



## **LA METHANISATION A LA REUNION.**

**Perspectives et enjeux de recherche.**

**Appui technique au programme PILMO**

**Compte-rendu de mission du 15 au 23 septembre 2010**

JL. FARINET  
UPR Recyclage et risque  
Novembre 2010

## PLANNING DE LA MISSION

- jeudi 16 sept. Arrivée à St Denis  
Discussion interne sur le programme PILMO et la thèse de doctorat de Nantenaina Rabetokotany
- vend. 17 sept. Visite chantier de méthanisation à la distillerie Rivière du Mât, à Beaufonds, Mme M. Felix Ripoll et M. L. Broc  
Réunion à l'ARER, Mr L. Gautret
- WE
- lundi 20 sept. Visite de l'unité de traitement du lisier de Grand Ilet, Mrs B. De La Burthe et J.L. Macoral (FRCA) et J. Le Petit (SICALAIT)  
Discussion interne sur le projet GIROVAR
- mardi 21 sept. Territoire des Communes de l'Ouest (TCO) :  
Palais de la Viande, St Paul, Mr J.L. Jestin  
Matines, St Gilles les Hauts, Mr P. Quineau  
Crête d'Or, Etang Salé, Mr F. Gauvrit et Mme A. Vion  
Université du Tampon, Dpt. SBE : Mmes L. Adelard et S. Dumas et LPAH de St Joseph, Mr S. Busson
- merc. 22 sept. Réunion à la Direction Energie climat de la Région, St Denis, Mr J. Dieudonné  
Débriefing au CIRAD La Bretagne  
Retour à Montpellier

# SOMMAIRE

<b>1. Objectifs et modalités</b> .....	4
<b>2. Les instruments de la politique énergétique réunionnaise</b> .....	4
<b>3. Quelle place pour la méthanisation ?</b>	
3.1 Les objectifs planifiés .....	5
3.2 Les réalisations et projets en cours.....	6
<b>4. Les enjeux de recherche</b>	
4.1 Constat.....	7
4.2 Propositions de recherche	
Potentiels méthanogènes et rendements de méthanisation .....	11
Evaluation agronomique des digestats.....	15
Modélisation technico-économique de la méthanisation .....	16
<b>5. Conclusions</b> .....	16
ANNEXE.....	18

## 1. Objectifs et modalités

La Région Réunion affiche des objectifs ambitieux de développement des énergies renouvelables, notamment pour la production d'électricité qui deviendrait autonome à l'horizon 2025. La méthanisation des déchets organiques fait partie des filières envisagées à côté du photovoltaïque, de l'hydro-électricité, de la géothermie, de l'éolien, des énergies de la mer et de la valorisation du bois, de la bagasse et de la canne fibre. En matière de recherche agronomique, la Commission Permanente du Conseil Régional a fait la demande expresse d'une meilleure adéquation des programmes du CIRAD aux objectifs régionaux de développement des énergies renouvelables, avec notamment l'intégration « d'une démarche visant le développement des thématiques bioénergie, canne-énergie, bio-valorisation des déchets et méthanisation ».

Le programme « Pilotage des apports organiques et impacts environnementaux » (PILMO) est particulièrement concerné par les 2 derniers points et la présente mission avait donc pour objectifs principaux :

- de définir les contours d'une contribution du programme à la clarification de la place de la méthanisation dans les stratégies réunionnaises,
- d'intégrer dans les projets de recherche du programme, des travaux sur les aspects de la méthanisation qui semblent les plus déficitaires à la Réunion.

A cet effet, des rencontres ont été organisées avec d'une part les promoteurs de la stratégie réunionnaise (Direction Energie Climat de la Région, ARER<sup>1</sup>) et d'autre part, certains acteurs et porteurs de projet (distillerie de Rivière du Mat, FRCA<sup>2</sup>, Sicalait, Crête d'Or, Matines, Palais de la viande, Université du Tampon, Lycée agricole de St. Joseph).

