



SOLUTIONS DÉCHETS &amp; DÉVELOPPEMENT DURABLE

# AUDIT DE FONCTIONNEMENT TECHNICO- ECONOMIQUE GIRAUD

## RAPPORT FINAL

<b>Référence affaire</b>	Audit de fonctionnement d'unités de méthanisation en Nouvelle Aquitaine
<b>Site audité</b>	GIRAUD
<b>Date de la visite d'audit</b>	04/12/2017
<b>Date de la visite de restitution</b>	24/07/2018
<b>Rédacteur</b>	<i>Audrey EL HABTI</i>

## SOMMAIRE

<b>I. DESCRIPTION DU PROJET</b>	<b>2</b>
I.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	2
I.2. HISTORIQUE DE L'INSTALLATION DE METHANISATION	2
<b>II. ETAT DES LIEUX DU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION</b>	<b>3</b>
II.1. TECHNOLOGIE DE METHANISATION	3
II.2. APPROVISIONNEMENT	7
II.3. PRODUCTION DE BIOGAZ ET D'ENERGIE	16
II.4. VALORISATION DU DIGESTAT	21
<b>III. APPROCHE ECONOMIQUE</b>	<b>22</b>
III.1. INVESTISSEMENT	22
III.2. PRODUITS	23
III.3. CHARGES	24
III.4. BILAN ECONOMIQUE	25
<b>IV. CONCLUSIONS ET PRECONISATIONS</b>	<b>28</b>
<b>V. ANNEXE : LISTE DES DOCUMENTS FOURNIS</b>	<b>29</b>

## I. Description du projet

### I.1. Présentation de l'entreprise

Le GAEC Giraud (anciennement EARL Giraud jusqu'en 2016) est une exploitation agricole regroupant 2 frères associés pour l'exploitation de 190 ha SAU et d'un élevage de 150 vaches allaitantes (naiseur et vente de brouards) avec un atelier d'engraissement de génisses et vaches de réforme. L'atelier veaux de boucherie a été stoppé il y a un an. Les surfaces agricoles sont majoritairement en prairies, à l'exception de moins de 30 ha qui sont cultivés majoritairement en blé tendre (et un peu d'orge d'hiver).

### I.2. Historique de l'installation de méthanisation

Tableau 1 - Historique de l'installation de méthanisation

	Date	Remarque
<b>Etude de faisabilité</b>	2010	Methaneva
<b>Début des travaux</b>	Octobre 2012	MOE Methaneva avec allotissement
<b>Montée en charge</b>	Juin 2013	
<b>Arrêt de l'installation</b>	Juillet à septembre 2013	Réparation de la trémie : modification du piston par le fournisseur ; ajout d'un revêtement en polyéthylène : 3 mois d'arrêt pour fabriquer les pièces
<b>Mise en service : raccordement électrique/premiers kWh injectés</b>	octobre 2013	

<b>Suivi</b>	Juillet 2013 à juin 2015	Bilan de fonctionnement sur les 24 premiers mois réalisé par Loïc Pelissier
<b>Arrêt de fonctionnement</b>	Janvier à juin 2017	Pas de données de fonctionnement du 20/10/16 au 17/06/17
<b>Redémarrage avec nouvelle trémie</b>	Juin 2017	19/06 : remontage de l'agitateur et fermeture du digesteur 20/06 : essai mise en route prémix et trémie

## II. Etat des lieux du fonctionnement de l'installation

### II.1. Technologie de méthanisation

#### II.1.1. Schéma de l'installation

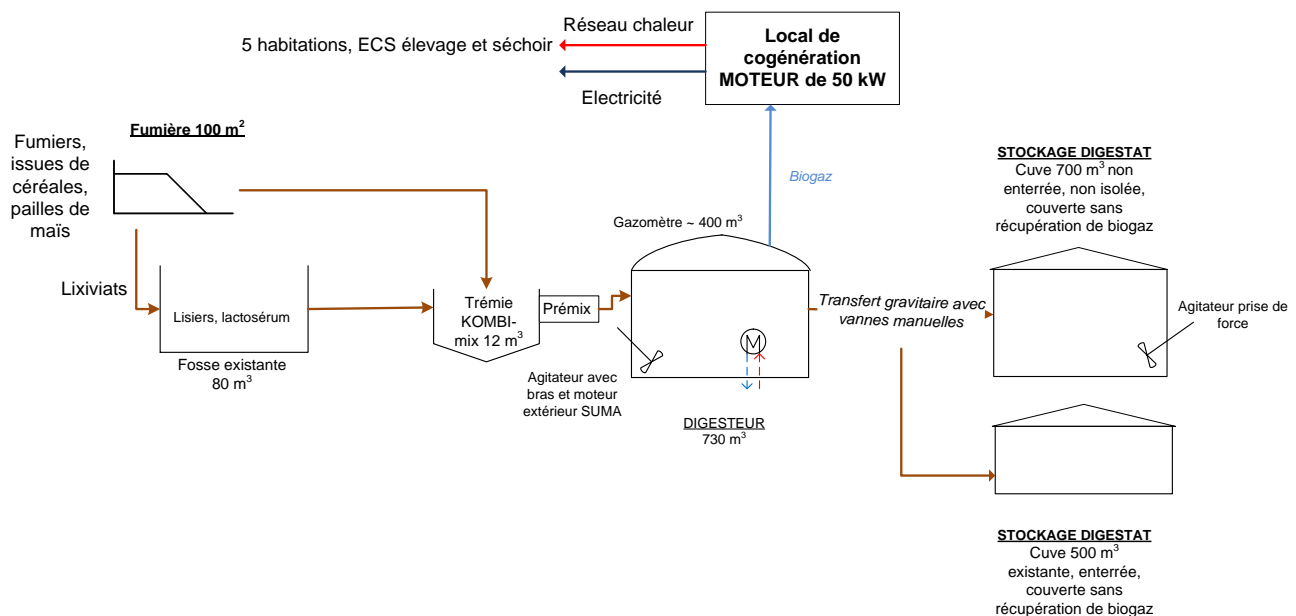


Figure 1 – Schéma de l'installation

#### II.1.2. Description de la situation initiale et de ses évolutions

Tableau 2 - Description technique de l'installation et des évolutions apportées depuis le démarrage

	Au démarrage de l'installation	A ce jour
<b>UF1 : Réception et préparation des déchets entrants</b>	Stockage matières entrantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Préfosse à lisier existante 80 m<sup>3</sup></li> <li>- Fumière 100 m<sup>2</sup></li> </ul> Incorporation des matières entrantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trémie d'introduction Euratec par piston (à-coups dans digesteur)</li> </ul>	La préfosse à lisier sert également à réceptionner du lactosérum  Changement de la trémie pour un modèle Kombi-mix de Pompe et ajout d'un broyeur en ligne Vogelsang avec recirculation de digestat (juin 2017)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modification du piston par le fournisseur en 2013</li> <li>- Bourrages fréquents de la trémie et création d'une voute dans le fond dû à une mauvaise conception, adaptation de l'incorporation en conséquence (dilution régulière, incorporation 3 fois/jour)</li> </ul>	
<b>UF 2 : Digestion</b>	Digesteur 730 m <sup>3</sup> isolé et chauffé muni d'un agitateur et d'un gazomètre simple bêche (400 m <sup>3</sup> de stockage biogaz) Cuve Biodynamics Agitateur immergé BAUER	BAEUR submersible a cassé 2 fois nécessitant une intervention dans le digesteur (ficelles enroulées autour de l'hélice entraînant des vibrations) Agitateur changé avec bras et moteur extérieur SUMA 30 kW Bêche changée en 2015
<b>UF 3 : Valorisation du biogaz</b>	Traitement du biogaz par injection d'air, pas de filtre à charbon actif Valorisation énergétique par cogénération : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moteur 50 kWe Cogenco (peut fonctionner à 70 kW) sans aérotherme</li> <li>- Réseau de chaleur : EC boisson veaux, 5 maisons (Giraud parents, Giraud Thomas, Giraud Simon, voisin Noiraud, voisin Rabouam) + hangar de séchage (luzerne et RG)</li> <li>- Torchère de secours</li> </ul>	Modifications effectuées au cours de la première année : <ul style="list-style-type: none"> <li>- MOTEUR : Protection de découplage grillé et remplacé après un délai long,</li> <li>- RESEAU CHALEUR : Remplacement de la pompe principale initialement sous-dimensionnée entraînant des surchauffes et arrêts moteur ; nettoyage de l'échangeur de chaleur la première année et ajout d'un pot à boues sur le réseau puis remplacement de l'échangeur de chaleur en fin d'année 2</li> </ul> Evolution des valorisations chaleur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- arrêt de l'élevage de veaux : moins de besoins pour l'élevage</li> <li>- Séchage Luzerne, RG, foin...Projet prestation séchage bois</li> </ul>
<b>UF 4 : Digestat</b>	Stockage du digestat dans : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 cuve de 700 m<sup>3</sup> non enterrée couverte non isolée (sans récupération de biogaz), 1 petit agitateur prise de force et</li> <li>- 1 cuve préexistante (500 m<sup>3</sup>) enterrée couverte (sans récupération de biogaz)</li> </ul> Pas de post-traitement du digestat	Formation d'une croute sur la cuve non enterrée (2017) L'agitation est insuffisante dans la cuve de stockage non enterrée (prise de force tracteur insuffisant). Aucune agitation n'a été mise en place dans la cuve enterrée préexistante Le transfert entre le digesteur et les cuves de stockage se fait par gravité en activant les vannes manuellement, ce qui représente une manipulation assez physique (vannes à levier)

Un suivi a été effectué par Loïc Pelissier sur les 2 premières années de fonctionnement, permettant d'analyser les problèmes techniques rencontrés sur l'installation sur cette période et les performances de

l'installation. Ce suivi a mis en évidence les principaux équipements nécessitant d'être améliorés à l'issue de cette période pour parvenir à un fonctionnement satisfaisant, à savoir la trémie d'incorporation et la cogénération. La nécessité d'optimiser la ration pour augmenter la production de biogaz avait également été soulignée. Suite à ce suivi, l'exploitant a décidé de changer la trémie et a recherché des intrants complémentaires susceptibles d'augmenter la production de l'installation.

L'installation a été à l'arrêt de janvier à juin 2017 jusqu'à l'installation de la nouvelle trémie, et l'exploitant a dû faire un report des annuités de remboursement du prêt pour cette période. L'unité a redémarré après que la trémie ait été changée en juin 2017. L'ensemble des données présentées dans le présent rapport d'audit portent sur la période de juillet 2017 à avril 2018.

Le tableau ci-dessous recense les problèmes techniques et interventions effectuées sur l'installation depuis juillet 2017 :

Tableau 3 - Problèmes techniques et interventions réalisées depuis juillet 2017

Période	Intervention technique
<b>Juillet 2017</b>	Problème de couplage au réseau électrique, intervention de Cogenco qui a effectué des réglages Vidange moteur par l'exploitant
<b>Juillet 2017</b>	Réglage du prémix avec Vogelsang
<b>Aout 2017</b>	Problème de réglage moteur
<b>Octobre 2017</b>	Vidange moteur par l'exploitant
<b>Novembre 2017</b>	Vidange moteur et changement des bougies – Intervention de Cogenco (17/11) Coupe réseau (23/11) Voûtage de la trémie suite l'incorporation de fumier pâteux, résolu par l'ajout de liquide dans la trémie ( 5-6/11 et 29/11) Coupe de la cogénération suite à une surchauffe (30/11)
<b>Décembre 2017</b>	Coupe réseau (03/12 et 17/12) Coupe de la cogénération suite à une surchauffe (04/12) Coupe réseau et changement couteaux trémie (10-11/12)
<b>Janvier 2018</b>	Coupe réseau tempête (3/01) Cardan de la trémie/premix cassé (10 au 14/01)
<b>Février 2018</b>	Sonde gaz du capotage cogénération hors service moteur arrêté (3-4/02) Nettoyage échangeur gaz d'échappement par GRS-Valtech (6/02) Vidange moteur (07/02) Difficultés d'incorporation liées au froid (28/02)
<b>Mars 2018</b>	Baisse de la qualité du biogaz puis retour à la normale suite à l'incorporation de lactosérum (01/03) Changement stator et cardan Prémix à 550 hrs (+ 300) soit 850 hrs (13/03) Vidange moteur (15/03)
<b>Avril 2018</b>	Coupe réseau (13 et 18/04) Vidange de la cogénération (18/04) Coupe température Canopy (19/04)

Les coupures de réseau électrique sont relativement fréquentes sur ce site (7 coupures recensées en 7 mois), notamment lors d'intempéries (tempêtes), entraînant des arrêts intempestif du moteur et des pertes de production.

