



SOLUTIONS DÉCHETS & DÉVELOPPEMENT DURABLE

AUDIT DE FONCTIONNEMENT TECHNICO-ECONOMIQUE LARRERE

VERSION FINALE

Référence affaire	Audit de fonctionnement d'unités de méthanisation en Nouvelle Aquitaine
Site audité	LARRERE
Date de la visite d'audit	16/11/2017
Date de finalisation du rapport	09/11/2018
Rédacteur	<i>Audrey EL HABTI / Helene FRUTEAU de LACLOS</i>

SOMMAIRE

I. DESCRIPTION DU PROJET	3
I.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	3
I.2. HISTORIQUE DE L'INSTALLATION DE METHANISATION	3
II. ETAT DES LIEUX DU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	3
II.1. TECHNOLOGIE DE METHANISATION	3
II.2. APPROVISIONNEMENT	9
II.3. PRODUCTION DE BIOGAZ ET D'ENERGIE	14
II.4. VALORISATION DU DIGESTAT	22
II.5. INTERVIEW DE LA RESPONSABLE DE L'UNITE GREENWATT DE BOYER SA	23
III. APPROCHE ECONOMIQUE	25
III.1. INVESTISSEMENT	25
III.1. PRODUITS	26
III.2. CHARGES	26
III.3. BILAN ECONOMIQUE	27
IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	30
IV.1. CONCLUSION	30
IV.2. SUITES A DONNER	30
V. ANNEXE : LISTE DES DOCUMENTS FOURNIS	32

I. Description du projet

I.1. Présentation de l'entreprise

La SARL LARRERE et FILS est une entreprise familiale dont l'activité principale est la production et l'expédition de « carottes des Landes ». Le groupe LARRERE produit également du maïs. L'entreprise compte 120 salariés.

Le siège social de l'entreprise est situé sur le « Domaine du Douc » à Liposthey depuis 1981, où s'effectue l'activité de tri, lavage et conditionnement de carottes des sables et maïs doux.

L'entreprise LARRERE ENVIRONNEMENT EURL est propriétaire et exploite l'unité de méthanisation. Elle exploite par ailleurs 18 bâtiments photovoltaïques.

I.2. Historique de l'installation de méthanisation

Tableau 1 - Historique de l'installation de méthanisation

	Date	Remarque
Etude de faisabilité	Mars 2011	Energie Bio Consult et Greenwatt
Signature du contrat de construction	Octobre 2011	Greenwatt
Début des travaux	Avril 2012	
Mise en service : remplissage du digesteur	Septembre 2013 puis juillet 2014	Pas de raccordement car défaut d'enregistrement auprès de l'ADEME
Mise en service : raccordement électrique/premiers kWh injectés	Septembre 2014	Remise en service suite à l'obtention d'un numéro d'identification ADEME puis raccordement
PV de réception tranche 6 avec réserve sur un agitateur	Septembre 2014	
Travaux de réparation	Octobre-novembre 2014	Redémarrage décembre 2014
Suivi réalisé par l'APESA	Juillet 2014 à mai 2015	
PV de réception définitive de l'unité	Octobre 2015	Plus d'accompagnement de la part de GREENWATT depuis
Dépôt de bilan de GREENWATT	Début 2017	

II. Etat des lieux du fonctionnement de l'installation

II.1. Technologie de méthanisation

II.1.1. Principe

Il est important de bien comprendre au préalable le principe du fonctionnement du procédé mis en œuvre sur cette installation.

Le procédé développé par Greenwatt est une technologie spécifiquement adaptée aux intrants très rapidement biodégradables qui s'acidifient très vite, comme les déchets de fruits et légumes riches en sucres et en amidon. Pour ce type d'intrants un procédé infiniment mélangé classique nécessiterait de très faible charge pour ne pas donner lieu à une acidification.

La technologie Greenwatt permet de passer outre cet inconvénient en séparant la digestion en deux étapes :

Audit de fonctionnement technico-economique LARRERE -

- une première étape d'acidification rapide où les intrants rapidement biodégradables sont hydrolysés et fermentés en acides organiques solubles. Cette hydrolyse/solubilisation s'accompagne d'une liquéfaction de la matière (perte de consistance) d'où son nom de liquéfacteur.
- Une deuxième étape qui met en jeu une technologie de méthanisation à haut rendement, uniquement applicable aux liquides riches en composés solubles.

Les technologies de méthanisation à haut rendement utilisent le principe de la rétention de biomasse méthanogène dans le digesteur (ici une fixation sur un support) afin d'une part de concentrer cette biomasse et d'autre part de découpler le temps de rétention de la phase liquide contenant les substrats solubles du temps de rétention de la biomasse méthanogène, dont on sait que le temps de doublement est long. Ce type de méthaniseur peut accepter des charges solubles très élevées.

La première étape d'hydrolyse étant rapide, le temps de séjour dans ce réacteur est court (1 à 3 jours généralement) et la production d'acides intense, le pH peut chuter jusqu'à 3.0.

L'étape de méthanisation est très accélérée, par rapport à un réacteur infiniment mélangé, car la biomasse méthanogène y est très concentrée. Afin d'éviter le colmatage du support, des « chasses » de liquide sont réalisées périodiquement par une recirculation de digestat à grande vitesse : HYFAD = High Yield Flushing Anaerobic Digester.

Ce type de technologie à deux étapes n'est pas adaptée à des substrats ligno-cellulosiques dont l'hydrolyse est lente et ne peut pas être réalisée dans le liquéfacteur. Or la plupart des déchets contiennent une part de cellulose et d'hémi-cellulose. Pour cette raison Greenwatt a ajouté à son process de base un post-digesteur, qui permet de digérer sur un temps beaucoup plus long la partie cellulosique des déchets.

II.1.2. Description de la situation initiale

L'étude de faisabilité réalisée par le bureau d'étude du fournisseur de process, n'a pas permis d'envisager et de comparer plusieurs technologies de méthanisation.

II.1.2.a. Le gisement prévisionnel

Le gisement retenu pour le dimensionnement du projet est le suivant :

Tableau 2 - Caractéristiques du gisement retenu pour le dimensionnement de l'installation

	t	% MS	% MV	NTK %/sec	BMP NI/kg MVS	BMP/brut NI/kg
Déchets de carottes	4 400 t	11.6	93.3	1.86	492	53
Rafles de maïs	2 110 t	90.3	98.0	0.5	250	221
Sous-total	6 510 t	37.1	97.1	0.71		

Les rafles de maïs sont mises en balles dont l'utilisation en méthanisation est pensée comme variable d'ajustement en fonction de la production de déchets de carottes, afin de régulariser la production de méthane. Elles représentent 80% de la matière organique.

Les caractéristiques du gisement prévisionnel sont reportées sur les Figures ci-après.

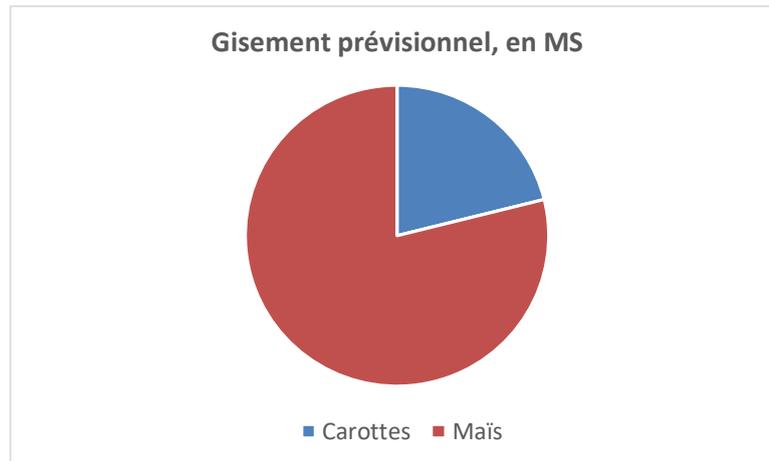


Figure 1 – Répartition du gisement prévisionnel en tonnage de matière sèche

II.1.2.b. Le fonctionnement prévisionnel

Les carottes sont broyées et diluées avec du digestat liquide pour être pompées dans le liquéfacteur. Le liquéfacteur produit un liquide riche en acides organiques envoyés vers les méthaniseurs, et des boues (résidu solide qui n'a pas eu le temps de se dégrader) envoyés vers le post-digesteur. Deux méthaniseurs HYFAD (dans l'étude de faisabilité) sont alimentés par le liquéfacteur et le liquide digéré est renvoyé sur le liquéfacteur pour se recharger en acides organiques.

Les rafles de maïs sont broyées, diluées et **pompées directement dans la cuve de post-digestion**. Il est bien précisé dans le rapport que **le maïs n'ayant pas de profil acidifiant, il n'y a aucune raison de le passer dans le liquéfacteur**. La différence du comportement cinétique de ces deux substrats est bien visible sur les courbes des tests BMP figurant à l'annexe 1 du rapport d'étude.

II.1.2.c. Production d'énergie prévisionnelle

La production annuelle de méthane attendue sur l'installation est calculée sur la base des potentiels méthane mesurés en laboratoire, ce qui signifie que l'étude considère 100% d'expression du potentiel méthanogène, ce qui n'est pas réaliste (pour autant que le potentiel soit correctement mesuré sur des échantillons représentatifs).

Tableau 3 – Production d'énergie prévisionnelle

	t	Biogaz Nm ³ /an	Méthane Nm ³ /an
Déchets de carottes	4 400 t	403 040	233 360
Rafles de maïs	2 110 t	876 065	467 819
Total	6 510 t	1 279 105	701 179

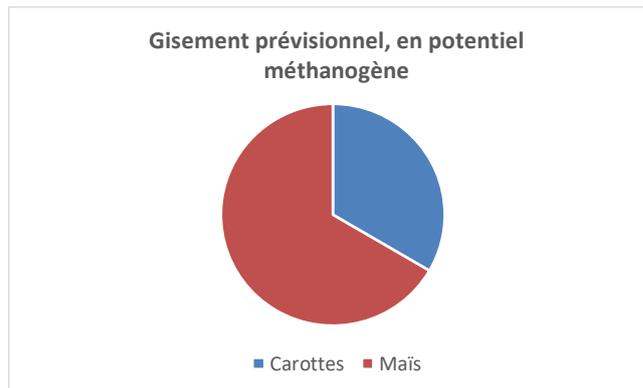


Figure 2 - Répartition du gisement prévisionnel en potentiel méthanogène

On remarque que le **maïs produit les 2/3 du méthane attendu.**

Comme il est prévu d'utiliser les rafles de maïs pour lisser la production de gaz, le cogénérateur est dimensionné sur la base d'une production régulière toute l'année.

- P = 306 kWel
- R_{elec} = 35%
- R_{therm} = 49%

La production d'électricité brute attendue et la production vendue s'élèvent à 2 454 MWh, ce qui signifie qu'il est considéré une disponibilité du cogénérateur de 100%. La production de chaleur brute attendue est de 3436 MWh dont 415 MWh autoconsommée.