## 2. Les instruments de la politique énergétique réunionnaise

L'ambition d'atteindre l'autonomie énergétique d'ici 2025-2030 a été initiée par la Région dès 2000 à travers son Plan Régional de développement des Energies Renouvelables et d'Utilisation Rationnelle des Energies (PRERURE). Suite au Grenelle de l'environnement, cette ambition a été relayée par l'Etat avec le GIP Projet GERRI et elle s'est aussi concrétisée en 2009 avec le programme STARTER (Stratégie d'Autonomie Energétique pour la Relance et la Transition de l'Economie Réunionnaise). Le rapport PETREL, établi par l'ARER, présente une première évaluation du mix énergétique réunionnais aux horizons 2020 et 2030. La demande et la production d'électricité y sont évaluées selon 2 scénarios, l'un tendanciel suivant une évolution classique peu portée vers l'innovation, l'autre beaucoup plus volontariste suivant STARTER. La valorisation de la biomasse est prépondérante dans ce dernier scénario d'autant qu'elle fournit une énergie dite « base » car disponible en permanence.

En 2010, la phase 1 d'un schéma directeur biomasse-énergie (SDBE) a été élaborée par l'ARER et présente un état des lieux et une prospective sur les ressources disponibles et leur potentiel énergétique en tenant compte des projets déjà réalisés ou en cours de développement à la Réunion. C'est surtout ce dernier document, disponible sur le site de l'ARER, qui a servi de base à nos discussions et travaux.

---

<sup>1</sup> Agence Régionale de l'Energie Réunion, association loi 1901 a but non lucratif.

<sup>2</sup> Fédération Régionale des Coopératives Agricoles de la Réunion

### 3. Quelle place pour la méthanisation ?

#### 3.1 Les objectifs planifiés

Dans le SDBE et selon le scénario STARTER à l'horizon 2030<sup>3</sup>, la méthanisation contribuerait pour 1,9% à la production totale d'énergies renouvelables primaires et 3,9% de la production d'énergie primaire à partir de la biomasse. La totalité de cette production serait destinée à produire de l'énergie électrique à hauteur de 68 GWh/an avec une puissance installée de 11,34 MW. Le biogaz qui est actuellement valorisé sur les deux CET de la Réunion à Sainte Suzanne et à la Rivière Sainte Etienne n'entre pas en compte car la production est en phase décroissante et supposée nulle en 2030.

Si la contribution de la méthanisation peut paraître faible au premier abord, elle correspondrait tout de même à la production de 34,3 millions de m<sup>3</sup> de biogaz par an à partir de 853 milles tonnes de déchets dont :

- 44% d'effluents d'élevage
- 21% d'effluents agroindustriels
- 21% de boues de STEP
- 11% de biodéchets
- 3% de déchets verts humides

Les effluents d'élevage représentent une large part des déchets à méthaniser. Les hypothèses retenues sont que 25% des effluents d'élevage produits à ce jour sur l'île seront valorisés par méthanisation à l'horizon 2020 et 50% à l'horizon 2030. Les boues de STEP seraient quant à elles mobilisées à 91%, les déchets verts humides à 44% et les effluents agroindustriels et biodéchets à 100%.

Nous ne nous attarderons pas sur les rendements de méthanisation utilisés pour chaque type de déchets, les chiffres nous paraissant assez conformes aux prévisions habituelles en la matière. Ce schéma directeur et ses hypothèses amènent cependant quelques commentaires :

- pour les effluents d'élevage, la prospective ne semble pas tenir compte de l'évolution du cheptel et notamment du projet de Développement des Elevages en Filières Interprofessionnelles (DEFI) qui prévoit en 10 ans des progressions de 35 à 40% pour les porcs et les bovins et 50% pour les volailles.
- il est fait mention de pratiques d'épandage ou de projets de compostage des effluents d'élevage qui limiteraient le potentiel de méthanisation. En fait, la méthanisation n'est pas concurrente mais complémentaire à ces techniques ; d'ailleurs toute installation de méthanisation nécessite en aval un épandage ou un compostage du digestat (résidu de la transformation). Un épandage direct du digestat est possible en respectant la procédure des plans d'épandage. Le digestat reste alors statutairement un déchet. Si le digestat subit une phase de maturation par compostage, il peut, selon sa composition et son utilisation, devenir un produit en satisfaisant aux prescriptions des normes NFU 44-051 ou NFU 44-095 selon sa provenance.
- comme justement signalé à la fin du document, seule une approche territoriale permettra d'ajuster offre et demande énergétique car, par exemple, la production de chaleur associée à la production d'électricité à partir du biogaz (50-55% de

---

<sup>3</sup> Schéma directeur biomasse énergie phase 1. Etat des lieux des ressources « biomasse » à la Réunion et perspectives de développement à l'horizon 2020 et 2030. ARER mai 2010, 63 p + annexes.

l'énergie primaire) est omise dans cette première phase. Il faut ajouter que l'approche territoriale permettra aussi d'ajuster offre et demande agronomique par rapport aux digestats. Dans les conditions de la Réunion, ces 2 éléments (chaleur, digestats) peuvent avoir un impact très important sur les modalités (centralisé/décentralisé) et les procédés de méthanisation (solide/liquide).

