganismes d'accéder au substrat et de dégrader suffisamment la matière organique ; c'est une conséquence directe de l'absence d'agitation/brassage et de l'hétérogénéité du taux d'humidité dans la masse induite par le système de recirculation des jus de fermentation.

Le temps de séjour élevé implique de disposer d'un volume de réacteur plus important et de travailler avec une charge volumique organique (CVO) faible (106 kg MO/m³ alors qu'en technologie IM on travaille entre 250 et 500 kg MO/m³).

La technologie discontinue mise en œuvre sur le GAEC du Bois Joly peut donc être qualifiée de « système extensif » qui peut s'appliquer de manière cohérente à des exploitations agricoles de petites tailles.

La maîtrise de la fermentation demande un bon système de chauffage et de maintien en température des réacteurs ; notamment en période hivernale (si la température descend trop bas, en dessous de 30°C, il est quasiment impossible de réchauffer le système sans apport d'une énergie extérieure à l'unité). Il est donc essentiel de disposer d'une isolation performante des parois et du fond de réacteur. D'importantes pertes se font au niveau de la surface sous la bâche-gazomètre ; l'exploitant a pallié à ces pertes en ajoutant un isolant constitué d'un complexe multicouches déposé sur la surface du mélange avant bâchage.

La recirculation des jus de fermentation permet d'améliorer la cinétique de fermentation. Des améliorations sont cependant à trouver pour assurer une meilleure répartition et adapter les volumes à réinjecter sur chaque cycle de fonctionnement.

Enfin, la technologie en discontinu ne permet pas de disposer d'un pouvoir tampon et par voie de conséquence de corriger rapidement une dérive préjudiciable à la production de biogaz : une fois les réacteurs lancés, aucune introduction complémentaire ne permet d'atténuer un effet négatif (acidification par exemple). Pour pallier à une telle situation, l'exploitant n'a d'autre choix que d'arrêter et de vider le digesteur concerné.

Le temps de travail nécessaire à la manutention des substrats et du digestat (chargement/déchargement) et la pénibilité de ce travail (bâchage notamment) constituent d'autres points faibles par rapport aux technologies en continu.

4.2 Sur les déchets traités et les mélanges entrants en digestion

Le point important à maîtriser sur une année d'exploitation est la régularité de la composition des mélanges entrants en méthanisation. Plus que le type de déchet, il s'agit de maîtriser le volume de biogaz produit et surtout la vitesse à laquelle il va être produit (la cinétique). Il est d'autant plus difficile d'assurer une régularité dans la production d'énergie que les mélanges entrants varient sur ces deux paramètres. L'installation est quasiment impossible à gérer sans modifier constamment les périodicités de vidange et de remplissage des réacteurs (donc le TSM). A ce niveau, la gestion des réacteurs est plus délicate que dans une technologie de type IM où il est plus facile de réagir rapidement et qui accepte donc des variations beaucoup plus importantes.

La qualité des déchets est également un point important à maîtriser et notamment leur niveau de biodégradabilité. Ainsi, le choix des déchets exogènes est primordial pour garantir le bon fonctionnement de la fermentation. Trop de déchets rapidement fermentescibles entraîne un blocage de la fermentation par acidification. La limite du système discontinu est la quasi-absence au démarrage du réacteur d'un pouvoir tampon suffisant pour pallier à d'éventuelles augmentations du taux des acides gras volatils. En conséquence, les déchets lipidiques sont certainement à proscrire ou en tout cas à utiliser avec une extrême modération.

Il semble ainsi nécessaire de disposer de fumiers ou de déchets céréaliers afin de constituer rapidement un pouvoir tampon convenable. En effet, ce type de substrat produit dans les premières phases de digestion beaucoup plus de CO₂ qui participe à l'établissement du pouvoir tampon dans le milieu par sa dissolution en bicarbonates.

Par ailleurs, les flux exogènes, en particulier les fruits et légumes, sont primordiaux pour assurer la production de biogaz et donc la rentabilité de l'installation du GAEC du Bois Joly par la vente d'électricité au réseau. Ces déchets génèrent plus de 55% de la production d'énergie alors qu'ils ne représentent qu'un quart de la masse entrante. Il s'agit cependant d'un gisement externe à l'exploitation dont la fourniture n'est pas garantie sur le long terme. Il est alors important **d'analyser finement les conditions technico-économiques de la pérennisation de cet approvisionnement** (notamment au regard de la redevance d'entrée et du contexte concurrentiel local) ou, à défaut, de sa substitution par des flux aux caractéristiques similaires. Cette notion de risque lié aux déchets externes n'est pas spécifique à cette installation mais semble encore plus importante dans le cas d'une installation en discontinu en raison des conditions de fonctionnement spécifiques évoquées précédemment.