II.1.2.d. Production prévisionnelle de digestat

L'étude de faisabilité considère la production de 5 236 t de digestat contenant 859 t de MS (2417 t de MS introduite – 1558 t de biogaz).

Après séparation de phase il est prévu :

- 3 436 t de digestat solide à 25% MS (soit 859 t de MS)
- 1 800 t de digestat liquide : à 0% MS d'après le bilan matière de Greenwatt

D'après l'étude de faisabilité : **seul le digestat solide est valorisé**, après compostage caractérisé donc sans plan d'épandage.

Le digestat liquide, considéré comme de l'eau usée, est rejeté à la lagune existante située à 1.8 km qui reçoit déjà les eaux usées de l'activité du groupe Larrère, et ne représente que 2% des eaux totales rejetées par Larrère.

II.1.3. Situation actuelle

II.1.3.a. Evolutions par rapport à la situation initiale

Tableau 4 – Evolution de l'installation depuis la mise en service

	Au démarrage de l'installation	A ce jour
Incorporation	Broyeur à marteaux / Trémies	Extrudeur depuis 1,5 ans permet de broyer par compression d'air (situé après les trémies)
Digestion	Liquéfacteur non chauffé 350 m ³	Modification des 3 agitateurs KSB 14,5 kW du

	(hydrolyse+ acétogénèse) puis séparateur de phase presse à vis : - HYFAD 54 m ³ (avec cuve tampon 15 m ³) pour phase liquide et - Post-digesteur 1800 m ³ pour phase solide et mélange provenant du liquéfacteur Stockage de biogaz uniquement au-dessus du post-digesteur (initialement aussi au-dessus du liquéfacteur mais dégazage direct car biogaz pauvre en méthane)	post-digesteur (variateurs de vitesse et changement des couples coniques) Changement des 2 agitateurs du liquéfacteur (surdimensionnés au départ) : agitateurs Xylem 11 kW Revêtement intérieur du liquéfacteur refait 2 fois (en 2014 et 2015), de nouveau abîmé début 2018 Membrane au-dessus du liquéfacteur perforée (2017) Canalisations en fond de liquéfacteur bouchées depuis début 2018, installation à l'arrêt depuis mi-janvier 2018
Valorisation énergétique	Moteur 370 kW (capable de monter à 382 kW) (moteur 306 kW prévu lors de l'étude faisabilité ; moteur 300 kW dans le contrat de vente) Valorisation chaleur : process + eau chaude de lavage (anecdotique)	Problème moteur en octobre 2017 résolu : microfissure sur une canalisation d'eau pour récupération de chaleur sur un turbo qui entraînait de l'air dans le circuit d'eau et des montées en pression, résolu par un by-pass de cette canalisation Valorisations chaleur pour deux ballons d'eau chaude (25 m ³ sur le site de méthanisation et 5m ³ au niveau de l'usine LARRERE)
Traitement et valorisation du digestat	Séparation de phase presse à vis Lagune existante pour le digestat liquide (à 1800 m de l'unité)	Ajout d'un 2ième séparateur de phase plus puissant (mars 2017) Construction d'une lagune de 4000 m ³ pour le digestat liquide

L'installation est à l'arrêt depuis mi-janvier 2018 suite au constat de canalisations bouchées dans le fond du liquéfacteur. Une procédure en référé a été engagée contre GREENWATT, et l'expertise est en cours. Une première visite de l'expert a été effectuée en juin 2018 alors que la cuve était partiellement remplie, et une deuxième visite a eu lieu en juillet 2018 avec la cuve vide. Les conclusions de l'expert n'ont pas encore été communiquées. Des analyses complémentaires avec des carottages de la cuve vont être effectuées. L'exploitant est autorisé à remettre en fonctionnement l'installation en by-passant le liquéfacteur.

II.1.3.b. Schéma de fonctionnement

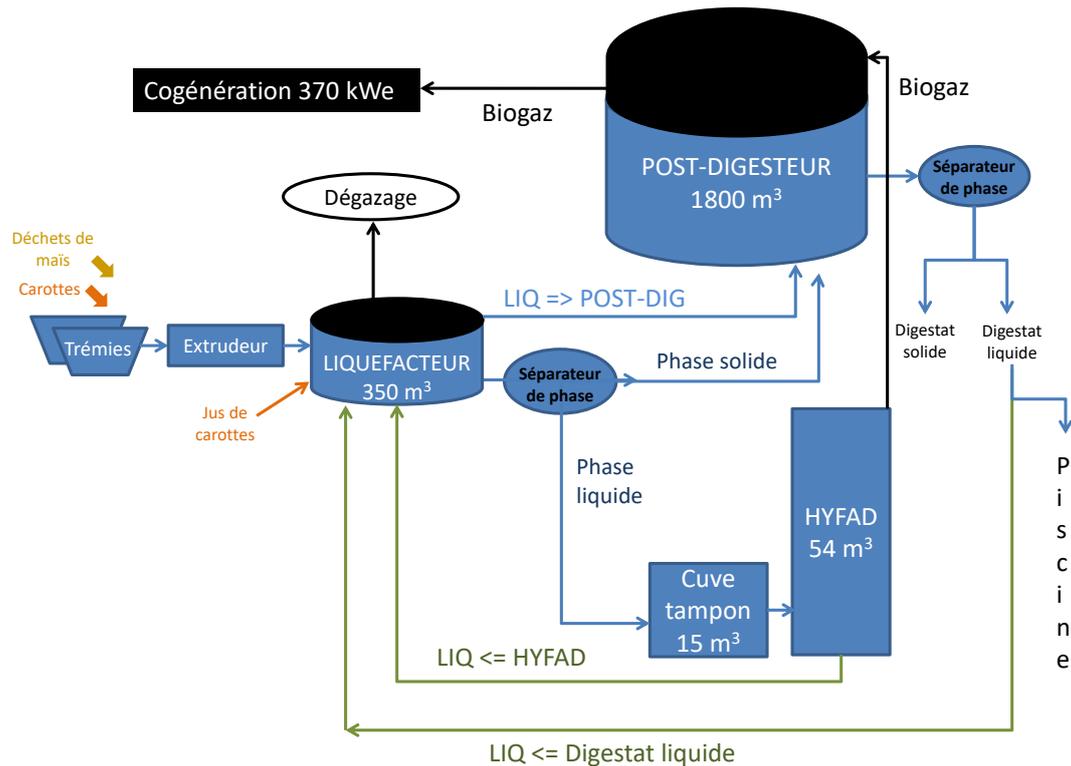


Figure 3 – Schéma de fonctionnement de l'installation

Les flux quantitatifs de matières, mesurés sur l'année 2017, sont reportés dans le paragraphe sur le bilan matière.

Remarques sur la gestion des flux :

- le flux de l'HYFAD vers le liquéfacteur est géré par « trop plein » = autant de matière renvoyée vers le liquéfacteur que de matière introduite dans la cuve tampon+HYFAD
- Même nombre de séquences du liquéfacteur vers l'HYFAD que du liquéfacteur vers le post-digesteur ; à chaque séquence le niveau de la cuve tampon est relevé de 2 cm (3 m de diamètre)
- le flux de digestat liquide vers le liquéfacteur est géré par rapport au niveau de remplissage du liquéfacteur (envoi de digestat liquide 2 à 3 fois par 24 h)
- le flux du post-digesteur vers le liquéfacteur = le digestat est prélevé en milieu de post-digesteur avant séparation de phase, les pailles de maïs qui surnagent restent plus longtemps dans le post-digesteur

La gestion des flux est effectuée en fonction des contraintes suivantes :

- L'incorporation dans le liquéfacteur est limitée par la viscosité du mélange.
- Le mélange dans le liquéfacteur est rapidement trop épais ce qui bloque les agitateurs, et oblige l'exploitant d'une part à diluer avec du jus de carotte et du digestat liquide, d'autre part à incorporer progressivement la matière (incorporation toutes les 90 min).
- La matière se dégrade rapidement, conduisant à obtenir un mélange trop liquide dans le post-digesteur et une production de biogaz qui chute rapidement : il est donc nécessaire d'envoyer de la matière dans le post-digesteur fréquemment pour fournir suffisamment de biogaz au moteur.
- Les séquences entre les différents compartiments sont dépendantes de l'incorporation, l'idéal est que l'ensemble des séquences soient renouvelées toutes les 90 min

- L'incorporation est ajustée « à l'œil » en fonction du pH du liquéfacteur : si trop acide (pH < 4) pas d'incorporation de carottes.
- Il est nécessaire d'incorporer plusieurs fois par jour (toutes les 90 min en journée) pour limiter l'épaississement et permettre une production de biogaz continue.

II.1.3.c. Analyse du fonctionnement

Les modifications apportées sur les équipements de broyage (extrudeur), d'agitation (liquéfacteur et post-digesteur) et le by-pass sur le circuit d'eau chaude (récupération chaleur sur turbo du moteur) ont permis un fonctionnement plus satisfaisant d'après l'exploitant. Cependant ce n'est pas là le principal point à relever.

Dans le schéma de fonctionnement initial (étude de faisabilité), il était prévu d'incorporer directement les rafles de maïs dans le post-digesteur ; l'étude de faisabilité du bureau de Greenwatt indiquait bien que seuls les déchets à hydrolyse rapide entraient dans le liquéfacteur, les déchets ligno-cellulosiques devant aller directement dans le post-digesteur, ce qui est parfaitement justifié par le principe de la technologie en place (voir préambule). Or aujourd'hui la totalité des déchets est introduit dans le liquéfacteur après broyage.

L'incorporation du maïs dans le liquéfacteur constitue une **utilisation inadéquate de l'outil** de méthanisation à deux étapes tel que développé par Greenwatt.

Non seulement les fibres lignocellulosiques du maïs ne sont pas dégradées dans le liquéfacteur où le temps de séjour est bien trop court, mais en plus elles provoquent une augmentation de la viscosité dans cette cuve, qui n'est pas prévue pour gérer un mélange visqueux.

Il n'est donc pas étonnant que l'incorporation à ce niveau soit limitée par la viscosité qui bloque les agitateurs : une étude récente a montré que la viscosité d'un mélange fibreux est 7 fois plus élevée, à taux de MS égal, qu'un mélange non fibreux ¹. Et comme les fibres ne se dégradent pas, le phénomène de liquéfaction ne se produit pas.

II.2. Approvisionnement

II.2.1. Moyens de mesure

Les quantités incorporées sont connues grâce à une pesée des intrants solides au niveau de la trémie, et un débitmètre pour les flux liquides.

II.2.2. Plan d'approvisionnement initial et actuel

Tableau 5 – Plan d'approvisionnement

	Prévisionnel	Actuel (2017)
Carottes	4400 t/an	9030 t/an
Rafles de maïs	2100 t/an	1608 t/an
Jus/purée de carotte		1784 t/an
Autre		632 t/an

¹ Evolution du seuil d'écoulement des substrats issus de fumiers pailleux en fonction de la distribution de l'eau, S. RUZ et coll, 2016, 5èmes journées de la méthanisation, Chambéry

TOTAL	6500 t/an	13053 t/an
--------------	-----------	------------

Les déchets « autre » sont notamment des déchets de légumes (choux, poireaux).