Les autres dysfonctionnements rencontrés se sont avérés ponctuels et ont été résolus par l'exploitant, tels que des surchauffes du moteur liées à un encrassement de l'échangeur, problème résolu après le nettoyage de l'échangeur, et la casse du cardan de la trémie, changé dans la cadre de la garantie fournisseur.

### II.1.3. Modalités d'exploitation et temps de travail

La trémie est chargée une fois par jour, parfois plus si les matières sont volumineuses (exemple des pailles de maïs). L'entretien courant du moteur est réalisé par l'exploitant (vidanges...) et des interventions de maintenance d'un motoriste sont effectuées à la demande. Les flux du digesteur vers les 2 cuves de stockage du digestat sont gérés par des vannes actionnées manuellement par l'exploitant.

Le temps passé s'élève à 2 h/jour réparti équitablement entre la gestion de l'incorporation, la surveillance générale de l'installation, l'entretien du matériel et l'épandage du digestat :

Tableau 4 – Répartition du temps passé

Moyenne	2 h/jour
<b>Approvisionnement en matières entrantes</b>	Récolte des pailles de maïs : 3 h/an
<b>Incorporation matières entrantes</b>	1 ou 2 fois par jour, 30 min/j
<b>Surveillance installation</b>	3 fois par jour, 30 min/j
<b>Entretien du matériel</b>	30 min/j (notamment 3h/vidange du moteur toutes les 800 h)
<b>Epandage du digestat</b>	Année normale : 4000 m <sup>3</sup> de digestat à épandre soit 305 tonnes à lisier à raison de 30 min/tonne donc 152,5 h/an soit 25 min/j

### II.1.4. Analyse des risques liés à la technologie

Le changement de trémie pour un modèle Pompe Kombi-mix et l'ajout du système « Premix » de Vogelsang ont permis de résoudre les problèmes liés à l'incorporation des matières entrantes. Quelques interventions ont été effectuées depuis l'installation de ces équipements (suite à un problème de mesure de pression dans le broyeur du prémix, ou encore le changement des cardans (sous garantie), et l'exploitant témoigne d'une bonne réactivité des fournisseurs. Les risques liés à l'unité fonctionnelle « incorporation » ont donc été écartés.

Le changement d'agitateur dans le digesteur a quant à lui permis une amélioration des conditions de digestion. Même si le digesteur est muni d'une membrane simple, le changement de cette bache en 2015 a été satisfaisant et les risques liés à l'unité fonctionnelle « digestion » sont désormais réduits.

L'installation reste très rustique ce qui présente certaines limites, en particulier :

- Les **vannes manuelles** avec un système de levier pour le transfert du digestat du digesteur vers les stockages digestat sont difficiles à actionner,
- L'**absence de post-digesteur**, les deux fosses de stockage du digestat n'étant ni isolées, ni chauffées, et couvertes sans récupération de biogaz.

L'exploitant témoigne tout de même d'une amélioration de la dégradation du mélange en sortie de digesteur grâce au broyage permis par le Premix : il constate moins de bulles dans le digestat stocké qu'avant.

De plus, des essais d'ensemencement avec l'additif « Bactériométha » pour substrats de méthanisation contenant des minéraux naturels et une sélection de végétaux naturels compostés avec micro-organismes

spontanés fourni par l'entreprise SOBAC ont été menés. Ces essais ont été concluants sur leur capacité à accélérer la dégradation dans le digesteur : l'exploitant constate des économies d'agitation dans le digesteur et de consommation électrique, et un digestat sans résidus solides en sortie.

- Le plus gros point noir reste la **gestion du moteur** : l'absence de régulation en fonction du biogaz ne permet pas d'optimiser le rendement du moteur. Le fournisseur Cogenco a arrêté son activité, et l'exploitant n'arrive pas à récupérer les codes de l'automate qui permettraient à un autre intervenant d'intervenir sur l'automate.

## II.2. Approvisionnement

### II.2.1. Moyens de mesure

L'installation dispose de pesons sur le télescopique ce qui permet une mesure précise des quantités de solides incorporées. Les quantités de liquide provenant de la préfosse de stockage sont relevées grâce au débit de la pompe.

L'exploitant tient à jour un document excel avec un relevé quotidien des données sur les matières incorporées et la production de biogaz et d'énergie ce qui permet d'effectuer un suivi satisfaisant de l'installation.

### II.2.2. Plan d'approvisionnement initial et actuel

L'approvisionnement a évolué depuis la reprise de la production à l'été 2017 : avant la ration se composait de davantage de fumier, jusqu'à 6-7 t/j voire 8 de fumier seul, associé à du lisier et tontes de pelouses une partie de l'année. La production était insuffisante. L'exploitant incorpore depuis des pailles de maïs et des issues de céréales depuis octobre 2017 :

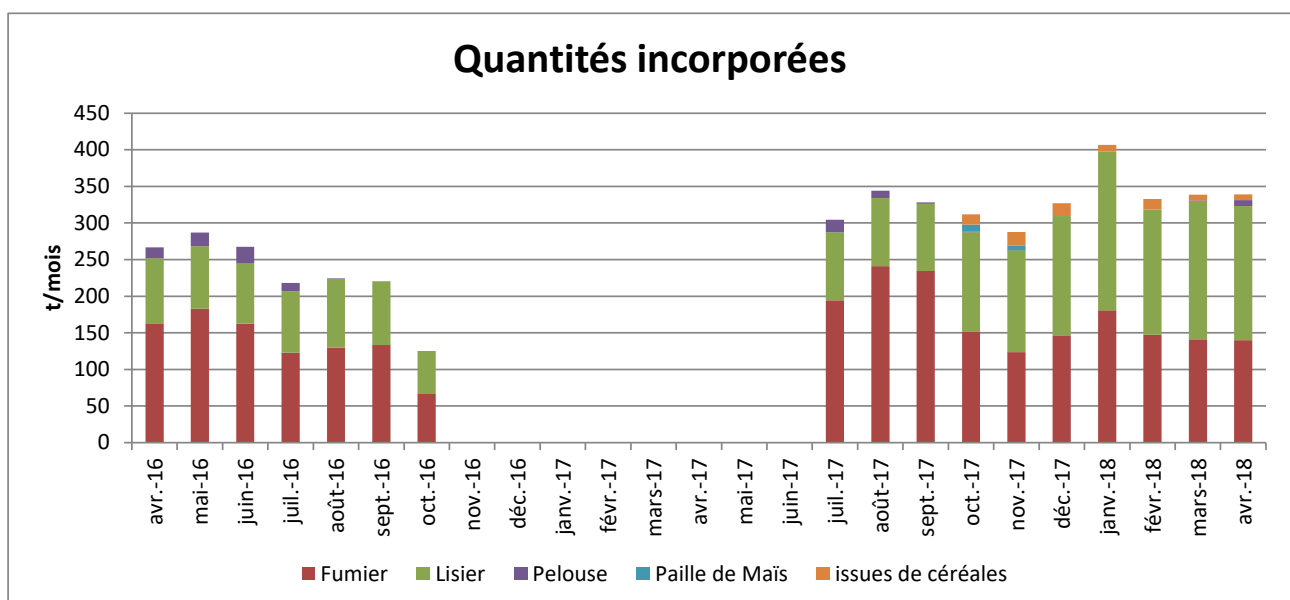


Figure 2 – Approvisionnement mensuel d'avril 2016 à avril 2018

Le tableau ci-dessous présente la ration telle que prévue dans le prévisionnel initial (« Prévisionnel étude de faisabilité »), celle prévue par l'exploitant pour 2017-2018, et celle réalisée d'octobre 2017 à avril 2018 projetée sur 12 mois :

Tableau 5 – Comparaison de la ration actuelle avec la ration prévisionnelle

	Unité	Prévisionnel étude de faisabilité	Prévisionnel ration 2017-2018 exploitant	Ration octobre 2017 à avril 2018 annualisée	Ecart prévi initial et ration 2017-2018	Ecart prévi initial et ration octobre 2017 à avril 2018
fumier bovin allaitant	t/an	980	1460	1767	49%	80%
lisier bovin (inclus jus de fumière)	t/an	900	1825	2054	103%	128%
fumier veaux boucherie	t/an	610			-100%	-100%
fumier ovin	t/an	100			-100%	-100%
ensilage sorgho	t/an	200			-100%	-100%
menues pailles	t/an	68			-100%	-100%
pelouses	t/an	30	50	17	67%	-44%
RGI Intercultures	t/an	62			-100%	-100%
jus de fumière	t/an	80			-100%	-100%
issues de céréales	t/an		160	151		
pailles de maïs	t/an		16	17		
<b>Quantité de matières entrantes totale</b>	<b>t/an</b>	<b>3030</b>	<b>3511</b>	<b>4006</b>	<b>16%</b>	<b>32%</b>
<b>Potentiel méthanogène de la ration</b>	<b>Nm<sup>3</sup>/an</b>	<b>130210</b>	<b>122974</b>	<b>131126</b>	<b>-6%</b>	<b>1%</b>
<b>Potentiel méthanogène par tonne</b>	<b>Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB</b>	<b>43,0</b>	<b>35,0</b>	<b>32,7</b>	<b>-18%</b>	<b>-24%</b>

N.B : Le lisier inclut du lactosérum depuis novembre 2017.

Le calcul du potentiel méthanogène de la ration a été calculé en prenant en compte les caractéristiques suivantes pour les matières entrantes :

Tableau 6 – Caractéristiques physico-chimiques prises en compte pour les intrants

	%MS	%MO	Nm3CH4/tMO	Nm3BZ/tMO	Nm3BZ/tMB	Nm3CH4/tMB
Fumier	27%	80%	245	445	96	53
Lisier + jus	5%	75%	134	244	9	5
Pelouse	30%	86%	305	555	143	79
Sorgho	26%	92%	308	560	134	74
Ray grass	26%	89%	323	587	136	75
Paille de Maïs	86%	75%	308	560	361	199
issues de céréales	87%	92%	380	691	553	304
Glycérine	33%	98%	430	782	253	139
Lactosérum	4,2%	47,9%	418	760	15	8
betterave rouge	20,0%	82,0%	326	593	97	53
pulpe betterave	33,0%	95,0%	300	545	171	94
Mais ensilage	30,0%	94,0%	652	1185	334	184
tournesol	88,0%	96,0%	420	764	645	355

**Les quantités introduites sont supérieures de l'ordre de 30% pour la période d'octobre 2017 à avril 2018 au tonnage prévu initialement. Le potentiel méthanogène de la ration est quant à lui conforme à celui prévu initialement, avec un potentiel par tonne inférieur compensé par des quantités plus importantes.**

Les quantités de fumier bovin allaitant sont supérieures au prévisionnel initial dans les deux cas (mais compensent le fumier de veaux de boucherie et ovins qui ne sont plus produits sur l'exploitation). 4 apporteurs de fumier amènent environ 400 t/an pour compléter les apports de l'exploitation.

La récolte des menues paille, prévue initialement, ne peut pas être mise en œuvre car l'entreprise qui effectue la moisson n'est pas équipée.