- la production d'énergie attendue est calculée en sommant le potentiel de chaque type de déchet ; or l'approche territoriale pourrait mettre en évidence des regroupements avec donc la méthanisation de mélanges de déchets. Le potentiel méthanogène de ces mélanges n'a souvent rien à voir avec celui des composants pris séparément et la littérature fait couramment état de synergies, ou au contraire d'inhibitions, entre certains types de déchets.

### ***3.2 Les réalisations et projets en cours***

De nombreux acteurs réunionnais s'intéressent depuis plusieurs années à la méthanisation mais il faut bien dire qu'il n'y a pas à ce jour de réalisation concrète, sinon la récupération et la valorisation du gaz de décharge.

Au cours de cette mission, nous avons visité le chantier de ce qui devrait être la première unité de méthanisation d'envergure dans la région, à la distillerie Rivière du mât (Quartier Français Spiritueux). Sa mise en place est directement liée à l'augmentation drastique des coûts de l'énergie ces 5 dernières années. C'est aussi le fruit d'un cheminement industriel pragmatique mettant en œuvre des expérimentations préalables sur pilote puis un phasage des réalisations. La distillerie produit 80 000 hl d'alcool pur par an et la production de vinasse est de l'ordre de 600 m<sup>3</sup>/jour au cours de la campagne. Cette vinasse est actuellement rejetée en mer via un émissaire à 80 m de profondeur. Les résultats d'expérimentation ont montré des difficultés particulières pour la méthanisation, compte tenu d'une salinité élevée et d'une forte teneur en matière organique (120 kg DCO/m<sup>3</sup>). Dans une première phase, la moitié du débit de vinasse sera traité dans un méthaniseur de 5 800 m<sup>3</sup> de capacité. La charge organique sera ainsi réduite de 80% et le biogaz produit sera utilisé dans une chaudière à vapeur en assurant ainsi l'autonomie énergétique de la distillation. Dans une deuxième phase, dont la réalisation est soumise aux résultats de la première, un méthaniseur supplémentaire sera installé pour traiter l'ensemble de la vinasse. La production supplémentaire de biogaz serait alors destinée à produire de l'électricité qui serait vendue à EDF. Le tarif actuel de rachat, de l'ordre de 13,6 c€/KWh, n'est cependant pas très attractif d'après l'exploitant.

Il est à noter que le devenir des vinasses après méthanisation restera le rejet en mer avec certes une forte réduction de la quantité de matière organique, mais toujours autant de nutriments en particulier de potassium. L'exploitant est conscient de la valeur fertilisante de la vinasse mais l'organisation de son épandage sur la sole cannière très morcelée lui paraît très compliqué. Dans le cadre de ses activités de recherches, le CIRAD pourrait assurer un suivi pour la caractérisation du digestat et des boues.

A l'abattoir de Crête d'Or Entreprise à Etang Salé, la méthanisation n'est qu'à l'état de projet. Là encore des expérimentations préalables ont été faites sur pilote. C'est d'abord les coûts prohibitifs actuels de l'équarrissage, de l'incinération et de l'enfouissement qui ont motivé l'exploitant. D'après les résultats d'expérimentation, seul 50% du volume des déchets produits serait méthanisable car plumes et carcasses provoquent l'acidification du milieu. Il est de plus préconisé d'ajouter du lisier pour favoriser le processus de méthanisation. Le biogaz serait destiné à la cogénération avec revente de l'électricité à

EDF et utilisation de la chaleur dans l'abattoir. Le digestat serait séparé en une phase solide, destinée à l'épandage ou au compostage, et une phase liquide qui serait dirigée en STEP après floculation. La réalisation effective de l'installation n'est pas prévue à court terme.