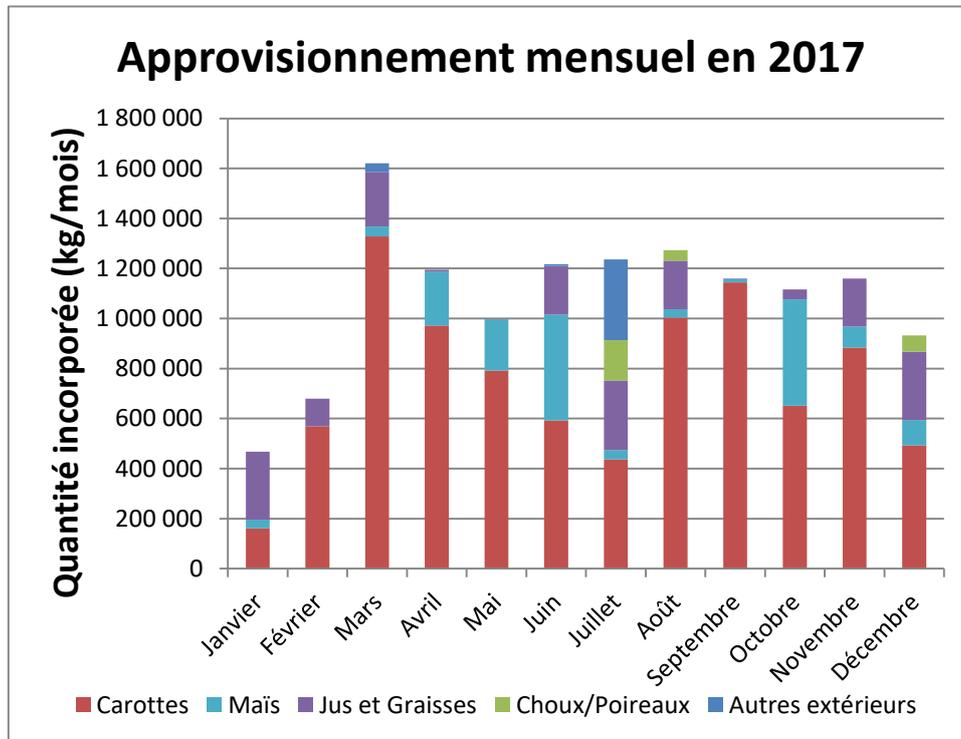


Figure 4 – Quantités incorporées mensuellement de janvier à décembre 2017

L'approvisionnement en déchets non prévus initialement vient du fait que l'incorporation du maïs est limitée :

- dans un premier temps par le broyeur inadapté (Cf rapport de suivi APESA pour Methaqtion)
- puis par l'incorporation dans le liquéfacteur.

Ces déchets ne sont pas identifiés individuellement mais sous l'appellation « autre ».

L'approvisionnement est ainsi très irrégulier, ce qui est encore plus flagrant lorsqu'on observe les quantités incorporées quotidiennement :

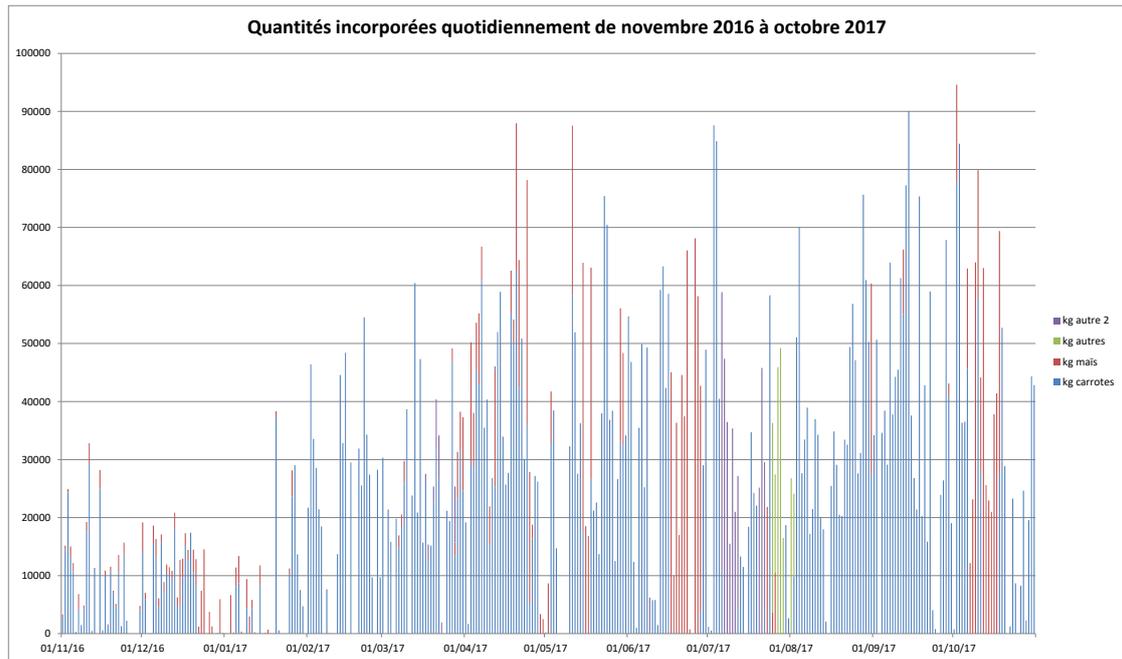


Figure 5 - Quantités incorporées quotidiennement en 2017

II.2.3. Analyses matières entrantes

Des analyses de matière sèche, organique et potentiel méthanogène ont été réalisées lors de l'étude de faisabilité :

Tableau 6 - Composition des matières entrantes (analyses lors de l'étude de faisabilité)

	MS	MO/MS	Nm ³ CH ₄ /t MF	Nm ³ biogaz/t MF	Taux de CH ₄	T _{50%}	T _{90%}
Carotte	11,6%	93,3%	53	91,6	57,9%	2,5 j	13 j
Rafles de maïs	90,3%	98%	221,7	415,3	53,4%	15,5 j	23,5 j

Des résultats d'analyses figurent également dans le fichier de suivi de l'installation entre mars 2015 et février 2017

Tableau 7 - Analyses MS et MO réalisées entre mars 2015 et février 2017

		MS (%)	MO/MS (%)
Carottes	19/3/2016	12.2	93.5
Maïs concassé	20/3/2015	85.1	97.5
Autre : Carottes purée	30/3/2015	5.5	84.2
Autre : Déchets tournesol	3/4/2015	84.8	83.7
Carottes	7/4/2015	13.2	91.4
Autre : graisses Saipol	27/4/2015	9.3	97.6
Autres substrats ?	7/3/2016	4.2	84.8
Autre : drèche pommes	29/5/2015	24.8	97.7
Maïs	29/8/2016	31.5	93.2

Une différence fondamentale avec l'approvisionnement actuel concerne **la qualité des rafles de maïs** : elles seraient d'après des analyses réalisées en août 2016 **autour de 30% de MS**. Le potentiel méthanogène corrigé s'établirait à 73 Nm³ CH₄/t MF au lieu de 221,7 Nm³ CH₄/t MF.

D'après l'exploitant cette valeur de 30% correspondrait à la réalité. Cependant cela n'a pas été confirmé par d'autres analyses.

Le maïs devant initialement participer pour 2/3 de la production de biogaz : la conséquence directe de cette différence de MS serait un **manque de production de plus de 40%**.

Des analyses complémentaires des matières entrantes sont prévues dans le cadre du suivi biologique contractualisé avec M. Lievens, mais n'ont pas été réalisées dans le temps imparti pour être prises en compte dans le cadre de cet audit.

II.2.4. Bilan matière

Les flux de matières tenant compte des teneurs en MS sont reportés dans le diagramme ci-après, actualisés pour l'année 2017.

Les hypothèses suivantes (en bleu dans le diagramme) ont été considérées :

Carottes :	11 % MS
Rafles de maïs	30% MS
Autres	9 % MS
Jus/purée carottes	3 % MS (hypothèse)

Comme les quantités de digestats sont inconnues ou erronées : elles sont estimées à partir des mesures de MS et sont reportées en bleu dans le diagramme.

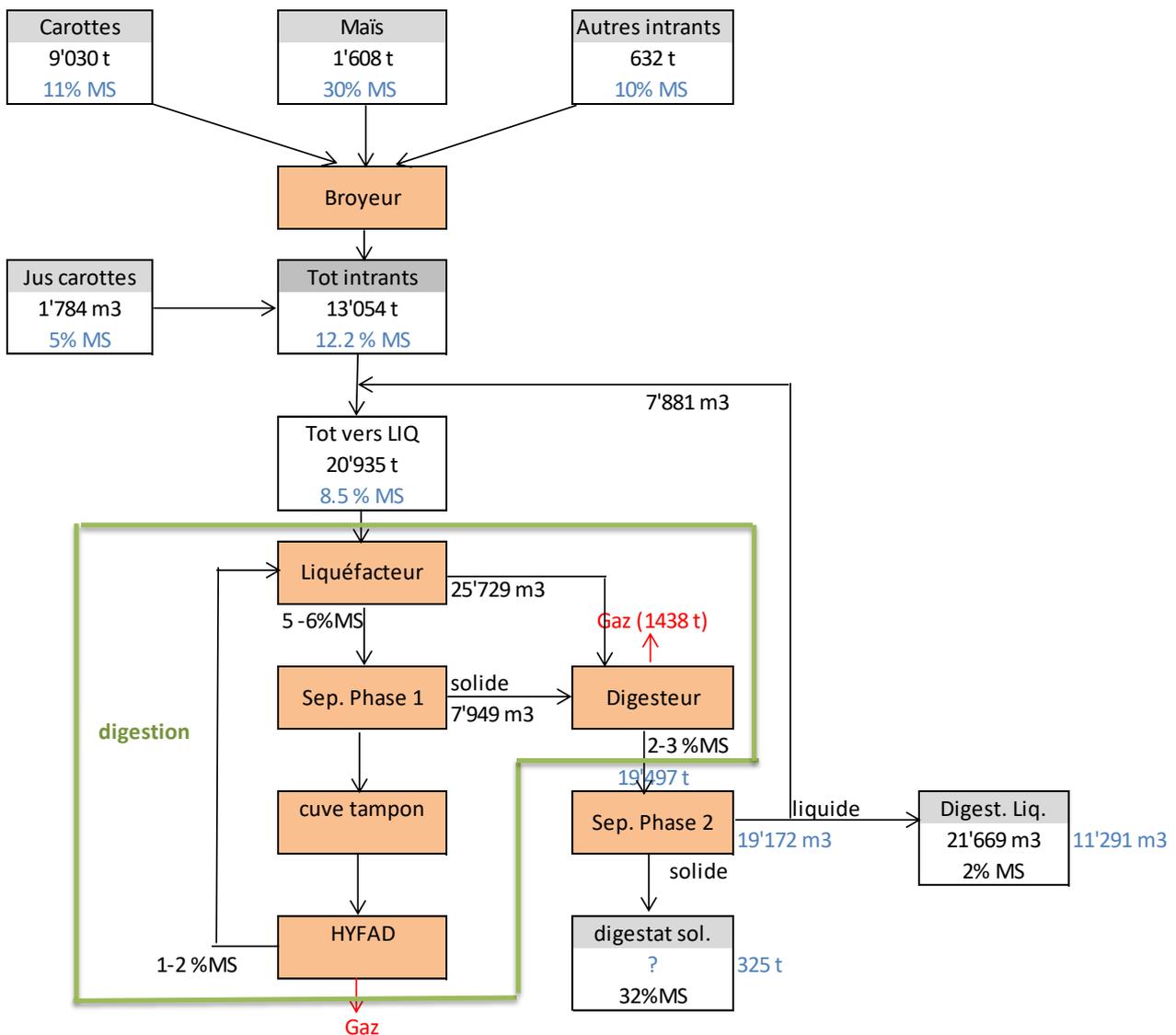


Figure 6 - Analyse des flux pour l'année 2017

L'alimentation du liquéfacteur, compte tenu de la recirculation de 7 880 m³ de digestat liquide, serait aux environs de 8 % MS, ce qui est globalement cohérent avec les analyses dans le liquéfacteur de 5 à 6% MS.