Les possibilités d'implantation de CIVE sont limitées sur l'exploitation : les surfaces sont en effet très largement couvertes en prairies, seuls une vingtaine d'hectares sont cultivés en céréales, ce qui limite les possibilités d'implantation d'intercultures à ces surfaces en été où le manque d'eau ne permet pas d'obtenir de bons rendements. Du sorgho a été cultivé les 2 premières années avec des rendements très aléatoires, puis l'exploitation a abandonné cette pratique : il préfère donc avoir recours à des issues de céréales et pailles de maïs qui permettent d'obtenir une meilleure marge. Le recours à de l'ensilage d'herbe serait éventuellement possible, mais ne permet pas de dégager une marge plus importante que les issues de céréales (cf. Chapitre 11I.2.7 Analyse des risques liés à la ration).

L'installation traite depuis octobre 2017 des pailles de maïs ramassées par l'exploitant à l'andaineur chez des voisins (4 ha soit de l'ordre de 16 t/an, incorporées en octobre-novembre uniquement), ainsi que par des issues de céréales (blé, parfois colza/maïs) provenant de silos du groupe Soufflet (société de courtage HBI, coût actuel 45 €/t). Le coût de mobilisation des pailles de maïs est estimé à 51 €/t :

- entre 150 et 200 € pour la récolte et le conditionnement des 4 ha.
- En contrepartie de la mise à disposition de ces pailles, 35 tonnes à lisier de digestat sont épandu par l'exploitant sur ces surfaces à raison de 20 min par tonne soit près de 12h (coût évalué à 720 €).

Enfin, l'exploitant pourrait avoir recours à des pulpes de betterave (23 €/t), mais l'intérêt économique de ce gisement est inférieur à celui des issues de céréales à ce jour. Une comparaison de l'intérêt économique de ces différents gisements est proposée dans le Chapitre 11I.2.7 Analyse des risques liés à la ration.

Du lactosérum est livré depuis quelques mois par le groupe SEDE (165 à 276 m<sup>3</sup>/mois à raison d'1 à 3 camions de 25 m<sup>3</sup> par semaine selon les mois, contrat à l'année avec une redevance de 10 €/m<sup>3</sup>). Il est stocké dans la préfosse de 80 m<sup>3</sup> (60 m<sup>3</sup> utile) qui contient également les lisiers de l'exploitation : une légère augmentation du potentiel méthanogène a donc été prise en compte, en prenant en compte la part de lactosérum dans le mélange (de l'ordre de 75 % depuis janvier 2018) et un potentiel méthanogène de 8 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB pour ce substrat, soit un potentiel moyen de 7,25 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB pour le mélange lisier/lactosérum à partir de janvier 2018.<sup>1</sup>

L'exploitant a également démarché un fournisseur potentiel de graisses issues de bacs à graisses de restaurants, qui pourrait fournir 60 m<sup>3</sup>/an. Cet intrant a été écarté en raison d'une faible disponibilité (1 camion de 6 m<sup>3</sup> depuis le début de l'année 2018). Le statut de l'installation ne permet pas d'accepter des graisses contenant des SPAN ce qui réduit les opportunités pour ce type de gisement.

L'objectif depuis la mise en place de la nouvelle trémie est de disposer d'un taux de MS de 10% dans digesteur (prémix). Pour ce faire, 15 à 20 m<sup>3</sup>/h de mélange en cours de digestion sont réincorporés dans le prémix pendant 3 h/j. L'ajout de lactosérum dans le mélange lisier/EVB depuis le début de l'année 2018 n'a pas modifié les quantités de recirculation du mélange en digestion.

### II.2.3. Analyses

Le tableau ci-dessous recense les analyses réalisées sur l'installation de 2015 à 2018 :

MS (%)	MO (% sur brut)	pH	N (g/kg)	NH4+ (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)
--------	-----------------	----	----------	-------------	----------	----------

<sup>1</sup> Il n'a pas été possible d'effectuer un bilan matière distinguant le lisier du lactosérum : en effet, les quantités de lactosérum réceptionnées ne sont connues qu'à partir de janvier 2018 et s'élèvent à 900 m<sup>3</sup> de janvier à avril 2018, alors que les quantités de liquide incorporées provenant de la fosse à lisiers sur cette période sont de 760 m<sup>3</sup>. Un échange avec l'exploitant a permis d'estimer à 75% la part de lactosérum dans le mélange lisier/lactosérum

<b>Digestat prélevé le 28/04/2015</b>	9,1%	6,4%	7,6	3,51	0,95	1,7	4,4
<b>Mélange digesteur prélevé le 26/09/2017</b>	16,2%	10,8%	9,8		1,45		
<b>Digestat prélevé le 10/03/2018</b>	10,9%	7,1%	8	4,77	0,41	3,8	5,4

Des analyses ont été réalisées sur le mélange dans le digesteur en septembre 2017, à une période où l'installation traitait des fumiers vieux et rencontrait des problèmes en raison d'un mélange trop sec : la teneur en matière sèche était effectivement élevée (16,2%), ainsi que le pH pour un mélange en cours de digestion (9,8). L'analyse avait également porté sur les teneurs en AGV. Les teneurs en  $\text{NH}_4$  et AGV étaient corrects :  $\text{NH}_4^+ < 3$ , et AGV totaux  $< 3$ . La teneur en AGV totaux seule ne permet pas de déterminer si le fonctionnement biologique était bon (l'indicateur le plus pertinent serait le rapport AGV/TAC), mais le rapport acide acétique/acide propionique  $> 3$  indique que les conditions de digestion étaient correctes.

L'analyse la plus récente réalisée sur le digestat en mars 2018 montre que le taux de matière sèche est un peu élevé (10,9%) mais le digestat reste pompable, et le pH de 8 est conforme à la valeur couramment observée pour le digestat. La teneur en  $\text{NH}_4^+$  est faible, ce qui peut être lié à une volatilisation avant l'analyse. L'exploitant prévoit désormais de réaliser des analyses du mélange dans le digesteur 2 à 3 fois par an.

## II.2.4. Potentiel méthanogène de la ration

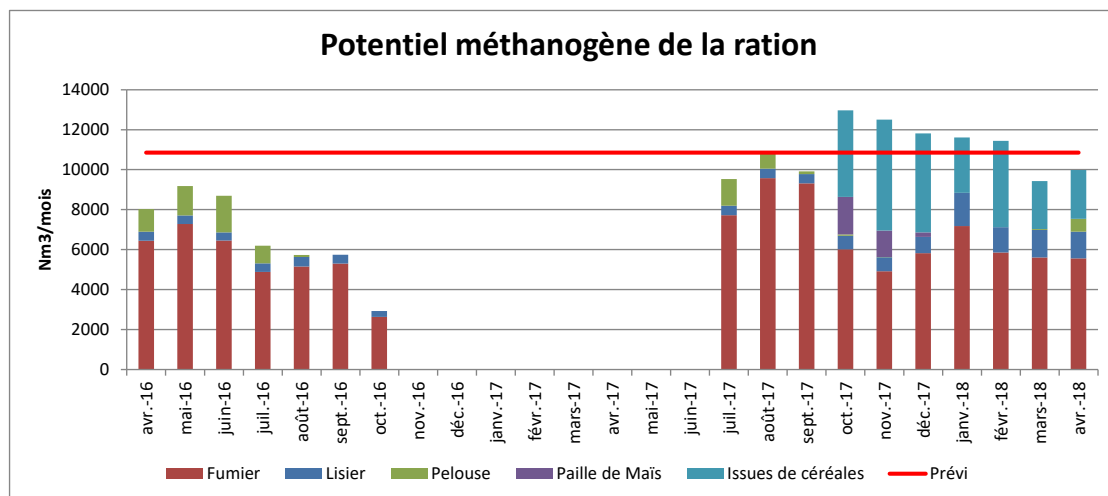


Figure 3 - Potentiel méthanogène de la ration mois par mois d'avril 2016 à avril 2018

Jusqu'à l'ajout d'issues de céréales et pailles de maïs, le potentiel méthanogène de la ration était inférieur au prévisionnel sauf en août 2017. Il dépasse le prévisionnel d'octobre 2017 à février 2018.

De juillet 2017 à avril 2018, le potentiel méthanogène moyen de la ration s'élevait à  $32,9 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{t MB}$ . Les issues de céréales représentent en moyenne 34% du potentiel méthanogène de la ration sur cette période. Dans la ration prévue par l'exploitant pour 2017-2018, le potentiel méthanogène de la ration s'élèverait à  $35 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{t MB}$  et les issues de céréales représentent 40% du potentiel méthanogène :

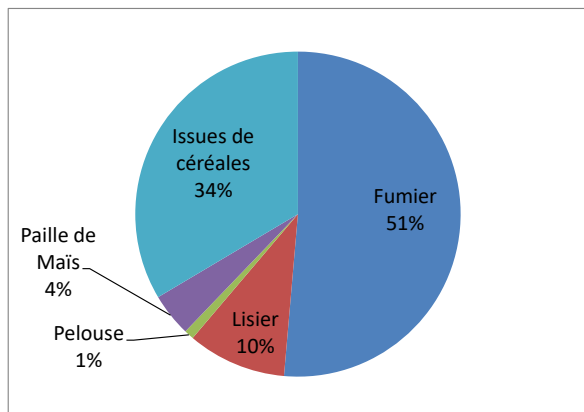


Figure 4 - Répartition du potentiel méthanogène de la ration d'octobre 2017 à avril 2018

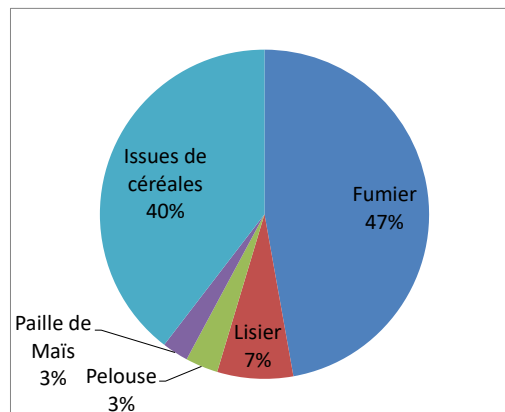


Figure 5 - Répartition du potentiel méthanogène de la ration prévue par l'exploitant en 2017-2018

## II.2.5. Indicateurs techniques

Tableau 7 - Indicateurs techniques

	Unité	Prévisionnel	Constaté (ration d'octobre 2017 à avril 2018)
<b>Temps de séjour</b>	j	88 j	66
<b>Charge organique</b>	Kg MO/m <sup>3</sup> /j		2

Le temps de séjour dans le digesteur est très inférieur au prévisionnel. Ce temps de séjour est un peu court pour le type de matières traitées, en particulier les fumiers, en l'absence de post-digesteur. La part du potentiel méthanogène qui ne peut pas s'exprimer en raison d'un temps de séjour insuffisant est cependant probablement faible, de l'ordre de 5%.

L'évolution des équipements d'incorporation avec la mise en place d'un système prémix et la recirculation de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/jour du mélange en digestion permet un broyage fin et une dégradation plus rapide des matières incorporées, ce qui permet de réduire le temps de séjour nécessaire au mélange pour se dégrader. La charge organique est quant à elle dans la gamme recommandée classiquement pour ce type de technologie.

## II.2.6. Sécurisation des gisements

Le potentiel entrant est suffisant depuis que du fumier frais est incorporé et que des issues de céréales sont ajoutés. La fourniture de ce co-produit n'est pas contractualisée (seul un email atteste de la fourniture de cet intrant). La négociation menée avec la société de courtage HBI n'a pas permis d'obtenir un contrat et de baisser le prix (actuellement 45€/t).

Un contrat a par ailleurs été établi avec SEDE pour le lactosérum mais les quantités livrées n'y sont pas précisées. Le potentiel méthanogène n'est pas très élevé mais l'exploitant est rémunéré pour traiter ce gisement (10€/m<sup>3</sup>).