Le plan d'approvisionnement de tout projet de méthanisation constitue donc un élément qui doit être appréhendé avec beaucoup d'attention de la part du porteur de projet, d'une part, et de ses partenaires, d'autre part.

Soulignons que ce type de technologie, contrairement à des technologies en alimentation continue, permet de conserver une traçabilité et de mettre en place une gestion différenciée par lot, telle que celle appliquée en compostage.

Enfin, la maîtrise des modalités de collecte et de stockage des déchets constitue un autre facteur limitant de cette technologie. En effet, la méthanisation et la production de biogaz demandent de disposer de déchets les plus frais possibles. Le dimensionnement du stockage est donc important et l'évaluation des possibilités de collecte également. La stratégie d'approvisionnement en déchets externes peut être limitante dans certaines situations pour ce type de technologie dans la mesure où le remplissage d'un réacteur ne s'effectue que toutes les 3 semaines en moyenne. Il en est de même pour la récupération des effluents d'élevage (imperméabilisation des aires de stockage, risque de nuisances olfactives).

4.3 Sur les performances économiques

Sur l'installation étudiée, le coût du kW électrique installé est élevé, de l'ordre de 10 500 € HT/kWelec. ; ce qui est en fourchette haute des indicateurs relevés sur d'autres installations de technologie IM². Grâce aux aides à l'investissement perçues (44 %) cet indicateur s'élève finalement à 5 500 € HT/kWelec. Pourtant, le poste construction a été minimisé par une part importante d'auto-construction (temps de travail considéré dans l'analyse).

La technologie discontinuée en voie sèche mise en œuvre ne permet donc pas de générer des économies d'investissement par rapport à une unité de technologie infiniment mélangée.

L'analyse plus poussée du fonctionnement de l'unité montre la nécessité d'une aide à l'investissement en plus du tarif de rachat actuel de l'électricité issue du biogaz. D'après nos calculs, cette aide à l'investissement devrait se situer aux alentours de 35% pour permettre d'atteindre les critères habituels de rentabilité financière (temps de retour inférieur à 8 ans et taux de rentabilité interne supérieur à 10%).

4.4 Sur l'insertion de l'unité dans l'exploitation agricole

La conduite de l'unité demande à la fois des opérations régulières (quotidiennes) et des opérations ponctuelles. En moyenne, le suivi de l'installation ne demande pas plus de 15min/j. Les plus grosses charges de travail sont la préparation du mélange de déchets, le chargement du réacteur et l'évacuation du digestat (hors épandage). L'opération la plus gourmande en temps reste le chargement/déchargement du réacteur ; il faut alors compter une grosse journée de travail (8 heures en moyenne).

Néanmoins, ce travail reste compatible avec l'organisation du temps sur l'exploitation agricole mais n'est pas à négliger car il correspond à un atelier de production de l'exploitation.

Signalons que la conduite et le suivi sont facilités par la présence quotidienne de l'agriculteur sur l'élevage.

Par ailleurs, le temps nécessaire à la valorisation du fumier de l'exploitation est maintenu, on peut même considérer qu'il augmente en raison, de la part d'engrais/amendement organique issue des déchets exogènes.

Enfin, si l'installation permet à l'exploitant de bénéficier d'une nouvelle source de revenu, l'équilibre économique reste fragile et nécessitera vraisemblablement à l'avenir une plus grande implication commerciale pour garantir l'approvisionnement en flux extérieurs intéressants.

² Selon l'étude Ademe "Expertise sur la rentabilité des projets de méthanisation rurale", l'analyse des investissements indique un ratio de l'ordre de 7 980 € HT/kWelec (hors subvention) pour des puissances de 30 kW élec.

4.5 Sur l'adéquation avec le développement territorial

Sur le plan territorial l'unité de méthanisation s'intègre dans un schéma de cohérence pour le traitement et la valorisation de déchets organiques fermentescibles produits localement. C'est le cas avec le traitement des effluents d'élevage de l'exploitation agricole voisine qui récupère une partie du digestat comme fertilisant organique.

C'est également le cas avec la création d'une filière courte de gestion des déchets fermentescibles d'une grande surface locale.

Cette proximité permet de limiter les transports et, dans le cas du Bois Joly, de réduire les distances annuelles parcourues par rapport à la situation de référence.

Enfin, l'installation permet de produire une énergie renouvelable se substituant à des énergies fossiles et fissiles, la valorisation du biogaz étant réalisée sous forme d'électricité et de chaleur. Le rendement global de valorisation de l'énergie primaire est de 73 %.

Il faut également souligner que cette installation permet de réduire la production de GES et notamment de méthane, par une durée de stockage des effluents d'élevage réduite.