La quantité de digestat brut en sortie du système de digestion (post-digesteur) est estimée en retranchant la production de biogaz (en masse) aux intrants dans le système de digestion (liquéfacteur).

Les quantités respectives de digestat solide et liquide sont estimés par le calcul sur la base des teneurs en MS. On obtient alors :

- 325 t/an de digestat solide à 32 % MS
- 11 300 m³/an de digestat liquide à 2 % MS

Pour déterminer pourquoi les flux ne sont globalement pas cohérents dans le tableur excel de suivi de l'exploitation, il serait nécessaire de se pencher sur la localisation et l'étalonnage des débitmètres.

II.2.5. Analyse des risques liés à la ration

L'approvisionnement très irrégulier en matières entrantes impacte la production et la gestion des flux. L'exploitant se fixe l'objectif de réaliser une incorporation plus régulière.

Le potentiel méthanogène des matières entrantes est mal connu, aucune analyses BMP n'ayant été réalisée depuis étude de faisabilité

Dans le cadre du suivi biologique mis en œuvre avec M. Lievens depuis fin 2017, des analyses BMP sont prévues. Cet expert de la biologie des digesteurs a effectué une analyse au niveau du post-digesteur en 08/2016 :

Tableau 8 – Analyse du mélange en digestion (aout 2016)

Résultats partiels	MS/MF	MO/MF	C/N	pH	N	P	K	Mg
Mélange 08/2016	3,73%	2,8%	9,36	4,9	1,74	0,36	3,089	0,19

Les éléments significatifs à retenir sont :

- une grande quantité de cellulose non hydrolysée,
- Selon M. Lievens : il y aurait carence en MS, protéines, N, P, Mg (cf. « II.3.4 Analyses en cours de digestion »)
- L'addition de nouvelle matière complémentaire est envisagée : graisses Saipol, éventuellement lisier de porc ; analyses de graisses à venir avec M. Lievens

M. Lievens n'a pas relevé de déficit en éléments traces métalliques : pourtant les teneurs en Ni et Cr sont quasi-nulles, et des éléments essentiels comme le cobalt, le molybdène et le tungstène n'ont pas été mesurés. Comme la ration est composée exclusivement de déchets végétaux, il ne serait pas étonnant que certains éléments minéraux soient limitants.

Les commentaires font état d'un taux de MS trop faible pour alimenter un digesteur conventionnel infiniment mélangé.

Il est également conseillé d'augmenter les apports d'azote, phosphore et magnésium : à ce propos il est utile de mentionner les nombreuses formulations de complémentation qui existent sur le marché pour la digestion, notamment en Allemagne où une alimentation en maïs ensilage présente également des carences en nutriments.

Depuis la mise en œuvre du suivi biologique, des intrants complémentaires ont été préconisés et apportés par le biais de M. Lievens : des graisses provenant de Saipol ainsi que de la terre végétale à haut pouvoir méthanogène. Cependant, d'autres problèmes survenus sur le process (dégradation du liner du liquefacteur) ont entraîné des dysfonctionnements ce qui ne permet pas d'observer l'impact de ces intrants complémentaires sur la production fin 2017.

II.3. Production de biogaz et d'énergie

II.3.1. Moyens de mesure

Un débitmètre permet de mesurer la production de biogaz avant la cogénération et un analyseur de composition du gaz fournit des analyses de CH₄ (relevé partiel).

II.3.2. Synthèse des données prévisionnelles et actuelles

Pour l'estimation de la production de méthane théorique à partir de la ration réelle en 2017, on part des hypothèses suivantes qui seraient bien entendu à confirmer par des analyses

Tableau 9 - Hypothèses de composition des matières entrantes

	% MS	% MV	BMP/MSV Nm ³ CH ₄ /t	BMP/brut Nm ³ CH ₄ /t
Carottes	11	93	492	53
Rafles de maïs	30	98	250	74
Autres (déchets de légumes)	9	93	400	33
Jus/purée de carotte	3	98	492	14

Teneur moyenne en CH₄ du biogaz : 55%

Tableau 10 – Données de production d'énergie prévisionnelles et constatées en 2017

	Unité	Prévisionnel étude de faisabilité	Prévisionnel ration constatée (2017)	Ecart prévi initial et constaté	Données de production (2017)	Ecart au prévi initial	Ecart au prévi ration constatée
tonnage carotte	t/an	4400	9030	105%	9030	105%	0%
tonnage maïs	t/an	2111	1608	-24%	1608	-24%	0%
tonnage jus de carotte	t/an	0	1784		1784		0%
tonnage autre	t/an	0	632		632		
tonnage total	t/an	6511	13053	100%	13053		
méthane	Nm ³ /an	701209	642278	-8%	378077	-46%	-41%
biogaz	Nm ³ /an	1279738,3	1132233	-12%	682449	-47%	-40%
taux de méthane	%	54,8%	56,7%	4%	55,4%	1%	-2%
Energie primaire	MWh PCI/an	6984	6397	-8%	3766	-46%	-41%
Rendement électrique brut	%	38,80%	38,80%	0%	33,44%	-14%	-14%
Electricité produite	MWhe/an	2710	2482	-8%	1259	-54%	-49%
Puissance moyenne développée	kWe	309	283	-8%	144	-54%	-49%
Electricité vendue	MWhe/an	2454	2248	-8%	1146	-53%	-49%
Rendement électrique net	%	35,14%	35,14%		30,43%	-13,40%	-13,40%

N.B 1 : le rendement électrique brut est une valeur théorique fixée à 38,8% (fiche technique non fournie, rendement électrique brut de 35% pour un moteur de 306 kWe sur la fiche technique fournie en annexe de l'étude de faisabilité)

N. B 2 : la quantité de méthane est calculée sur la base des potentiels BMP des matières entrantes (carottes et maïs uniquement) pour les données prévisionnelles, et sur la base de la quantité de biogaz produite et du taux de méthane relevé

La production de biogaz est inférieure de 40% à ce qui devrait théoriquement être obtenu avec les matières incorporées en 2017. La production d'énergie électrique est quant à elle inférieure de 49% à ce qui devrait être produit avec ces matières. L'écart avec le prévisionnel initial est encore plus important, avec un écart de 46% sur la production de méthane et de 53 % sur l'énergie électrique.

La prise en compte du taux de méthane à 55,4% issue des relevés sur l'installation conduit à évaluer le rendement électrique brut du moteur à 33,4%, ce qui est faible pour un moteur de cette puissance. Cette valeur n'est cependant pas étonnante étant donné l'irrégularité de fonctionnement et la variabilité du biogaz.

II.3.3. Production de biogaz

La production de biogaz est très irrégulière. Le taux de méthane est variable, même si on constate une tendance à la stabilisation au-dessus de 55% depuis aout 2017.

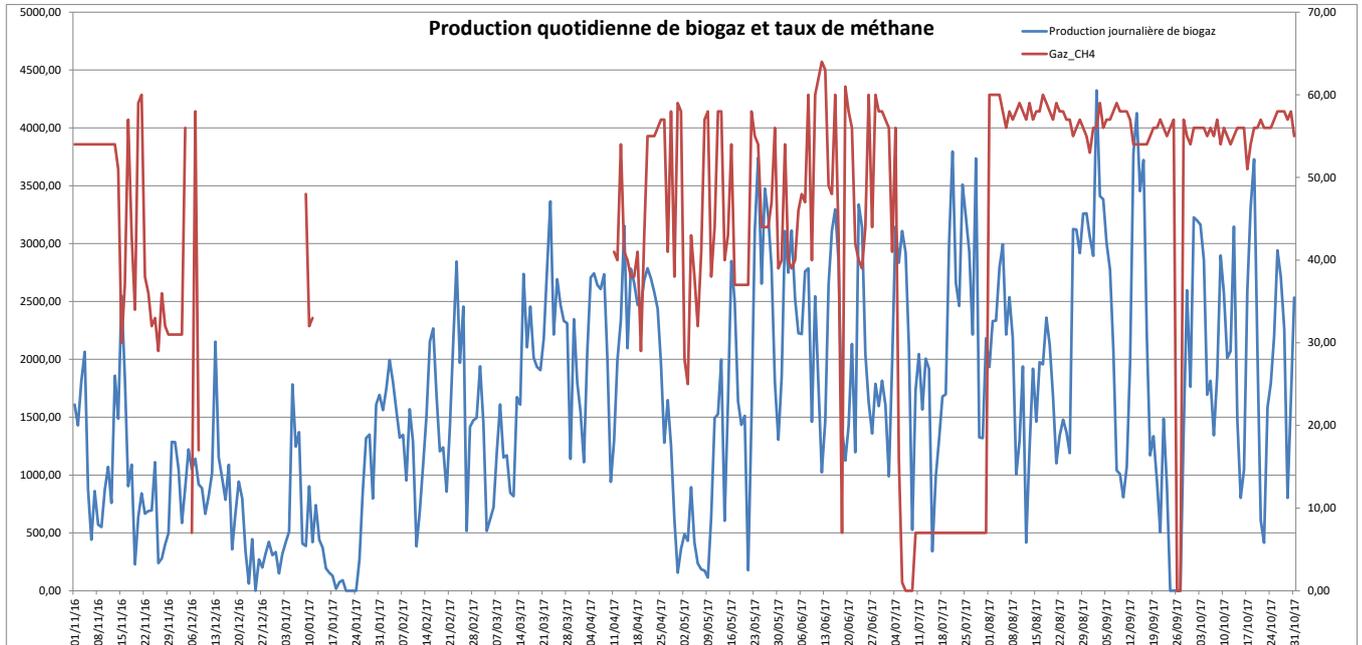


Figure 7 - Production quotidienne de biogaz (novembre 2016 à octobre 2017)