La prospection d'autres matières par l'exploitant permet d'envisager de substituer les issues de céréales si elles devenaient moins disponibles ou trop coûteuses à l'avenir, par exemple par des pulpes de betterave. Enfin, le recours à de l'ensilage d'herbe voire à de l'ensilage de maïs est également envisageable.

L'exploitant dispose d'un outil excel lui permettant de déterminer rapidement l'intérêt économique d'un nouveau substrat en fonction de son prix et de son pouvoir méthanogène.

## II.2.7. Analyse des risques liés à la ration

Les issues de céréales représentent une part importante du potentiel énergétique de la ration : il apparaît nécessaire de sécuriser l'approvisionnement pour cet intrant en contractualisant. Si ça n'est pas possible, des solutions de substitutions doivent pouvoir être mises en œuvre en cas d'évolution des conditions de fourniture de co-substrat. La recherche de gisements complémentaires effectuée par l'exploitant (lactosérum, bacs à graisse, pulpes de betterave...) mérite donc d'être poursuivie. A noter que la production de fumiers sur l'exploitation a vocation à augmenter avec l'augmentation du nombre de vêlages.

L'exploitant effectue des démarches pour identifier des gisements complémentaires et détermine l'intérêt économique de chaque intrant extérieur qu'il pourrait potentiellement mobiliser en substitution des issues de céréales : il a ainsi évalué l'intérêt de produire des CIVE ou du maïs ensilage, ou encore d'avoir recours à des pulpes de betterave.

Nous proposons ci-dessous notre propre approche de l'intérêt économique de chaque substrat, s'appuyant sur les recettes et les charges générées (CAPEX) par chaque intrant, et prenant en compte la contribution de chaque tonne de matière traitée à l'amortissement de l'investissement (OPEX amorti sur 15 ans, prise en compte de 11 ans restant à amortir).

La figure ci-dessous présente l'évaluation de la marge générée par chaque intrant avec la ration actuelle :

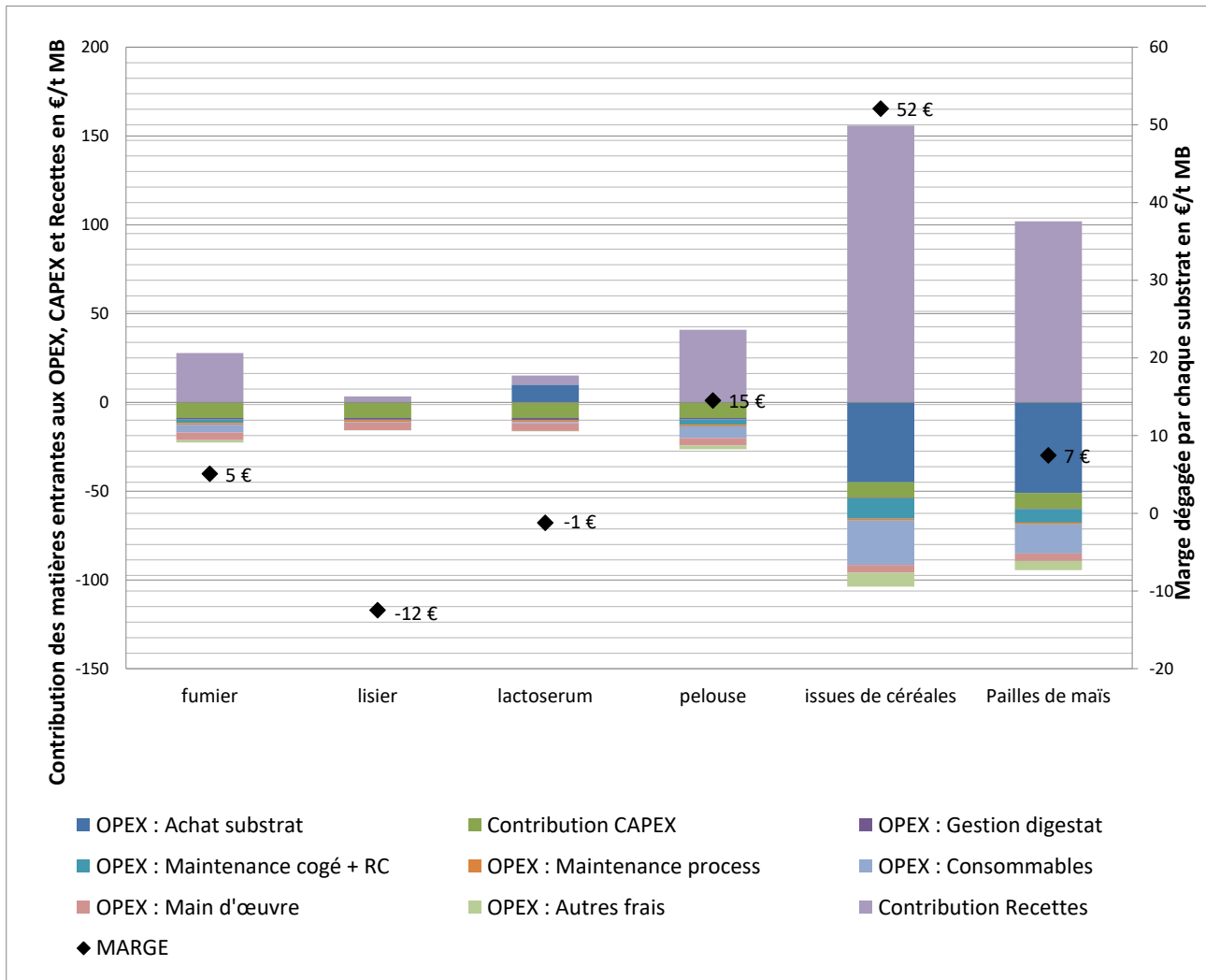


Figure 6 - Marge générée par chaque intrant avec la ration actuelle

On constate que le lactosérum rémunéré 10€/t ne permet pas de dégager de marge étant donné son faible potentiel méthanogène. Le lisier a également un potentiel méthanogène trop faible pour générer une marge positive. Ces intrants présentent tout de même l'intérêt d'apporter du liquide et une composition chimique complémentaire aux autres intrants (protéine et graisses pour le lactosérum, pouvoir tampon et ensemencement bactérien pour le lisier). Les issues de céréales achetées à 45 €/t permettent de dégager la marge la plus importante parmi les substrats traités, permettant d'envisager de les conserver même en cas d'augmentation du prix.

*N.B : Les charges liées au fonctionnement et à la maintenance des équipements d'incorporation et de digestion sont réparties en fonction des tonnages traités, or les intrants liquides tels que le lactosérum et le lisier entraînent moins de consommations et d'usure que des intrants solides tels que le fumier. Cette nuance n'a pas pu être prise en compte dans cette approche.*

Les hypothèses retenues pour évaluer l'intérêt des intrants qui pourraient remplacer les issues de céréales sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 - Hypothèses retenues pour l'évaluation de l'intérêt économique de chaque substrat

Rendement	Coût de mobilisation	Composition et potentiel méthanogène		
		MS	MO	PM

<b>Ensilage de CIVE</b>	16 t MB/ha	400 €/ha soit 25 €/t	28%	25%	350 Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t MO
<b>Ensilage d'herbe</b>	30 t MB/ha	300 €/ha soit soit 10 €/t	28%	25%	260 Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMO
<b>Maïs ensilage</b>	40 t MB/ha	450 €/ha soit 11,25 €/t MB	30%	27%	380 Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMO
<b>Pulpes de betterave</b>		Achat à 23 €/t MB	29%	27%	270 Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tMO

Dans l'hypothèse d'une substitution des issues de céréales, les quantités de chaque intrant alternatif envisagé nécessaires pour obtenir la même quantité de biométhane seraient les suivantes :

Tableau 9 - Evaluation des quantités nécessaires pour produire l'équivalent de 151 t d'issues de céréales

	Quantité nécessaire dans le cas d'une substitution totale par un seul intrant	Simulation 1 : Exemple de ration permettant de substituer la totalité des issues de céréales	Simulation 2 : Exemple de ration permettant de substituer une partie des issues de céréales
<b>Issues de céréales</b>	151 t	0 t	50 t
<b>Ensilage de CIVE</b>	432 t	115 t	80 t
<b>Ensilage d'herbe</b>	582 t	115 t	80 t
<b>Ensilage de maïs</b>	519 t	115 t	80 t
<b>Pulpes de betterave</b>	369 t	115 t	80 t

L'évaluation de la marge générée par chaque intrant dans l'hypothèse d'une substitution de tout ou partie des issues de céréales donne les résultats suivants :

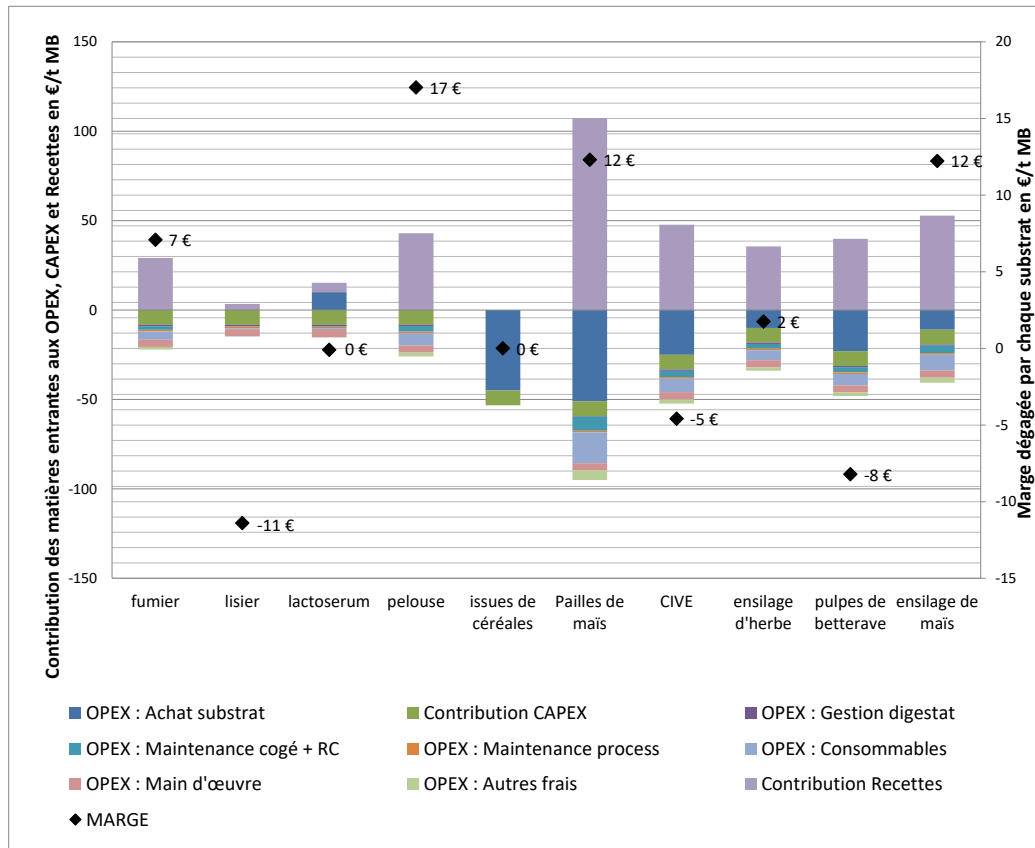


Figure 7 - Marge générée par chaque intrant dans le cas d'une substitution totale des issues de céréales - simulation 1