Dans les 2 cas, ces industriels ont fait appel à des constructeurs et détenteurs de procédés pour réaliser les expérimentations préalables sur pilote. C'est à notre avis un risque à bien mesurer car ces entreprises sont plus attachées à adapter les problèmes à leurs procédés plutôt que l'inverse (dilution des vinasses, ajout de lisier). Ainsi pour les vinasses, de nombreuses installations fonctionnent au Brésil, en Inde et en Afrique du sud avec des procédés adaptés et une simple acclimatation de la flore microbienne aux conditions de la vinasse. De même pour les déchets carnés d'abattoir, des procédés adaptés à flux piston ont fait leur preuve pour contrer les effets de l'acidification. Sur ce genre de projet ponctuel, le rôle du CIRAD pourrait être d'appuyer les opérateurs dans le choix des bons interlocuteurs, tant sur le plan de leurs compétences et procédés que sur celui de leurs références au sud.

## 4. Les enjeux de recherche

### 4.1 Constat

*Le positionnement de la méthanisation parmi les techniques de traitement et valorisation des déchets doit être plus explicite.*

Par rapport à l'épandage direct de déchets bruts (lisiers, boues, fumiers...), les principaux avantages induits par la méthanisation sont : l'amélioration de la valeur fertilisante directe grâce à la minéralisation de l'azote organique, l'augmentation du pH, la désodorisation, un épandage facilité (meilleure fluidité) et la diminution des germes pathogènes et des graines d'adventices. D'après Solagro-Orgaterre<sup>4</sup>, la minéralisation de l'azote et l'augmentation du pH constituent également des inconvénients car l'ammoniac est une forme soluble dont la forme volatile ( $\text{NH}_3$ ) augmente avec le pH. Les risques de volatilisation d'ammoniac au cours du stockage et de l'épandage sont donc accrus ; il faut en tenir compte avec des pratiques adéquates (fosse couverte, enfouissement). Pour le phosphore, on suspecte une influence de l'anaérobiose sur sa disponibilité mais aucun résultat établi n'est encore disponible. On notera que l'ADEME a lancé début 2010 une étude sur la qualité agronomique et sanitaire des digestats qui vise à actualiser et critiquer les données recueillies par l'étude Solagro-Orgaterre en 2004, à définir les besoins de recherche et à examiner la faisabilité d'un «Guide de la production et de l'épandage des digestats».

A la Réunion, si l'on rappelle que le principal problème de gestion des déchets concerne les excédents de minéraux par rapport aux besoins des cultures dans certaines zones, la méthanisation n'est d'aucun secours puisqu'elle impacte seulement la matière organique. C'est par exemple le cas à Grand Ilet où se justifiait d'abord un traitement visant à l'exportation et l'élimination de l'azote et du phosphore. Par contre, elle aurait pu être intégrée en amont du traitement si elle s'était justifiée sur le plan économique et/ou environnemental, ce qui n'était pas le cas au moment des études. Sur le plan technique, il aurait alors simplement fallu adapter la séparation de phases au digestat (réglage centrifugeuse) et conserver un peu de lisier brut pour alimenter la dénitrification en carbone facilement biodégradable.

---

<sup>4</sup> La qualité agronomique des digestats. Synthèse. Décembre 2004, Orgaterre, C/568 - N°2

Si on la compare au compostage, la méthanisation est similaire à la 1<sup>ère</sup> phase thermophile avec un taux de dégradation de la matière organique équivalent et des teneurs en éléments minéraux totaux conservées. La 2<sup>ème</sup> phase d'humification de la matière organique résiduelle requiert des conditions particulières qui ne sont pas remplies par la méthanisation. Ce processus de finition est donc nécessairement séparé physiquement de la méthanisation et semblable à la phase de maturation du compostage. Globalement, les composts obtenus par méthanisation puis maturation ou par un compostage classique sont très similaires sur le plan de leur composition organique et minérale.

*Les critères énergétiques, agronomiques, socio-économiques et environnementaux de l'évaluation de la méthanisation seraient à préciser pour la Réunion.*

La gestion intégrée des déchets organiques au niveau d'un territoire combine diverses techniques et l'élaboration de scénarios de gestion nécessite leur connaissance approfondie. Pour certaines d'entre elles, leurs intérêts sont peu dépendants du contexte agro-pédo-climatique. Ce n'est pas le cas de la méthanisation dont les intérêts énergétique et environnemental sont influencés par le climat (température), de même que son intérêt agronomique en rapport avec le statut et l'utilisation du digestat.