II.3.4. Production d'électricité

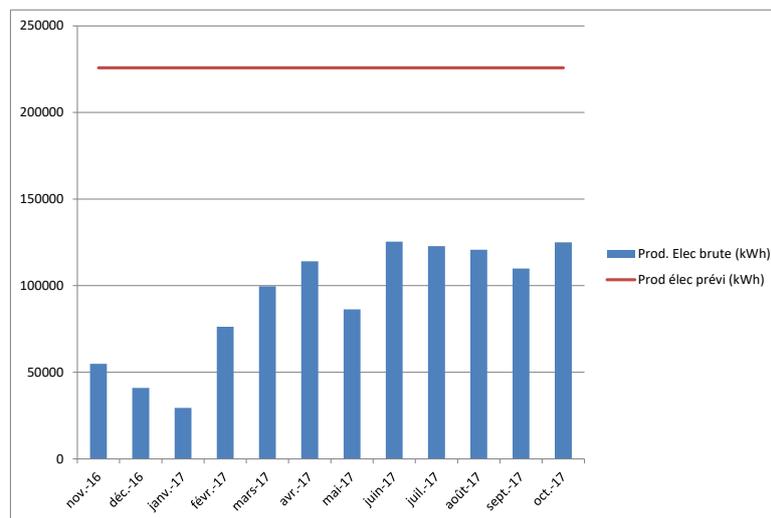


Figure 8 – Production mensuelle d'électricité (novembre 2016 à octobre 2017)

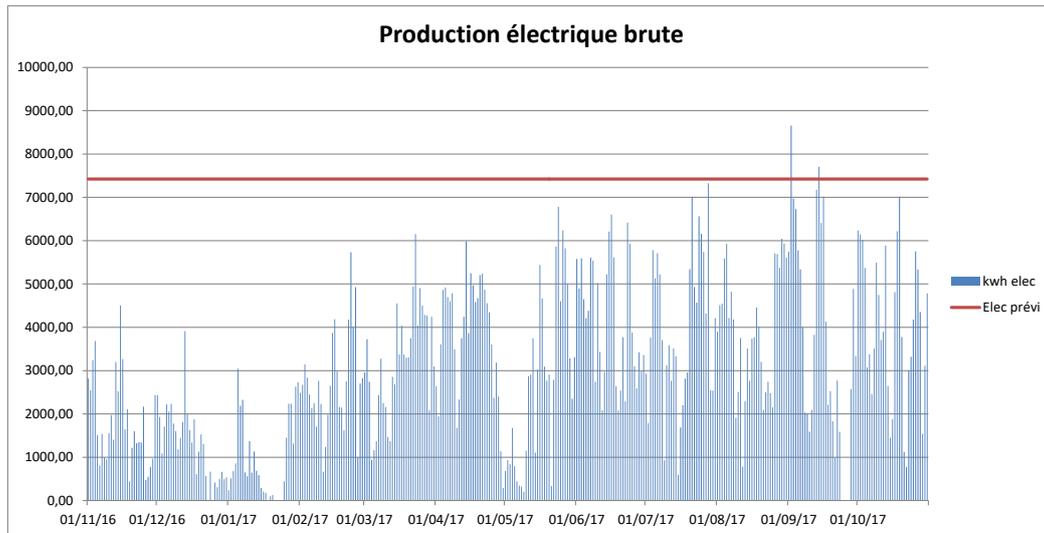


Figure 9 - Production quotidienne d'électricité (novembre 2016 à octobre 2017)

N.B : la production électrique prévisionnelle correspond à celle envisagée au démarrage du projet, évaluée sur la base des matières entrantes et correspondant à une puissance moyenne développée de 309 kWe.

Le nombre d'heures de fonctionnement du moteur n'est pas relevé. Il s'élève à 12 873 h depuis la mise en service soit environ 4290 h/an.

II.3.5. Expression du potentiel méthanogène

La production d'énergie primaire par le digesteur (estimée à partir des mesures de la production de biogaz et de la teneur en méthane) s'élève à 61 % environ de la production maximale théorique calculée à partir des BMP de l'étude de faisabilité. Normalement on peut attendre d'un procédé industriel qui fonctionne bien de 85 à 95% d'expression du potentiel méthanogène².

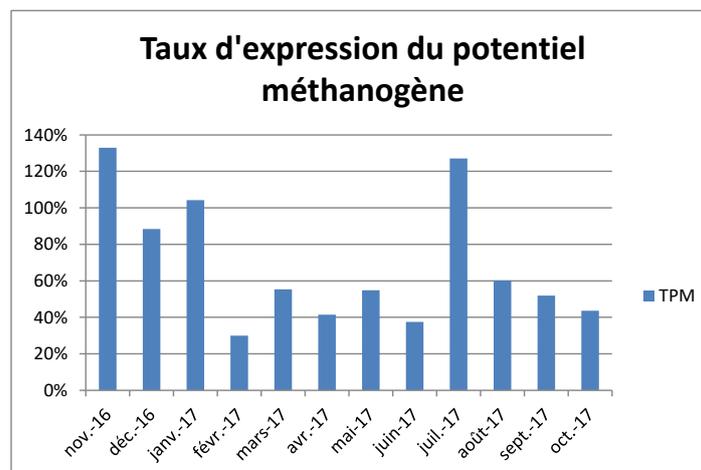


Figure 10 - Taux d'expression du potentiel méthanogène mois par mois (novembre 2016 à octobre 2017)

² Détermination de la production de méthane d'installations de digestion en vraie grandeur à partir de tests BMP en laboratoire, 2015, G. HACK et coll, Rapport OFEN (CH)

Le taux d'expression du potentiel méthanogène s'établit en moyenne à 57% sur la période de novembre 2016 à octobre 2017. Ce constat peut s'expliquer soit par un potentiel des matières entrantes surestimé, soit par un fonctionnement technique et/ou biologique de l'installation ne permettant pas d'extraire tout le potentiel des matières entrantes.

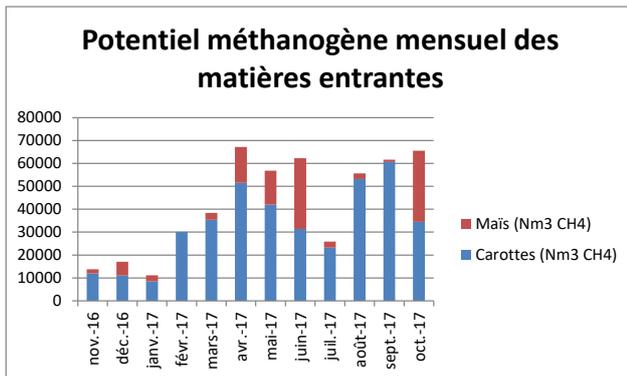


Figure 11 - Répartition du potentiel méthanogène mois par mois

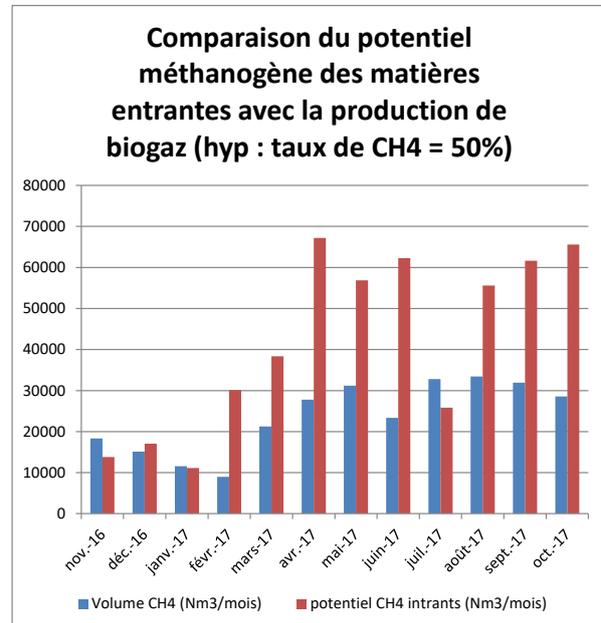


Figure 12 - Comparaison du potentiel méthanogène de la ration à la production de biogaz

Conclusion

L'alimentation de la digestion est difficile à estimer précisément : une partie des déchets (autres) n'est pas identifiée et l'estimation de la production « théorique » de méthane est basée sur 2 analyses (1 par intrant majoritaire) réalisées en 2011 lors de l'étude de faisabilité sur au moins un gisement (maïs) non représentatif. La marge d'erreur sur la production théorique est donc très élevée.

On ne peut donc pas dire si l'expression apparemment faible du BMP provient de BMP surestimés ou d'un taux d'expression des BMP faible, ou les deux.

II.3.1. Autres paramètres de fonctionnement

II.3.1.a. Suivi des températures

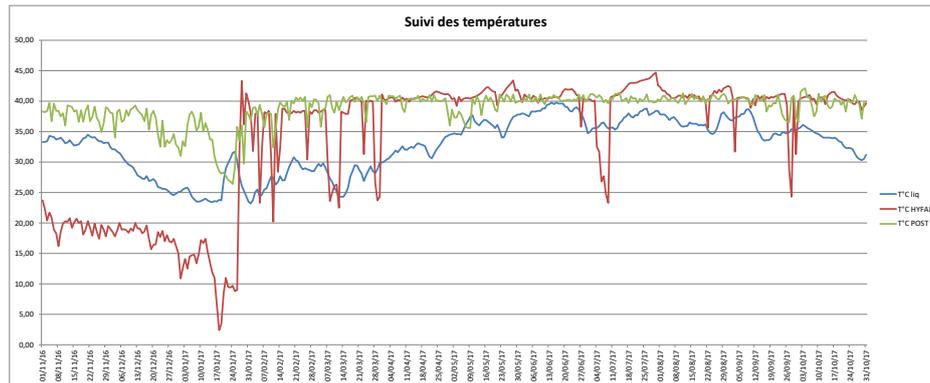


Figure 13 - Relevé quotidien de températures

On constate une baisse de température sur la période hivernale (à partir de septembre 2016 jusqu'à fin janvier 2017) pour l'HYFAD (pour atteindre moins de 10°C mi-janvier) et le liquefacteur (qui atteint moins de 25°C). Le post-digesteur est moins impacté même si on constate une baisse en décembre-janvier. Cette baisse est liée à des travaux de réfection du revêtement intérieur du liquefacteur. L'HYFAD a également été arrêté pendant 1 mois (mais données sur les périodes de fonctionnement de l'HYFAD erronées dans le tableur de l'exploitant).

A noter que le liquefacteur n'est pas équipé de système de chauffage. L'extrudeur provoque tout de même un échauffement du mélange entrant qui a une température de 30 à 38 °C lors de son incorporation. Le post-digesteur présente une température stable de 40°C depuis février 2017, ce qui est conforme aux attentes pour une digestion mésophile.