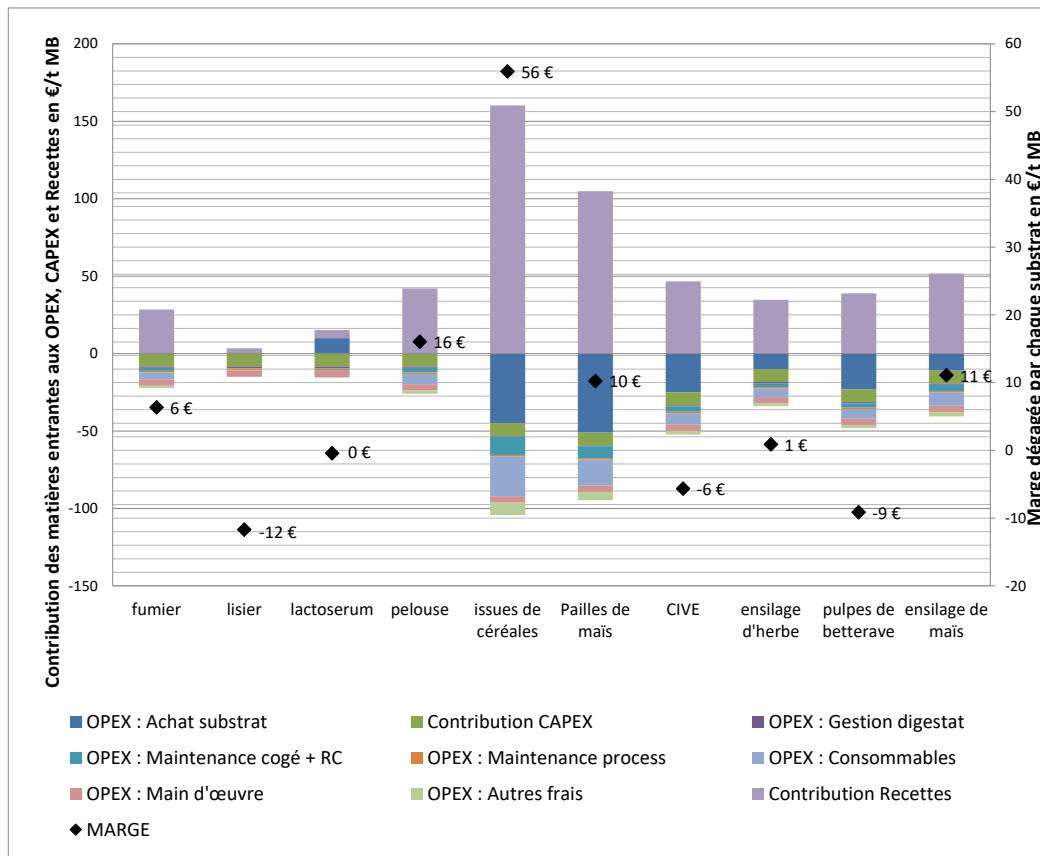


Figure 8 - Marge générée pour chaque intrant dans le cas d'une substitution partielle des issues de céréales - simulation 2

Les issues de céréales permettent de dégager une marge de 52 €/t avec la ration actuelle, et de 56 €/t dans le cas d'une substitution partielle par d'autres gisements (101 t substituées sur les 151 t).

Pour les 2 simulations, les seuls intrants permettant de générer une marge positive sont l'ensilage de maïs et dans une moindre mesure l'ensilage d'herbe.

Dans le cas d'une substitution de toutes les issues de céréales par de l'ensilage de maïs (soit 519 t correspondant 13 ha), la marge générée par 1 tonne d'ensilage de maïs s'élève à 9€/t. Ce gisement représenterait alors 11% de la ration en tonnage. Bien que moins rentable que les issues de céréales, cette alternative reste envisageable en cas besoin de substituer des issues de céréales.

## II.3. Production de biogaz et d'énergie

### II.3.1. Moyens de mesure et données disponibles

Le site est équipé d'un débitmètre biogaz situé avant le module de cogénération, et d'un analyseur de biogaz (pas étalonné d'où une analyse biaisée). La quantité d'électricité est mesurée en sortie d'alternateur. L'électricité et la chaleur valorisées sont relevées au niveau du module de cogénération, et l'électricité injectée sur le réseau est relevée au niveau du compteur ENEDIS.

### II.3.2. Données prévisionnelles et actuelles

Tableau 10 - Production énergétique et comparaison au prévisionnel

	Unité	Prévisionnel étude de faisabilité	Données de production (octobre 2017 à avril 2018 annualisé)	Ecart au prévi étude de faisabilité	Ecart au prévi ration octobre 2017 à avril 2018
<b>Quantité de matières entrantes totale</b>	<b>t/an</b>	<b>3030</b>	4006	32%	0%
<b>Production de méthane</b>	<b>Nm<sup>3</sup>/an</b>	<b>130210</b>	135154	4%	3%
<b>Production de méthane par tonne</b>	<b>Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t MB</b>	<b>43,0</b>	34	-21%	3%
Production de biogaz	Nm <sup>3</sup> /an	229784	247989	8%	8%
taux de méthane	%	57,0%	54,5%	-4%	-4%
Energie primaire totale	MWh PCI/an	1294	1346	4%	3%
Energie primaire entrée cogénérateur	MWh PCI/an	1165	1346	16%	3%
Rendement électrique brut	%	33,8%	27,3%	-19%	-19%
Electricité produite	MWhe/an	394	368	-7%	-17%
Puissance moyenne développée	kWe	50	47	-7%	-17%
Electricité vendue	MWhe/an	385	354	-8%	-18%
Rendement électrique net	%	33,05%	26,31%	-20%	-20%
Chaleur produite	MWh/an	595	688	16%	3%
Chaleur autoconsommée	MWh/an	160	NC		
Chaleur valorisée hors autoconso	MWh/an	362	525	45%	
Rendement thermique brut	%	51%	51%		
Electricité consommée pour le process	Mwhe/an	33,397	72	116%	

La production de méthane est supérieure de 4% au prévisionnel initial et de 3% à la production théorique calculée avec le potentiel des matières entrantes.

Le prévisionnel prenait en compte une perte de 10% du biogaz avant la cogénération (torchère). Sans perte, l'énergie primaire en entrée de cogénérateur est supérieure de 16% au prévisionnel théorique. Le rendement électrique brut réel s'élève à 27,3% sur les 7 derniers mois, alors que le rendement pris en compte Audit de fonctionnement technico-économique GIRAUD -



initialement était de 33,8%. L'électricité brute produite est de l'ordre de 17% inférieure à celle qui devrait être obtenue avec la ration incorporée, et l'électricité vendue de l'ordre de 18%. Par rapport au prévisionnel de l'étude de faisabilité, l'écart est moindre : l'électricité produite est inférieure de 7% au prévisionnel initial et l'électricité vendue de 8%.

La chaleur valorisée est supérieure de 45% à ce qui était prévu au départ.

A noter le moteur a fonctionné 83% du temps d'octobre 2017 à avril 2018.

La chaleur est valorisée pour le chauffage de 5 maisons, d'un ballon d'eau chaude pour l'élevage, et alimente un séchoir. La répartition des consommations d'octobre 2017 à avril 2018 a été la suivante :

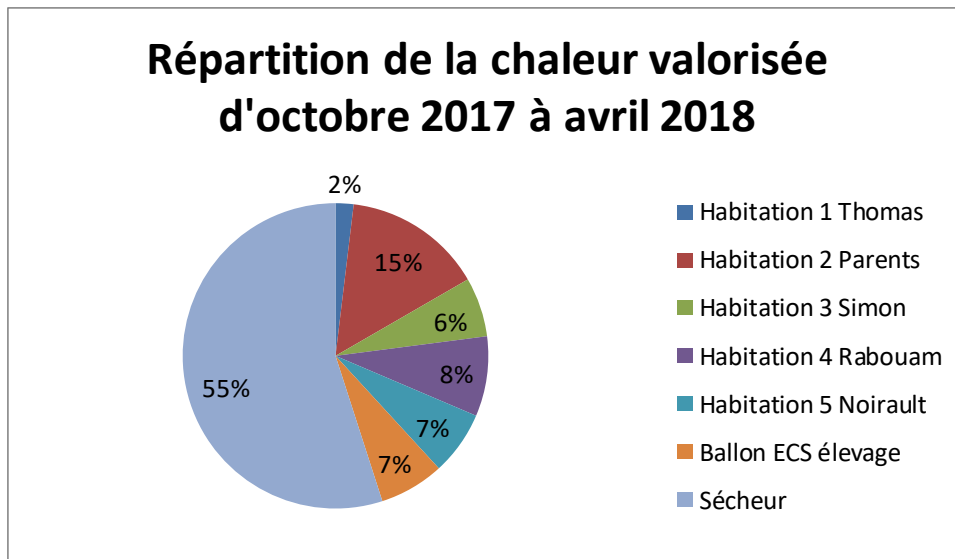


Figure 9 - Répartition de la chaleur valorisée d'octobre 2017 à avril 2018

A noter qu'en période hivernale la part de chaleur dédiée au chauffage des habitations est plus importante.

Les postes de consommations électriques pour le process sont la trémie, les agitateurs et les aérothermes pour le séchoir. Elle s'est élevée à 6 MWh/mois sur les 6 derniers mois de 2017, ce qui est plus que le double de ce qui était prévu initialement. Cette consommation représente 19% de l'électricité brute produite et 5% de l'énergie primaire produite, ce qui est non négligeable mais dans la gamme des consommations constatées pour ces tailles d'installation dans le suivi petite méthanisation ADEME<sup>2</sup> : 1,3% à 9,4% de l'énergie primaire produite, et 17% à 34% de l'électricité brute produite.

### II.3.3. Paramètres de fonctionnement

Un relevé quotidien de la température est effectué, et des mesures de pH sont réalisées ponctuellement. La température comprise entre 33 et 35°C depuis début 2018, ce qui est insuffisant pour un digesteur en condition mésophile : l'exploitant s'est rendu compte tardivement de cette dérive de température qui est désormais corrigée. Cette température trop basse ne semble pas avoir eu d'impact significatif sur la production.

<sup>2</sup> ADEME, 2016, *Suivi technique, économique, environnemental et social de sept installations de petite méthanisation à la ferme*, données de consommation électrique process recueillies sur 5 installations de puissance inférieure ou égale à 75 kWe

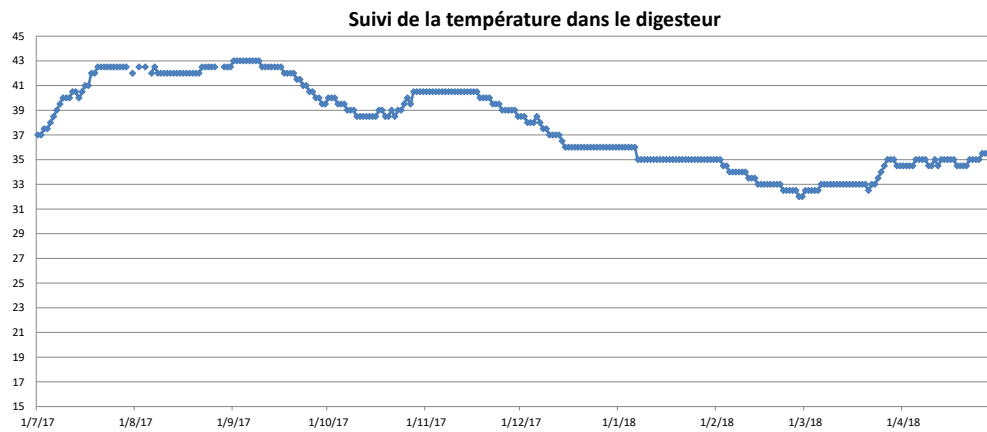


Figure 10 - Suivi du relevé quotidien de température dans le digesteur

L'exploitant ne réalise des analyses de pH que ponctuellement lorsqu'il constate une baisse production par exemple. Les derniers relevés de pH qui datent d'octobre 2017 s'établissent à 7,6, ce qui est dans la gamme recommandée dans un digesteur.