#### Critères énergétiques

Ils concernent d'une part la production de biogaz et d'autre part son mode d'utilisation pour produire l'énergie utile (chaleur et/ou électricité). Par ailleurs, une partie de cette énergie utile est réutilisée sur l'installation de méthanisation pour maintenir la température du digesteur. A la Réunion, il faudra tabler sur une autoconsommation de 10 à 20% de l'énergie primaire produite pour maintenir la température du digesteur et ceci en fonction de la localisation de l'installation (altitude).

Les rendements de méthanisation de différents types de déchets comme les effluents et fumiers d'élevage, les boues de STEP ou les biodéchets sont référencés et estimables avec suffisamment de précision. On exprime ces rendements en  $m^3 CH_4/kg MO$  (MO : matière organique ou volatile) ou  $m^3 CH_4/kg DCO$  (DCO : demande chimique en oxygène). Pour certains déchets et effluents agroindustriels, dont les caractéristiques varient suivant les procédés de production, les rendements sont mal connus. Se pose également le problème des mélanges de plusieurs types de déchets dans des proportions variables qui peuvent engendrer synergies ou inhibitions. Le recours à la modélisation est possible pour estimer ces rendements, sous réserve d'une analyse chimique poussée des déchets (lipides, protéines, cellulose, hémicellulose, lignine). Selon les recommandations du GIEC<sup>5</sup>, la production de biogaz est affectée d'un taux de perte de 5% (fuites digesteur, réseau, stockage). On la convertit ensuite en énergie primaire sur la base d'une teneur moyenne en méthane de 60% et d'un PCI du méthane de  $9,94 kWh/m^3$ .

En fonction de son utilisation, le biogaz est épuré en premier lieu pour diminuer la teneur en  $H_2S$ . Les techniques de traitement chimiques et/ou biologiques du biogaz sont bien connues des industriels. Les rendements de conversion lors de l'utilisation du biogaz sont assez standards pour les usages courants :

- production de chaleur en chaudière : 85%
- cogénération électricité/chaleur en moteur à combustion : 35/50%
- cogénération électricité/chaleur en turbine : 20/65%

---

<sup>5</sup> IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006, Volume 5, Chapter 4, Page 4.4.



Pour la cogénération, il faut différencier la chaleur basse température (usage eau chaude) produite par un moteur à combustion, de celle à haute température (usage vapeur) issue d'une turbine.

#### Critères agronomiques

Comme évoqué précédemment, ils s'apprécieront en fonction de l'usage du digestat. S'il est épandu directement, l'apport en N, P, K peut être assimilé à de l'engrais minéral sous réserve de techniques de stockage et épandage adéquates. S'il doit subir une maturation, on discerne généralement le devenir des fractions solide et liquide qui sont séparées après la méthanisation (centrifugation, pressage,...). La fraction liquide (filtrat, éluât), riche en ammoniacque et en potasse, peut être épandue directement en suivant les mêmes règles que pour le digestat. Elle peut aussi être dirigée vers une STEP ou encore subir un traitement complémentaire sur site pour éliminer l'azote par nitrification/dénitrification avant d'être stockée et utilisée pour l'irrigation. Dans la plupart des cas, c'est la sous-estimation du problème d'élimination de la fraction liquide qui a conduit à l'abandon de certaines installations ou à des surcoûts très importants.

La fraction solide, riche en phosphore, doit quant à elle subir un traitement de finition aérobie, ou maturation, pour devenir un compost. Les besoins en oxygène n'étant pas importants à ce stade, il n'est pas nécessaire de recourir à un matériau structurant pour mener cette étape. Par contre, il y aura lieu de procéder à des retournements périodiques pour aérer et sécher un minimum le produit avant son affinage. L'objectif sera d'obtenir un compost répondant aux exigences des normes NF U 44095, 42001 ou 44 051 selon la nature des déchets initiaux et les teneurs en N, P, K.

#### Critères socio-économiques

En termes d'acceptabilité sociale de la méthanisation, le risque perçu lié au gaz peut s'ajouter aux autres freins habituels pour tout projet de traitement des déchets (odeurs, pollution, bruit). Dans les faits, on ne relate que 2 accidents en France. Pour le premier, survenu en 1999 dans une papeterie, il s'agissait de l'explosion (équivalent à 5 kg de TNT) d'un gazomètre souple de 10 m<sup>3</sup> de gaz qui a provoqué une onde de choc sur au moins 130 mètres, avec uniquement des dégâts matériels. Moins spectaculaire mais plus dangereux, le risque d'intoxication à l'H<sub>2</sub>S est plus sérieux avec, en 1985 dans une STEP, un décès suite à une rupture de canalisation de biogaz entre un gazomètre et un digesteur. Dans les deux cas, les causes incriminées relevaient du non respect des règles de l'art.