II.3.1.b. Suivi du pH

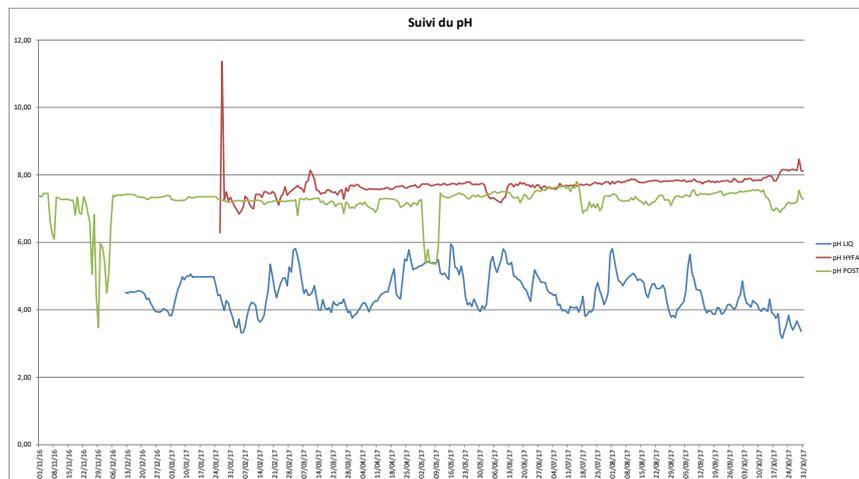


Figure 14 - Relevé quotidien du pH

Le pH du post-digesteur est légèrement supérieur à 7 et stable depuis mi-décembre 2016, ce qui est conforme à ce qui est attendu pour un bon fonctionnement. L'HYFAD présente également un pH légèrement basique et stable.

Le liquefacteur présente en revanche un pH plus ou moins acide compris entre 3 et 6 : le suivi du pH illustre bien la difficulté à gérer ce compartiment qui réagit immédiatement lors de l'introduction de matière fraîche. Cependant des pH très bas en sortie du liquefacteur ne péjore pas en principe le fonctionnement de l'installation puisque l'HYFAD est précisément là pour consommer rapidement les acides produits.

Le flux de l'HYFAD est renvoyé vers le liquéfacteur, ce qui permet un certain tamponnage dans ce dernier, limité cependant puisqu'en l'absence de protéines le pouvoir tampon reste plutôt bas.

II.3.1.c. Analyses en cours de digestion

Des analyses du mélange dans le liquéfacteur et le post-digesteur sont réalisées régulièrement :

- Les teneurs en MS et MO dans le liquéfacteur et le post-digesteur sont relevées 2 fois par mois : le mélange est entre 5 et 6% de MS dans le liquéfacteur et de l'ordre de 2,5% dans le post-digesteur. Les teneurs en MO sont quant à elle de 3,9% et 1,6% en moyenne (cf. graphe ci-dessous)
- Des mesures d'AGV et d'alcalinité sont faites une fois par mois pour le post-digesteur : le rapport AGV/TAC s'établit toujours entre 0,2 et 0,35 pour le post-digesteur, ce qui s'inscrit dans la gamme d'un fonctionnement correct.

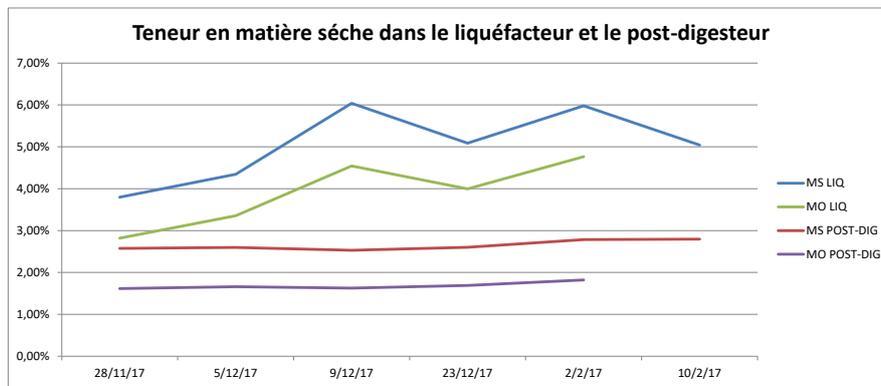


Figure 15 – Evolution de la composition en MS et MO du mélange dans le liquéfacteur et le post-digesteur

II.3.1.d. Conclusion

On n'observe aucun signe de dysfonctionnement biologique : les indicateurs biologiques sont conforme à l'attendu :

- une concentration élevée en AGV en sortie de la cuve d'hydrolyse
- une concentration résiduelle en AGV faible dans le post-digesteur
- une concentration en N-ammoniacal mesurée en 02/17 de l'ordre de 1 g/l ce qui est correct

Par contre il est possible que l'on ait une limitation de l'hydrolyse des lignocelluloses mais les paramètres suivis ne permettent pas de le voir. Seuls des tests de BMP sur les sortants pourraient confirmer une hydrolyse insuffisante.

II.3.2. Indicateurs techniques

Tableau 11 - Indicateurs techniques

	Unité	Prévisionnel	Moyenne nov 2016- oct 2017	MIN	MAX
TRH total	j	Aucun	??	20	112
TRH liquefacteur	j	indicateur technique précisé dans le prévisionnel	7 jours	4	18
TRH HYFAD	j		NC		
TRH post-dig	j		24 jours	14	95
CO liquefacteur	Kg MO/m ³ /j		9,17		
CO post-dig			NC		

Il est intéressant de calculer les indicateurs techniques relatifs au (post) digesteur en faisant l'hypothèse que l'HYFAD n'intervient pas dans le processus (par exemple s'il était by-passé).

Avec les intrants actuels, la charge organique dans le post-digesteur représenterait environ 2.76 kg MO/m³.j (en admettant un taux de remplissage de 85%), soit une charge à priori admissible en l'état même avec des déchets très acidifiants comme les déchets et jus de carottes.

II.3.3. Analyse des risques liés à la production d'énergie

On constate une variabilité importante de la production de biogaz et d'électricité.

Il y a également un décalage entre la production attendue de biogaz et de méthane et le potentiel théorique introduit (cf. TPM). Cependant, compte tenu du nombre très limité de données disponibles (analyses des intrants notamment), on ne peut pas dire si l'expression apparemment faible du BMP provient de BMP surestimés ou d'un taux d'expression des BMP faible, ou les deux.

Autre élément : la capacité de stockage de biogaz limitée qui entraîne des arrêts du moteur dès que le post-digesteur ne reçoit pas de matière suffisamment souvent (quelques heures) (analyse de l'exploitant).

Or la capacité de stockage (près 600 m³ d'après l'étude de faisabilité soit l'équivalent de 7 heures de production avec le débit actuel) est au-dessus de la capacité de stockage observée habituellement, mais s'avère insuffisante en raison de l'irrégularité de production.

Par ailleurs, le suivi d'exploitation mis en œuvre par l'exploitant consiste en un document Excel complexe à analyser, avec des données manquantes ou erronées, et pas de véritable analyse des performances réalisées. Divers essais sont réalisés par l'exploitant (variation des quantités incorporées, des temps d'agitation...) sans formalisation des résultats. Pour cette installation, un logiciel permettant d'exploiter les données de production et de les partager avec les intervenants tels que M. Lievens apporterait une vraie valeur ajoutée.

Enfin, l'exploitant témoigne d'un manque de connaissance en biologie, et de son intérêt pour une formation à la biologie de la méthanisation adaptée à son installation.

La production d'électricité se monte actuellement à 51% de la production attendue dans l'étude de faisabilité. On peut en attribuer la responsabilité à deux causes principales :

- des déchets de maïs, censées assurer les 2/3 de la production, et contenant 3 fois moins de MS que prévu
- un mode de fonctionnement de l'installation inadapté

II.3.4. Modalités d'exploitation et temps de travail

Le site est exploité par le responsable M. Cédric Raucoule et un salarié à temps plein embauché depuis octobre 2017. L'installation nécessite de réaliser plusieurs incorporations par jour et d'effectuer une surveillance importante pour s'assurer d'une bonne gestion des flux entre les différents compartiments et d'une production de biogaz continue pour alimenter le moteur.

Les données de production remontent quotidiennement et sont intégrées dans un document excel.

Temps de travail

1 ETP dédié à l'exploitation de l'installation :

- Incorporation : 30 min/toutes les 90 min 24 h/24 (automatisé, main d'œuvre pour le chargement des trémies 2 à 3 fois par jour soit environ 1h/jour)
- Tour de l'installation : 15 à 30 min
- Entretien du matériel
- Surveillance (ordinateur)

N.B : Alarmes fréquentes, nécessite une surveillance à distance nuit et week-end compris

Aujourd'hui le temps passé sur l'installation est certainement rallongé par le fonctionnement inadapté de l'installation et les divers dysfonctionnements qui en découlent.

Les contraintes dues à l'alimentation pourraient être réduites par la modification des flux sur l'installation.

Sur une installation de cette (petite) taille raisonnablement automatisée qui marche correctement : on peut attendre environ 0.5 ETP d'un agent technique pour la maintenance, l'entretien et le suivi, hors cogénération qui fait l'objet d'un contrat fournisseur, et hors gestion des digestats.

II.4. Valorisation du digestat

II.4.1. Données de production et d'utilisation

Actuellement aucun épandage de la phase solide n'est réalisé comme il l'était prévu dans le prévisionnel. Il est stocké sur site. La phase liquide est épandue pour la 1^{ière} fois cette année par fertirrigation sur un champ voisin de l'installation appartenant au groupe LARRERE.

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

La valorisation du digestat n'est pas du tout conforme au prévisionnel.

A priori l'étude de faisabilité supposait un compostage caractérisé qui aurait fait passer le digestat du statut de déchets au statut de produit, ce qui ne nécessitait pas de plan d'épandage. Celui-ci n'a donc pas été prévu.

Le digestat liquide quant à lui n'était pas censé être valorisé.

Par ailleurs la quantité attendue de digestat liquide est supérieure à celle prévue, et la quantité de solide inférieure puisque les intrants contiennent beaucoup plus d'eau (et moins de matière sèche) que prévu.

Ainsi le bilan matière recalculé donne une estimation de :

- 325 t/an de digestat solide à 32 % MS
- 11 300 m³/an de digestat liquide à 2 % MS

Audit de fonctionnement technico-economique LARRERE -

Soit environ 7 fois plus de digestat liquide et 10 fois moins de digestat solide.

L'impact de la qualité des intrants sur les quantités de digestat solide et liquide est ici bien mis en évidence. Une lagune de stockage supplémentaire a dû être construite pour gérer cet excédent de liquide.

La valorisation du digestat solide ne génère pas de revenus alors que c'était prévu dans le BP.

La valorisation du digestat liquide n'est pas optimisée, aucune recette ou économie d'engrais n'est prise en compte.

II.5. Interview de la responsable de l'unité Greenwatt de Boyer SA

Entretien téléphonique avec Valérie Doussaint, Directrice des Services Généraux des Etablissements BOYER/PHILIBON, responsable de l'unité de méthanisation.

L'installation de méthanisation de Boyer, installée à Moissac (82), a été construite en 2011 selon le procédé GREENWATT. L'objectif principal était le traitement des déchets de melons en interne, dont la prise en charge était de 150 €/t. Elle fonctionne depuis 2012, à la satisfaction du propriétaire/exploitant.