### II.3.4. Production de biogaz

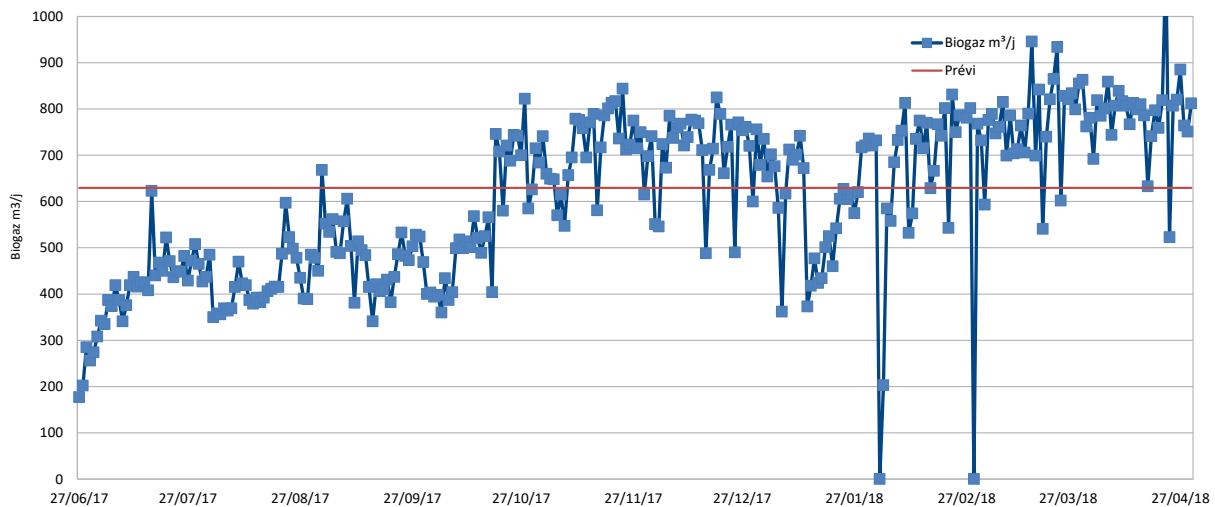


Figure 11 - Production quotidienne de biogaz de juillet 2017 à avril 2018

La production de biogaz est inférieure au prévisionnel jusqu'au 20/10/17. Divers problèmes techniques ont conduit à des aléas de production au cours des derniers mois (cf. Tableau 3 - Problèmes techniques et interventions réalisées depuis juillet 2017), en particulier :

- Un dysfonctionnement de la sonde de mesure du biogaz au niveau du moteur le 3 février 2018, corrigé grâce à une intervention par téléphone
- Une baisse soudaine de la qualité du biogaz le 1<sup>er</sup> mars 2018 suite à l'incorporation d'une quantité importante de lactosérum, suivie d'un retour à la normale sans intervention particulière.

En période hivernale, l'incorporation de matières froides, en particulier le mélange lisier/lactosérum provenant de la préfosse, a pu conduire à des variations de production de biogaz, d'autant plus que la température dans le digesteur était un peu trop basse.

### II.3.5. Production d'électricité

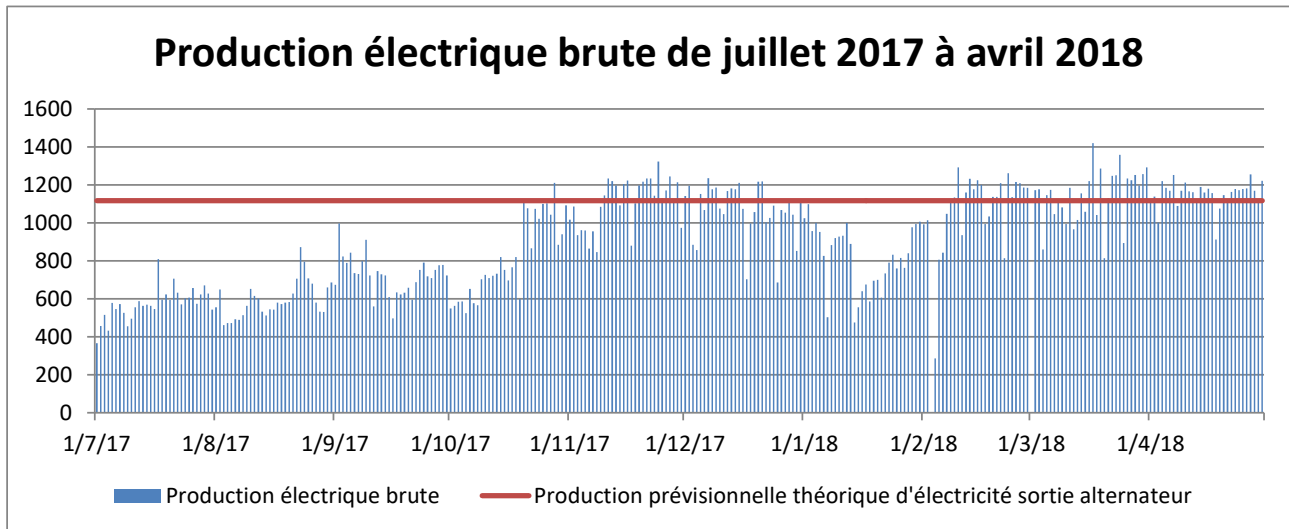


Figure 12 - Production électrique brute - relevé quotidien de juillet 2017 à avril 2018

La production d'électricité suit la même tendance que la production de biogaz : la production dépasse le prévisionnel très régulièrement depuis le mois de novembre 2017, avec tout de même des variations quotidiennes assez importantes. Les coupures de réseau électrique, ainsi que l'impossibilité de régler correctement le moteur en fonction du débit de biogaz impactent la production.

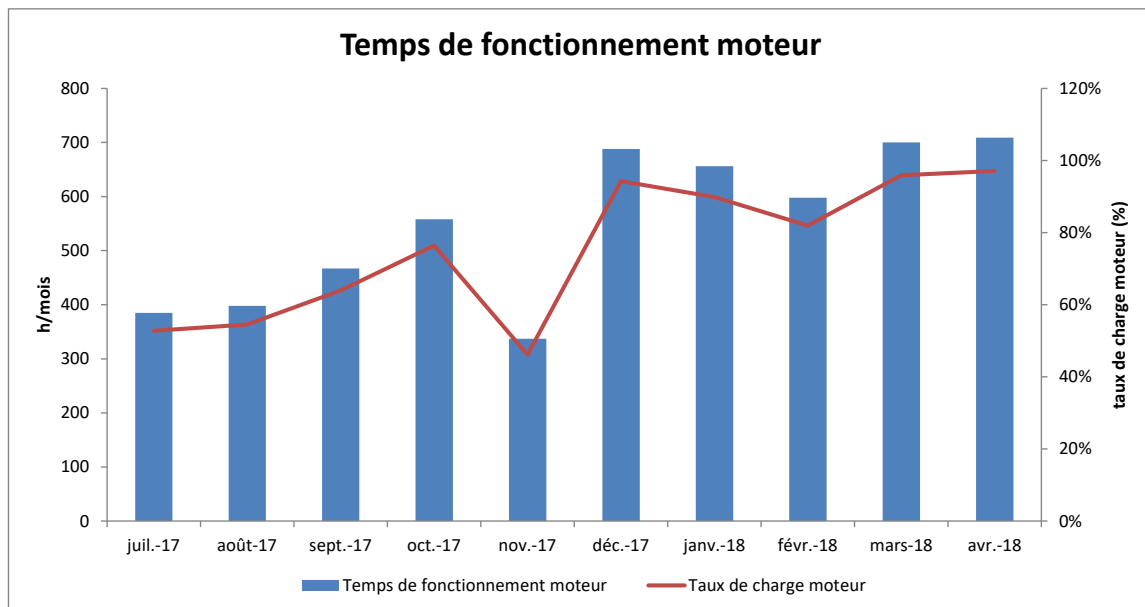


Figure 13 - Temps de fonctionnement du moteur mois par mois de juillet 2017 à avril 2018

Le moteur a fonctionné 83% du temps d'octobre 2017 à avril 2018. Différents problèmes survenus en novembre ont conduit à un faible temps de fonctionnement du moteur à cette période.

### II.3.6. Taux d'expression du potentiel méthanogène

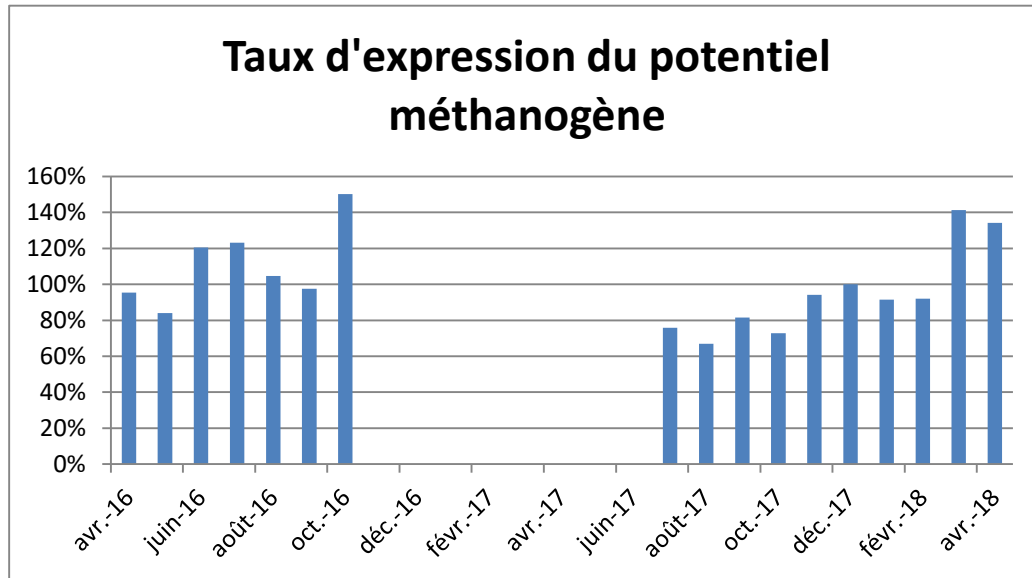


Figure 14 - Taux d'expression du potentiel méthanogène mois par mois

Le taux d'expression du potentiel méthanogène s'établit à 101% en moyenne sur les 7 derniers mois (octobre 2017 à avril 2018), témoignant d'une bonne dégradation des matières entrantes. Le taux d'expression sur les 2 derniers mois avoisine les 130%, ce qui laisse penser que le potentiel entrant est sous-estimé sur cette période (potentiel du lactosérum ? autre ?).

### II.3.7. Analyse des risques liés à la production d'énergie

La production de biogaz était insuffisante jusqu'au changement de trémie à l'été 2017 et à la modification de la ration (ajout issues de céréales), en raison de difficultés d'incorporation, d'un taux de MS trop élevé, et d'un potentiel inférieur au prévisionnel. Depuis juillet 2017, le potentiel méthanogène de la ration a été augmenté et est conforme à celui de la ration prévisionnelle. La production de biogaz dépasse légèrement celle du prévisionnel initial.

Le moteur fonctionne bien mais le rendement est faible : 28-29% (55% CH<sub>4</sub>) d'après l'exploitant, 27,3% en moyenne sur les derniers mois, au lieu des 33% (60% CH<sub>4</sub>) annoncés par le motoriste. Il n'y a pas de régulation automatisée. Cogenco a été repris par Véolia, l'exploitant évoque une piste qui serait de changer l'automate du moteur (Pasquier l'a fait sur un autre site). Il a également demandé les codes de l'automate à Cogenco. Il apparaît effectivement nécessaire d'intervenir pour permettre une régulation automatisée du moteur en fonction du débit et de la qualité du biogaz, la marge sur le rendement électrique étant importante.

## II.4. Valorisation du digestat

### II.4.1. Données de production et d'utilisation

	Prévisionnel	Réalisé
<b>Quantité de digestat produit</b>	2600 t/an	En 2017 : 2580 m <sup>3</sup> de digestat épandu dont 1027 m <sup>3</sup> exportés, année normale production de 4000 m <sup>3</sup>
<b>Quantité de N/P/K</b>		4,77/3,8/5,4
<b>Post-traitement</b>	aucun	aucun
<b>Matériel d'épandage</b>	Buses à ras du sol	Tonne à lisier 15 m <sup>3</sup> sans pendillard
<b>Surfaces épandues</b>		Sur exploitation + 4 apporteurs (1,3 t digestat contre 1 t fumier) + 1 échange paille contre digestat (1 t de paille de blé pour l'élevage contre 2 t de digestat) et mise à disposition de pailles de maïs contre digestat Epandu par GAEC Giraud
- <b>Sur l'exploitation</b>		
- <b>A l'extérieur</b>		
<b>Types de culture fertilisées avec du digestat</b>		Prairies et blé (avant semis) sur l'exploitation, maïs chez apporteur de pailles de maïs

L'économie d'engrais (ammonitrate) est estimée par l'exploitant entre 3000 et 4000 €/an selon les années et la surface implantée en blé. L'absence de pendillards entraîne cependant une perte d'azote ammoniacal par volatilisation qui réduit l'intérêt fertilisant du digestat.

La quantité d'azote annuelle fournie par le digestat peut être estimée à 19 t sur une base de 4000 m<sup>3</sup> avec une concentration en azote de 4,77 g/kg : en prenant l'hypothèse que la réduction de l'utilisation d'engrais s'élève à 60% de la valeur azotée du digestat, l'économie réalisée peut être chiffrée à 3420 € (avec un coût moyen de l'urée et de l'ammonitrate en 2016/2017 estimé à 300 €/t N)

### II.4.2. Analyse des risques liés à la valorisation du digestat

Le digestat permet de réaliser des économies d'engrais sur l'exploitation et de paille pour l'élevage. Les apports de fumier pour la méthanisation sont compensés par l'épandage de digestat chez ces apporteurs. Les pailles de maïs font également l'objet d'un arrangement avec échange de digestat.

La valorisation du digestat ne paraît pas poser de problème. Les capacités de stockage sont en revanche plutôt limitées, puisqu'elles s'élèvent à 1200 m<sup>3</sup> au total pour une production estimée à 4000 m<sup>3</sup>/an en année normale, soit moins de 4 mois de capacité de stockage.

### III. Approche économique

#### III.1. Investissement

##### III.1.1. Décomposition des investissements

Tableau 11 - Investissements initiaux et complémentaires par poste

		Coût total initial- € HT	Investissement complémentaire	Investissement cumulé- € HT
<b>INVESTISSEMENTS TOTAUX</b>		<b>615 244,43</b>	<b>162 950,00</b>	<b>778 194,43</b>
Catégorie A	Aménagement du site	26 685,50	-	26 685,50
Catégorie B	Gestion et traitement des Substrats	96 021,18	149 641,00	245 662,18
Catégorie C	Méthanisation	116 241,40	9 459,00	125 700,40
Catégorie D	Gestion et traitement du Digestat	53 582,75	-	53 582,75
Catégorie E	Gestion et valorisation du Biogaz	248 549,60	2 000,00	250 549,60
Catégorie F	Ingénierie	74 164,00	1 850,00	76 014,00

Les investissements complémentaires ont porté sur :

- L'incorporation : nouvelle trémie et prémix 149 641 € HT
- La méthanisation :
  - o changement de la bache du digesteur : 2459 €
  - o changement de l'agitateur fin 2015 : 25 685 € dont 7000 € pris en charge par l'exploitant (franchise assurance)
- La gestion et la valorisation du biogaz : changement de la pompe du réseau de chaleur : 2000 €

L'investissement cumulé ramené à la puissance électrique s'élève à 15 563 €/kWe ce qui est élevé comparé à celui du suivi petite méthanisation ADEME<sup>3</sup> (8584 €/kWe en moyenne pour les 5 installations voie liquide) et à celui du suivi ADEME de 13 installations de 70 à 250 kWe<sup>4</sup> (6336 €/kWe en moyenne).

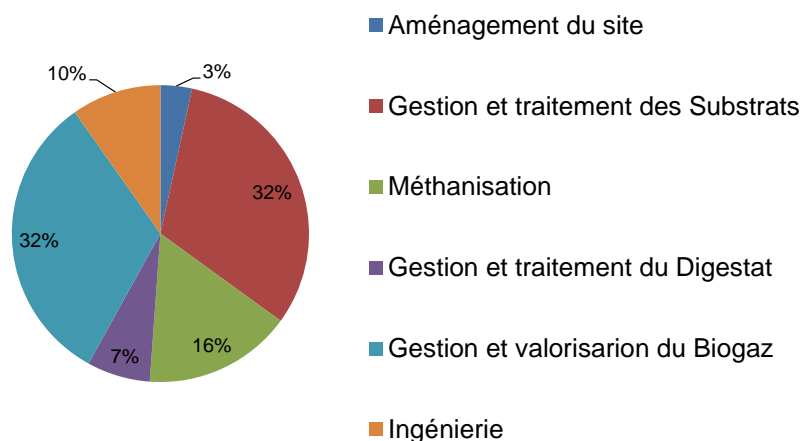


Figure 15 - Répartition des investissements par poste

La part de l'investissement dédiée à l'incorporation des substrats est très supérieure à celle observée dans le cadre des 2 suivis ADEME où elle s'élevait à 10-12%. La part de l'investissement dédiée à la valorisation du

<sup>3</sup> ADEME, 2016, *Suivi technique, économique, environnemental et social de sept installations de petite méthanisation à la ferme*

<sup>4</sup> ADEME, 2014, *Suivi technique, économique, environnemental et social d'installations de méthanisation à la ferme, centralisées, industrielles et en station d'épuration*

biogaz est en revanche similaire à celle des installations ayant fait l'objet du suivi petite méthanisation ADEME. L'investissement est élevé par rapport à la puissance électrique installée en raison des choix technologiques effectués qui sont difficiles à amortir sur une installation de cette taille (trémie et prémix, couverture des fosses de stockage...).

### III.1.2. Financement

Tableau 12 - Financement de l'investissement

	Montant (€)	Part (%)
<b>Fonds propres</b>	103 000 €	13%
<b>Emprunt</b>	364 559 € Crédit agricole	47%
<b>Subventions</b>	Subvention initiale 250 685 € Subvention complémentaire : 60 000 € (40% pour trémie + prémix)	40%

Durée du prêt/Taux d'intérêt / montant des intérêts :

- Cogénération : 9498 €/an sur 8 ans (jusqu'à 2021)
- Méthanisation : 28 282 €/an sur 15 ans (depuis 2013, avec 1 an de différé)
- Trémie+prémix : 7650 €/an sur 12 ans (début 2018)

Les mensualités s'élèvent donc à 45 430 €/an au total de 2018 à 2021, puis à 35 932 €/an de 2021 à 2029.

### III.2. Produits

Tableau 13 – Hypothèses retenues pour les produits

	Montant prévisionnel (€/an)	Produits actuellement constatés (octobre 2017 à avril 2018) (€/an)
<b>Vente d'électricité</b>	77 762 €	78 308 €/an (45 680 € sur 7 mois) ; Tarif actuel : 221,1 €/MWh Ce tarif risque d'être revu à la baisse en raison d'une réduction de la prime « effluents d'élevage » suite à l'incorporation de lactosérum. Sur les 4 premiers mois de l'année 2018, la part d'effluents (fumiers et lisiers) s'élève en effet à 48%. La projection annuelle de la période d'octobre 2017 à avril 2018 prend en compte 1540 m <sup>3</sup> /an de lactosérum et conduit à une part d'effluents de 57%. (Scénario réalisé) Dans le cadre de l'avenant BG11, le tarif pour une installation de 50 kWe s'élève à : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 221,02 €/MWh avec la prime effluents maximale (&gt;=60%)</li> <li>- 219,01 €/MWh avec 57% d'effluents</li> <li>- 212,99 €/MWh avec 48% d'effluents</li> </ul> La différence de revenu entre 60% et 48% d'effluents serait donc de 8,03 €/MWh soit pour 390 MWh/an une perte de 3130 €/an à comparer à un écart de redevance déchet de 6000 €.
<b>Chaleur</b>	8 336 €	La chaleur est vendue auprès de 2 voisins, et représente une économie pour la maison de l'exploitant, de ses parents, et de son frère (non refacturé par le GAEC).

La vente de chaleur aux 2 voisins s'est élevée à 2291 € d'avril 2017 à avril 2018.

L'économie réalisée pour la maison des parents de l'exploitant s'élève à 2500 €/an de fioul substitué, et 2000 €/an d'électricité substituée pour les maisons de l'exploitant et de son frère.

A noter que la chaleur permet de réaliser des économies d'aliments pour animaux grâce au séchage de luzerne non pris en compte dans le bilan économique présenté ci-après : entre 2014 et 2016, l'achat d'aliment a été réduit de 5,6 t/an d'aliments alors que le nombre d'animaux a augmenté, ce qui représente une économie de l'ordre de 5600€/an par rapport à la situation avant méthanisation (déduire le temps de travail supplémentaire pour la production de luzerne)

<b>Digestat</b>	Economie de paille pour l'élevage 3,6 t à 45 €/t = 162€ L'échange paille / digestat permet d'éviter 162 € d'achat pour les 3,6 t de paille qui sont échangées contre 7,2 t de digestat épandu par le GAEC. Economie d'engrais : 3000 à 4000 €/an
<b>Redevance déchet</b>	Lactosérum : 10€/m <sup>3</sup> , quantité estimée à 1540 m <sup>3</sup> /an soit 15 400 €/an Scénario optimisé : diminution du volume traité pour atteindre 60% d'effluents et le tarif maximal : 1350 m <sup>3</sup> /an soit 13 500 €/an

### III.3. Charges

Tableau 14 - Hypothèses retenues pour les charges

	<b>Montant prévisionnel (€/an)</b>	<b>Produits actuellement constatés (période prise en compte ?) (€/an)</b>
<b>Approvisionnement</b>	Intercultures et MP : 6310 € Manutention sur site (700 l de fioul) : 657 €	Les issues sont achetées 45 €/t soit une charge de 6795 €/an pour 151 t Récolte des pailles de maïs et épandage de digestat sur ces surfaces estimé à 51 €/t soit 867 €/an
<b>Electricité</b>	2283 €	Objectif 2018 : 8000 €/an 2015 : 9888 € pour 70 769 kWh soit 139,72 €/MWh 2016 : 9895,31€ pour 77871kWh soit 127,71€/MWh 2017/2018 : 6000 kWh/mois sur les 6 derniers mois / 1110€/mois
<b>Conso propane</b>	211 € (année 1)	0
<b>Maintenance</b>	Process : 4861 € (2% invest métha) Cogénération : 14585 € (1,85 €/h de fct) Réseau chaleur : 1071 € (1,3% invest réseau + chaufferie)	Cogénération : à la demande, 3100 €/an pour consommables et 1 intervention motoriste + provision grosse maintenance 2000 €/an Réseau chaleur 1000 €/an Maintenance méthanisation : 2651€/an pour prémix (2 couteaux, 1 grille et stator) + 1500 €/an pour agitateur (élevé)



<b>Assurances</b>	3691 €	MMA 4200 €/an (7000 € de franchise) pertes exploitation
<b>Main d'œuvre</b>	3640 € (7 h/semaine ; 10 €/h)	2 h/jour, 30 €/h
<b>Suivi biologique</b>	2502 €	300 €/an

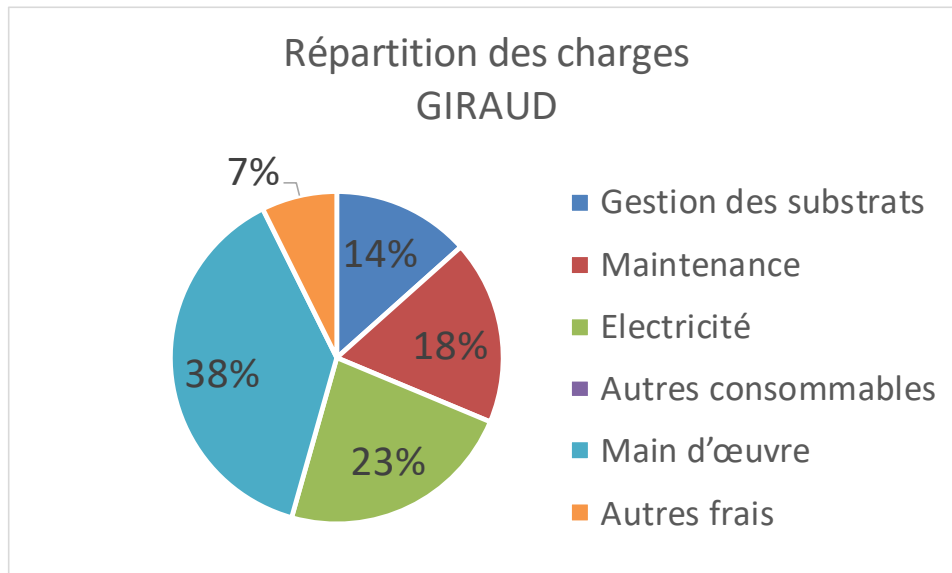


Figure 16 - Répartition des charges

Les charges liées à la main d'œuvre sont les plus impactantes, suivies par les charges de consommables (électricité). La maintenance ne représente que 18% des charges en raison de l'absence de contrat de maintenance pour la méthanisation et d'un contrat « à la demande » pour le moteur.