L'installation de Boyer ne traite que des fruits et légumes : melons principalement, prunes dénoyautées, pommes, kiwis, courges quand la saison du melon est passée. Madame Doussaint fait très attention à ne pas prendre des déchets fibreux ou contenant des parties dures (noyaux de prunes, rafles de raisin,...) qui impactent négativement le fonctionnement de l'installation. Tous les déchets sont broyés et vont dans le liquéfacteur. Ils suivent scrupuleusement le cahier des charges de Greenwatt.

Chez Boyer, le liner du liquéfacteur a dû être également remplacé au début de la mise en service : la réparation a été prise en charge par le constructeur Biodynamics dans le cadre de sa garantie et ça ne s'est pas reproduit depuis.

Le liquéfacteur est chauffé par des serpentins noyés dans le béton. Chez Boyer ils ont en plus une chaudière de secours pour être sûr de ne pas avoir de problèmes de chauffage en hiver (quand l'installation est peu chargée) et lors des phases de redémarrage après grosse maintenance.

En sortie du liquéfacteur les matières sont séparées par un tamis vibrant : le liquide va dans deux Hyfads et le solide dans le post-digesteur.

Les agitateurs du liquéfacteur sont des hélices Xylem : c'est en effet une pièce d'usure dont le changement périodique est provisionné dans le budget de maintenance. Moyennant quoi il n'y a pas de problème de fonctionnement.

Les bâches au-dessus du liquéfacteur et du post-digesteur ont été remplacées cette année (après 7 ans) : ils ont opté cette fois pour des double-membranes d'une durée de vie des 10 ans (plus solides).

L'installation est « mise en route » tous les matins au démarrage de la chaîne de calibrage des melons, et arrêtée le soir. Le biogaz n'est produit que durant cette période (ou presque) et le cogénérateur ne fonctionne que pendant cette période. Ensuite il s'arrête faute de biogaz. Mais ça ne leur pose pas problème particulier. La maintenance du cogénérateur est sous-traitée.

Les séquences d'échange entre liquéfacteur Hyfad et post-digesteur sont automatiques, mais peuvent être paramétrées, par exemple en été durant les périodes de pointe de production.

Madame Doussaint reconnaît que le procédé est particulier et plus complexe que les procédés classiques (infiniment mélangés) : pour cette raison ils ont misé sur l'assistance du fournisseur et la formation de leur personnel. De 2012 à 2015 ils ont été au bénéfice d'un contrat d'assistance « premium » dans lequel était incluse une séance mensuelle de formation de leur technicien. De 2015 jusqu'au dépôt de bilan de

Greenwatt ils ont eu un contrat standard, et depuis ils sous-traitent des analyses régulières à l'APESA ou ex-VALBIO. S'ils ont des questions plus spécifiques : ils s'adressent à Vincent Gauthier, ancien de Greenwatt, qui est maintenant consultant.

Le temps d'exploitation sur site se monte à 2-3 h/jour d'un technicien formé.

III. Approche économique

III.1. Investissement

III.1.1. Décomposition des investissements

Tableau 12 - Détail des investissements par poste

INVESTISSEMENTS TOTAUX		Coût total initial- € HT	Investissement complémentaire	Investissement cumulé- € HT
		3 000 000,00	421 000,00	3 421 000,00
Catégorie A	Aménagement du site	-	86 000,00	86 000,00
poste 1	Terrain et aménagements	-	86 000,00	86 000,00
Catégorie B	Gestion et traitement des Substrats	358 484,00	120 000,00	478 484,00
Catégorie C	Méthanisation	1 417 906,00	15 000,00	1 432 906,00
poste 5	Cuve d'hydrolyse	181 404,00	15 000,00	196 404,00
poste 6	Digesteur	767 414,00	-	767 414,00
poste 7	Post-digesteur	469 088,00	-	469 088,00
Catégorie D	Gestion et traitement du Digestat	195 629,00	200 000,00	395 629,00
poste 8	Stockage digestat	195 629,00	200 000,00	395 629,00
Catégorie E	Gestion et valorisation du Biogaz	813 983,00	-	813 983,00
poste 14	Cogénération	581 242,00	-	581 242,00
poste 16	Valorisation électricité	25 161,00	-	25 161,00
poste 18	Automatismes, sécurité et garantie de production	207 580,00	-	207 580,00
Catégorie F	Ingénierie	213 998,00	-	213 998,00
poste 19	Etudes	44 033,00	-	44 033,00
poste 20	Dossiers, Autorisations	41 516,00	-	41 516,00
poste 21	Investissements immatériels	128 449,00	-	128 449,00

Les investissements complémentaires ont porté sur des aménagements divers sur le site, la réfection du revêtement du liquéfacteur (prise en charge par GREENWATT en 2014), le changement des agitateurs dans la cuve d'hydrolyse (liquéfacteur), le changement du broyeur pour un extrudeur, ainsi que pour l'achat d'un nouveau séparateur de phase pour le digestat et la construction d'une lagune pour le stockage du digestat liquide.

III.1.2. Financement

Tableau 13 - Financement des investissements

Plan de Financement	Montant en €	%
Subvention	976 348	29%
<i>Subvention (ADEME)</i>	650 899	19%
<i>Subvention (Région)</i>	162 725	5%
<i>Subvention (FEDER)</i>	162 725	5%
<i>Subvention autres (à préciser)</i>		0%
Emprunt bancaire OSEO	810 000	24%
Taux d'emprunt	4,57% sur 144 mois	
Emprunt bancaire CIC	810 000	24%
Taux d'emprunt	4,1% sur 144 mois	
Avance remboursable (CG)	160 000	5%
Autofinancement	664 652	19%
TOTAL	3 421 000	100%

L'avance remboursable financée par le conseil général n'a pas encore été remboursée.
Les investissements complémentaires ont été autofinancés sur les fonds propres de l'EARL LARRERE ENVIRONNEMENT.

N.B : L'EARL LARRERE ENVIRONNEMENT exploite par ailleurs 18 bâtiments photovoltaïques

III.1. Produits

Tableau 14 - Produits d'exploitation

	Montant prévisionnel (€/an)	Produits actuellement constatés (2017) (€/an)
Vente d'électricité	Calculé pour un moteur 300 kW Tarif 150,16 €/MWh	Tarif 164 €/MWh 1 145 856 kWh produits en 2017
Chaleur (économie ou vente)		Pas de valorisation
Digestat (économie ou vente)	34360 € (10€/t)	Pas de valorisation

III.2. Charges

Tableau 15 - Charges d'exploitation

	Montant prévisionnel (€/an)	Produits actuellement constatés (année 2017) (€/an)
Approvisionnement	50 €/t rafles de maïs soit 105 000 €/an	Pas de charges associées à la mobilisation des substrats
Electricité	19 968 €/an (48 €/MWh)	Bilan comptable : 26 643 € en 2017 22 218 € en 2016 33 259 € en 2015
Pilotage de l'installation	10 000 €/an (1h/jour)	1 ETP technicien + 30% d'un temps plein pour le responsable d'exploitation
Loyer et charges locatives	10 000 €/an	Non facturés
Entretien et maintenance hors cogénération	38750 €/an (1,25% de l'investissement/an)	Pas de contrat de maintenance depuis la disparition de Greenwatt 15000 €/an de maintenance process (vis extrudeur 11 000 €/an, lobes 600 €/an, graisses...)
Entretien cogénération	24540 €/an (10 €/MWh)	3,42 €/h de fonctionnement
Assurances	3000 €/an	13068 €/an (contrat AVIVA)
Comptable	2000 €/an	
Services bancaires	500 €/an	

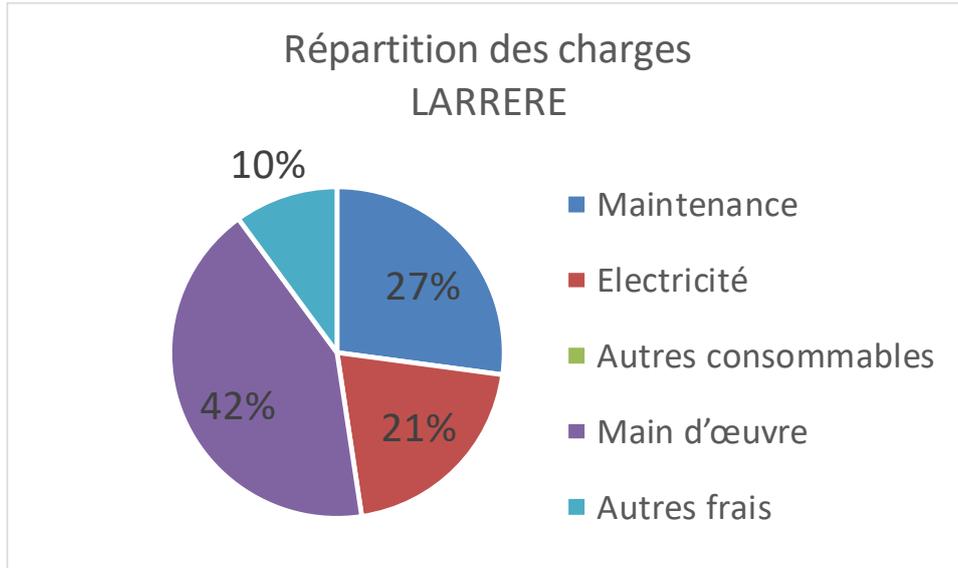


Figure 16 - Répartition des charges d'exploitation - LARRERE

III.3. Bilan économique

Le tableau ci-dessous présente une analyse économique comparée entre le prévisionnel et le réalisé pour la période de novembre 2016 à octobre 2017 :

Tableau 16 - Bilan économique

	LARRERE		
	Prévisionnel	Réalisé	Ecart en %
Paramètres techniques & financiers			
Investissement total en k€	3000	3421	14%
Puissance installée en kWél	300	370	23%
Taux de disponibilité moteur	100%	68%	-32%
Nombre d'heure fonctionnement moteur	8760	5926	-32%
Rendement moteur net en %	35%	35%	0%
Investissement/puissance électrique installée	10000	11403	14%
Consommation moteur en Nm ³ CH ₄ /h	80,0	48,3	-40%
Tonnage traité	6511	10543	62%
Production de méthane	701209	286036	-59%
Nm ³ de CH ₄ /TMB	108	27	-75%
Tarif de rachat électrique (Mwhel)	150,16	164	9%
MWh vendu EDF	2454	1146	-53%
Produits annuels	402 853 €	187 920 €	-53%
Chiffre d'affaires électrique en €	368 493 €	187 920 €	-49%
Economie de chaleur en €	0 €	0 €	
Vente de digestat	34 360 €	0 €	-100%
Charges annuelles	202 508 €	129 978 €	-36%
Gestion des substrats			
Montant en €	105 000 €	0 €	-100%
Maintenance			
Cogénération en €/MWh (prévi) ou €/h (réalisé)	10	3,42	-66%
Process (GR) en % de l'investissement	1,3%	0,4%	-65%
Coût maint. Cogé en €	24 540 €	20 267 €	-17%
Coût maint. Process en €	37 500 €	15 000 €	-60%
Consommables			
Electricité en % production électrique	17%	29%	
Coût en €	19 968 €	26 643 €	33%
Main d'œuvre			
Coût horaire en €	28 €	26 €	
Nbre d'heure	360	2139	494%
Coût MO en €	10 000 €	55 000 €	450%
Autres frais (assurance, comptable, services bancaires)	5 500 €	13 068 €	138%
EBE annuel en €	200 345 €	57 942 €	-71%

	Prévisionnel	Réalisé	Ecart en %
Taux de subvention	40%	29%	-28%
Montant à financer pour le projet (Inv-subv.)	1 800 000	2 428 910	35%
Somme des revenus sur 15 ans hors fiscalité & intérêt	3 005 170	869 137	-71%
Taux d'actualisation	4%	4%	
Valeur actuelle (Sommes des revenus actualisés)	26 730 112	7 571 046	-72%
Valeur actuelle nette	24 930 112	5 142 136	-79%
Temps de retour brut (en année) : sans intérêts d'emprunt	9	42	367%
TRI (en %) avec subvention	7%	-11%	

Les produits générés par l'installation sont inférieurs de 53% au prévisionnel, en raison d'une production électrique plus de 2 fois moins importante que prévu, ainsi que de l'absence de recettes liées à la valorisation du digestat. La chaleur n'est pas valorisée.