### III.4. Bilan économique

Le tableau ci-dessous présente les résultats économiques pour le prévisionnel, le réalisé d'octobre 2017 à avril 2018, et pour un scénario « optimisé » :

	GIRAUD			
	Prévisionnel	Réalisé (octobre 2017 à avril 2018 annualisé)	Ecart en %	Scénario optimisé
<b>Paramètres techniques &amp; financiers</b>	<b>Mensuel</b>			<b>Mensuel</b>
Investissement total en k€	615	766	25%	781
Puissance installée en kWél	50	50	0%	50
Taux de disponibilité moteur	90%	83%	-8%	90%
Nombre d'heure fonctionnement moteur	7884	7279	-8%	7884
Rendement moteur net en %	33%	26%	-21%	33%
Investissement/puissance électrique installée	12305	15320	25%	15620
Tonnage annuel traité	3030	4006	32%	3800
Production annuelle de méthane	130210	135154	4%	118656
Tarif de rachat électrique (Mwhel)	195,2	219,01	12%	212,99
MWh vendu EDF	385	354	-8%	390
<b>Produits annuels</b>	<b>86 303 €</b>	<b>103 383 €</b>	<b>20%</b>	<b>116 843 €</b>
Chiffre d'affaires électrique en €	75 152 €	77 530 €	3%	83 066 €
Vente de chaleur en €	2 815 €	2 291 €	-19%	2 815 €
Economie d'énergie en €	8 336 €	4 500 €	-46%	4 500 €
Economie de paille (échange digestat)		162 €		162 €
Economie d'engrais (digestat)		3 500 €		3 500 €
Prest. Déchets (lactoserum)		15 400 €		22 800 €
<b>Charges annuelles</b>	<b>35 512 €</b>	<b>57 213 €</b>	<b>61%</b>	<b>60 620 €</b>
<b>Gestion des substrats</b>				
Montant en €	6 310 €	7 662 €	21%	11 662 €
<b>Maintenance</b>				
Coût maint. Cogé en €	14 507 €	5 100 €	-65%	5 100 €
Coût maint. Process en €	4 861 €	4 151 €	-15%	7 810 €
Coût maint. Réseau de chaleur	1 071 €	1 000 €	-7%	1 562 €
<b>Consommables</b>				
Coût en €	2 291 €	13 200 €	476%	8 000 €
<b>Main d'œuvre</b>				
Coût horaire en €	10 €	30 €		30 €
Nbre d'heure	28	730	2507%	730
Coût MO en €	280 €	21 900 €	7721%	21 900 €
Autres frais (assurance, suivi biologique)	6 193 €	4 200 €		4 500 €
<b>EBE annuel en €</b>	<b>50 791 €</b>	<b>46 170 €</b>	<b>-9%</b>	<b>56 223 €</b>

	Prévisionnel	Réalisé	Ecart en %	Optimisé
Taux de subvention	41%	29%	-29%	29%
Montant à financer pour le projet (Inv-subv.)	362 994	543 860	50%	554 510
Somme des revenus sur 15 ans hors fiscalité & intérêt	761 860	692 543	-9%	843 348
Taux d'actualisation	4%	4%		4%
Valeur actuelle (Sommes des revenus actualisés)	6 776 527	6 032 738	-11%	7 346 396
Valeur actuelle nette	6 413 533	5 488 878	-14%	6 791 886
Temps de retour brut (en année) : sans intérêts d'emprunt	7	12	65%	10
TRI (en %) avec subvention	11%	3%	-71%	6%

### III.4.1. Bilan économique réalisé (octobre 2017 à avril 2018)

L'analyse économique fait ressortir une rentabilité insuffisante avec un temps de retour brut sur investissement de 12 ans et un taux de rentabilité interne de 3%. Les résultats économiques de l'installation sont de fait très sensibles à la moindre variation de recette ou de charge. Le remboursement des emprunts s'élève jusqu'en 2021 à 45 430 €/an puis à 35 932 €/an de 2021 à 2029 : l'EBE constaté permet tout de même de couvrir la dette.

L'analyse des charges par poste fait ressortir les constats suivants :

- Les frais de gestion des substrats sont supérieurs à ce qui était prévu initialement, en raison d'un recours plus important à des co-substrats extérieurs, en particulier les issues de céréales. Ces charges n'ont à priori pas vocation à se réduire à l'avenir.
- Les frais de maintenance process et réseau de chaleur paraissent faibles par rapport aux références existantes : les valeurs prises en compte dans le suivi ADEME petite méthanisation estimaient plutôt à 35 €/MWh les frais de maintenance cogénération, soit 1,7 €/h, et à 2% de l'investissement hors cogénération les frais de maintenance process, soit 1,2% de l'investissement total dans le cas de cette installation (y. c. réseau chaleur).
- Les frais de consommation d'électricité sont très supérieurs au prévisionnel et représentent un poste de charge important : ils sont dus à une agitation importante ainsi qu'au recours à un système d'incorporation de type trémie + prémix. A noter que la consommation électrique du séchoir est incluse et représente 150 à 200 €/mois.
- Le coût horaire de la main d'œuvre pris en compte est de 30 €/h

### III.4.1. Bilan économique optimisé

La rentabilité de ce scénario optimisé reste limitée, avec un temps de retour brut sur investissement de 10 ans et un TRI de 6%. L'EBE dégagé est supérieur de 10 000 € par rapport au scénario réalisé.

Les hypothèses prises en compte pour ce scénario « optimisé » sont les suivantes :

- Un investissement complémentaire de 15 000 € pour l'automate du moteur, permettant d'atteindre un rendement électrique net de 33% et une production électrique de 390 MWh vendue par an
- Les quantités de lactosérum traitées ont été augmentées dans le scénario optimisé en considérant que les quantités traitées mensuellement depuis le début de l'année 2018 se pérennisaient. Cette hypothèse implique une perte de recettes liée au tarif d'achat (prime effluents inférieure car 48% d'effluents d'élevage au lieu de 60%), mais cette perte est inférieure à l'écart de redevance déchet

(600 m<sup>3</sup> de lactosérum supplémentaire par rapport à une situation permettant d'atteindre 60% d'effluents d'élevage soit 6000 €/an).

- Les quantités et le coût associé aux issues de céréales ont été maintenus à l'identique
- Une charge supplémentaire de 4000 €/an a été prise ne compte pour la gestion des substrats : elle correspond au coût pour un additif de type « Bactériométha » qui permet de réduire les besoins d'agitation voire de recirculation et facilite la valorisation du digestat
- Les charges liées à la maintenance process ont été augmentés dans le scénario optimisé (1,2% de l'investissement total). Celles liées à la cogénération ont été maintenues identiques au scénario réalisé dans la mesure où l'exploitant dispose d'un contrat de maintenance satisfaisant et réalise lui-même l'entretien courant du moteur.
- L'objectif de l'exploitant est de réduire la charge d'électricité à 8000 €/an, notamment grâce au recours à un additif de type « Bacteriometha » susceptible de réduire les besoins d'agitation voire de recirculation.

A noter que l'augmentation de production de méthane associée à l'utilisation de l'additif n'a pas été prise en compte en raison d'un recul insuffisant, mais pourrait permettre de réaliser des économies d'intrants.

## IV. Conclusions et préconisations

Le suivi des données de production pendant 10 mois après l'installation des nouveaux équipements d'incorporation ont permis d'analyser le fonctionnement de l'installation dans de bonnes conditions et avec une ration stabilisée. Cette période d'observation a également permis d'analyser les possibilités de mobilisation de nouveaux substrats en lien avec les démarches effectuées par l'exploitant.

La dégradation incomplète de la matière observée en 2017 ne semble plus être d'actualité, mais une analyse de potentiel méthanogène résiduel du digestat pourrait être réalisée pour le vérifier (de l'ordre de 250 € HT).

Les pistes d'optimisation identifiées sont les suivantes, par ordre de priorité :

- Changement de l'automate du moteur pour améliorer le rendement électrique
- Optimisation de la ration pour s'assurer d'une dégradation complète et d'une production nominale tout en réalisant des économies sur l'approvisionnement : questionnement de l'intérêt du lactosérum peu méthanogène, à réduire ou à substituer par un autre gisement plus méthanogène (piste lait concentré évoqué par l'exploitant, davantage d'issues de céréales et/ou ensilage de maïs ?)
- Recours au complément d'ensemencement « Bactériométha » proposé par l'entreprise SOBAC (coût évalué à 4000 €/an, générant des économies d'électricité pour l'agitation et une augmentation de production de méthane évaluée à 10%)

A plus long terme :

- Couverture avec récupération de biogaz sur le stockage digestat, voire isolation du stockage digestat et chauffage avec le circuit de valorisation chaleur (ajout d'un échangeur) pour le transformer en post-digesteur, et construction d'un nouveau stockage digestat
- Augmentation de la puissance du moteur à 70 kW (dans ce cas vérifier si un renforcement du réseau électrique serait nécessaire)

L'exploitant n'a actuellement pas de moyens pour réaliser de nouveaux investissements, mais pourra l'envisager à partir de 2021 lorsque le prêt lié à la cogénération sera remboursé.

L'analyse économique d'un scénario prenant en compte 15 000 € d'investissement pour l'automate moteur permettant une augmentation de la production électrique vendue, associée au recours à un additif de type « Bactériométha » permettant de réduire la consommation électrique de l'installation montre que la rentabilité de l'installation est améliorée mais reste juste. L'exploitant doit donc poursuivre en parallèle son travail d'optimisation des intrants.

## V. ANNEXE : Liste des documents fournis

### **Bilan prévisionnel**

- Annexe technique ADEME
- Plan d'approvisionnement 06/2012

### **Investissements réalisés/données économiques**

- Devis des différents équipements pour chaque lot
- Tableau récapitulatif des investissements prévisionnels
- Dossier de demande de subventions
- Bilan économique prévisionnel
- Facture investissement complémentaire trémie
- Factures d'achat d'électricité 2014 et 2015
- Bilan électricité et chaleur vendues
- Bilan comptable 2016

### **Autre**

- Plan de situation, plan de masse, PID
- Descriptif technique général juillet 2012 (Methaneva)
- Suivi 01/07/13 au 30/06/2015 effectué par Loïc Pelissier
- Contrat d'assurance MMA
- Fichier excel données de production/interventions diverses
- Analyse digesteur (09/2017) et digestat (04/2015 et 03/2018)