Les charges sont moins importantes que dans le prévisionnel :

- L'approvisionnement des rafles de maïs (coût prévu de 50 €/t) n'a pas été refacturée à LARRERE et Fils.
- Les charges de maintenance process sont estimées à 15 000 €/an par l'exploitant, principalement pour le renouvellement des vis de l'extrudeur. L'absence de contrat de maintenance entraîne un risque de forte variation de ce poste de charge selon les années en fonction des besoins. A noter qu'aucune charge de maintenance process n'a été prise en compte dans le bilan comptable 2017. Des frais de maintenance process ont été pris en compte en tant que « travaux méthanisation » dans le bilan comptable en 2015 (5000 €) et 2016 (103 500 €) mais pas en 2017 : soit en moyenne 36 166 €/an, à comparer aux 37 500 € prévisionnels.
- La consommation électrique du process est importante et supérieure au prévisionnel. Elle représente 29% de l'électricité produite par l'installation en 2017. Ceci est dû plus à la faible production qu'à la forte consommation. Cette dernière est toutefois impactée par les modifications au niveau du mode de broyage et des agitateurs.
- La main d'œuvre est très supérieure à celle envisagée dans le prévisionnel (1h/jour), qui était sous-estimée par rapport à la technicité du process et aux quantités de matières traitées. L'exploitation nécessite actuellement 30% du temps du responsable de site + 1 ETP dédié à l'exploitation de l'installation. Cependant ce temps n'est pas représentatif d'une installation de ce type (Cf II.3.4).
- Le contrat d'assistance au pilotage de Greenwatt (10 K€/an) a été mis en place jusqu'en 2015 mais n'a pas permis de mettre en œuvre des conditions d'exploitation satisfaisantes.

Le bilan économique conduit à un Excédent Brut d'Exploitation 57 942 €/an.

Le remboursement de l'emprunt s'élève quant à lui à 173 000 €/an : l'excédent généré ne permet pas de couvrir la dette. La valeur actuelle nette indique une perte de valeur de 5,1 M€ sur les 15 ans d'exploitation, et le TRI est négatif.

IV. Conclusion et perspectives

IV.1. Conclusion

L'unité de méthanisation de LARRERE ENVIRONNEMENT repose sur des intrants végétaux aux caractéristiques particulières ainsi que sur une technologie complexe. Après avoir surmonté différents problèmes techniques et modifié certains équipements, l'exploitant se trouve aujourd'hui confronté à des difficultés de gestion de l'installation liées à la composition et au comportement des matières traitées et à la complexité du procédé biologique et technique.

Le procédé retenu est adapté à la méthanisation de matières facilement et rapidement dégradables, comme les carottes. Pour cela il comprend un liquéfacteur et un méthaniseur à biomasse fixée (HYFAD).

Le traitement de déchets ligno-cellulosiques comme du maïs peut être envisagé MAIS s'ils sont introduits directement dans le post-digesteur car leur introduction dans le liquéfacteur génère des dysfonctionnements importants.

Les fibres entraînent une viscosité beaucoup trop élevée dans le liquéfacteur, dont l'agitation n'est pas prévue pour et se bloque. Il n'est pas exclu que le décollement du liner soit dû aux contraintes trop élevées s'appliquant sur les parois lors de l'agitation.

En outre, l'alimentation de l'HYFAD est alors très irrégulière et la production de biogaz, particulièrement rapide avec ce type de procédé, n'est pas maîtrisée ce qui induit des variations de débit préjudiciables au fonctionnement du cogénérateur.

Par ailleurs, le gisement principal selon l'étude initiale c'est-à-dire le maïs, se révèle beaucoup plus humide que prévu (environ 3 fois moins de matière sèche, ce qui serait à confirmer toutefois par des analyses), avec deux conséquences directes :

- la production potentielle de méthane des intrants est bien inférieure au prévisionnel
- la répartition des digestats liquide et solide est complètement inversée par rapport au prévisionnel : on produit de gros volumes de liquide et une très petite quantité de digestat solide, qui n'est pas composté comme initialement prévu

Dans ce contexte le bilan économique de l'installation ne peut pas être positif ni représentatif puisque :

- des modifications significatives du process ont dû être réalisées pour tenter de fonctionner selon le mode inadapté
- la production électrique est bien inférieure à l'attendu puisque le gisement n'est pas conforme au prévisionnel
- la valorisation du digestat solide en compost est inexistante
- le temps de main d'œuvre nécessaire à faire fonctionner l'installation est beaucoup plus élevé que prévu principalement du fait des dysfonctionnements

IV.2. Suites à donner

L'exploitant a mis en œuvre un **suivi biologique** avec M. Lievens sur 12 mois qui devait permettre de mieux comprendre le fonctionnement biologique des différents compartiments et d'envisager des évolutions au niveau de la ration et de la gestion des flux. Des co-substrats méthanogènes ont été préconisés tels que des tourteaux de colza et de la terre végétale, mais les essais avec ces matières n'ont pas pu être réalisés avant l'arrêt de fonctionnement de l'installation mi-janvier 2018. Des analyses des matières entrantes sont prévues et devraient être réalisées prochainement. Elles sont

nécessaires pour émettre des préconisations techniques et concevoir les évolutions à apporter à l'installation.

L'installation est à l'arrêt depuis mi-janvier et le liquéfacteur ne peut plus être utilisé jusqu'à la finalisation de l'expertise enclenchée dans le cadre de la procédure en référé contre GREENWATT. Les autres ouvrages et équipements peuvent être remis en service, et l'exploitant effectue des démarches pour obtenir des propositions techniques de la part de constructeurs afin de faire évoluer l'installation.

On peut d'ores et déjà apporter les éléments suivants sur la base des éléments disponibles et de notre expertise.

1. La première étape incontournable est de caractériser la ration : un suivi analytique simple (MS) et des mesures ponctuelles de BMP seraient nécessaires pour évaluer précisément le comportement de chaque substrat.
2. Pour augmenter la production de biogaz au niveau du prévisionnel la condition nécessaire (mais non suffisante) est d'approvisionner des intrants supplémentaires. Selon les cas (intrants exclusivement végétaux par ex) une complémentation en nutriments doit être étudiée.
3. Le mode de fonctionnement actuel est à revoir : **le maïs ne doit plus être introduit dans le liquéfacteur.**
En fonction des gisements disponibles on peut raisonnablement se poser la question du maintien du dispositif (liquéfacteur-Hyfad) dans le fonctionnement.

Il y aurait donc **deux options** :

- a) soit les gisements sont introduits directement dans le post-digesteur, qui devient un digesteur conventionnel infiniment mélangé, et le système liquéfacteur-Hyfad n'est simplement plus utilisé. L'ajout d'une cuve d'hydrolyse pour les déchets et jus de carotte pourra être envisagé, alors que les déchets de maïs seraient introduits directement dans le digesteur.
- b) soit une partie du flux (rapidement dégradable) est toujours traitée par le système (liquéfacteur-Hyfad) et l'autre partie du flux (les déchets ligno-cellulosiques) est traitée directement dans le post-digesteur

Le choix de ces options dépend de l'existence et de la nature et gisements complémentaires éventuels, et bien sûr des contraintes techniques (du site) et budgétaires. Avec les gisements actuels, sur la base de notre expertise, le maintien de système (liquéfacteur-Hyfad) est inutile compte tenu des paramètres de fonctionnement. Cependant la production de méthane prévisionnelle ne peut être atteinte. Avec des gisements complémentaires, la question devrait être étudiée.

4. S'il est de nouveau utilisé, le système d'alimentation automatique des liquéfacteur-Hyfad-digesteurs devrait être reparamétré pour lisser autant que possible le débit de biogaz.

Après avoir établi une ration prévisionnelle dont la composition est bien définie, il sera possible de consulter des constructeurs susceptibles de proposer des solutions techniques adaptées. Un accompagnement de l'exploitant par un bureau d'études spécialisé permettrait de réaliser une analyse critique des propositions fournies par les constructeurs.

Les résultats de cette consultation permettront de réaliser une analyse économique intégrant les investissements à réaliser et les charges associées au fonctionnement de ce process modifié.

Une fois les évolutions techniques effectuées, il sera alors possible d'optimiser le fonctionnement de l'installation afin de valoriser le digestat et optimiser la valorisation de l'énergie produite :

5. Les possibilités de valorisation du digestat devraient être étudiées en fonction des contraintes réelles (plans d'épandage). Le maintien d'une séparation de phase pour passer de 2.5% à 2% MS doit être questionné.
6. Enfin des pistes pour optimiser la valorisation de l'énergie produite pourront être évaluées : une valorisation de tout ou partie de la chaleur produite, ou valorisation du biogaz pour d'autres usages tels que la production de biogaz carburant (proposition de l'exploitant).

La mise en œuvre d'un protocole de suivi sur une période donnée suffisamment longue (6 à 12 mois par exemple) avec une planification des variables à tester (modification de l'approvisionnement, des paramètres de fonctionnement) et la mise en œuvre d'un outil de suivi des paramètres et des performances permettant d'interpréter les résultats obtenus pourrait être réalisée afin d'accompagner l'exploitant dans l'appropriation de ce nouvel outil de production et de s'assurer du bon fonctionnement sur le long terme.

V. ANNEXE : Liste des documents fournis

Bilan prévisionnel

- Etude de faisabilité

Investissements réalisés

- Plan financier ADEME (document excel)
- Tableau de financement et factures (mars 2013)

Suivi de l'installation

- Protocole et rapport de suivi APESA (juillet 2014 à mai 2015)
- Document excel de suivi du fonctionnement de l'installation (données quotidiennes de septembre 2014 à décembre 2017)

Contrats

- Contrat de vente Greenwatt
- Contrat de maintenance Greenwatt
- Contrat de maintenance 2G (moteur)
- Contrat d'assurance AVIVA
- PV de réception de l'unité Greenwatt (15/10/2015)

Analyses

- Analyse du mélange dans le liquefacteur (08/2016)
- Analyse digestat solide et liquide (09/2017)