Sur le plan économique, comme pour les autres énergies renouvelables, le coût d'investissement est la principale charge pour la méthanisation. Selon l'ADEME dans un rapport de février 2010<sup>6</sup>, les effets d'échelle sont importants en milieu rural pour les coûts d'investissement dans la méthanisation dédiée à la production d'électricité. Ainsi le ratio passe de 5200 €/kWe pour les puissances installées supérieures à 1 MWe à 8600 €/kWe pour celles inférieures à 100 kWe. Par rapport à l'Allemagne qui est très en avance, les coûts d'investissement seraient en France supérieurs de 70 à 100%. En tenant compte des coûts d'exploitation et maintenance et des revenus annexes (vente digestat, dégrèvement de taxe déchets), le coût de production du biogaz varie entre 25 et 50 c€/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> avec une moyenne de 37 c€/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> et une forte disparité pour les sites d'une puissance installée inférieure à 250 kWe. Le coût moyen de production d'électricité varie quant à lui entre 8,5 et 21,0 c€/kWe. Pour mémoire, le prix de l'électricité sur le marché métropolitain est passé de 4,0 c€/kWh en 2005 à 7,5 c€/kWh en 2009.

---

<sup>6</sup> Expertise de la rentabilité des projets de méthanisation rurale. 2010, ADEME, Paris, France, 134 p.

D'après une autre étude menée sur 13 installations dans 3 pays d'Europe<sup>7</sup>, le coût d'investissement moyen constaté est de 4400 €/kWe. Le coût de production du biogaz est en moyenne de 67 c€/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> et celui de l'électricité produite de 19,5 c€/kWe. Pour les DOM, le tarif maximum de rachat de l'électricité par EDF va de 13,6 c€/kWe pour les installations d'une puissance installée inférieure ou égale à 150 kWe à 15,3 c€/kWe pour celles d'une puissance supérieure ou égale à 2 MWe. Par ailleurs, des subventions, allant de 35 à 70% du coût d'investissement, peuvent être accordées sous certaines conditions aux opérateurs. On constate donc que la méthanisation couvre une très grande variété de types d'installation, pouvant varier de très rustique à très sophistiqué et que sa rentabilité pour produire de l'électricité n'est pas acquise et qu'elle dépend de nombreux facteurs.

### Critères environnementaux

L'évaluation environnementale de la méthanisation doit prendre en compte ses impacts sur la qualité de l'eau, du sol et de l'air. Pour l'eau et le sol, elle ne se différenciera pas foncièrement de l'épandage et du compostage avec les risques classiques liés aux nitrates, à l'eutrophisation, à la salinisation et à l'accumulation des métaux lourds et autres indésirables. Par contre c'est au niveau de la qualité de l'air et plus particulièrement de l'émission de GES que la différence va se faire.

Le groupe de travail « Agriculture » du Programme Européen sur le Changement Climatique a reconnu la méthanisation comme l'une des principales solutions pour réduire les émissions de GES<sup>8</sup>. On rappellera d'abord que selon les principes du GIEC, le CO<sub>2</sub> produit lors du traitement des déchets est lié en grande partie à la dégradation de la matière organique d'origine anthropique ou animale. Il est de ce fait considéré comme étant d'origine « biogénique » et n'est pas comptabilisé dans les émissions. Dans le cas de la méthanisation, ce principe est bien sûr conditionné par la combustion finale du méthane produit. Dans le périmètre de l'activité de méthanisation, on distinguera les émissions de GES :

- directes, provenant des procédés et engins nécessaires à l'activité (consommation d'énergies fossiles, fuites CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC,...) mais en considérant comme nulles celles de CO<sub>2</sub> issues de la dégradation de la matière organique,
- indirectes, provenant de la consommation d'énergie électrique, de la fabrication et du transport des intrants et du traitement et du transport des sous-produits, éventuellement complétées par celles engendrées par les investissements et immobilisations,
- réduites, par la valorisation énergétique du biogaz sur site (chaleur, électricité),
- évitées :
  - par rapport à la mise en décharge du déchet ou à son rejet dans le milieu naturel (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O),
  - par la valorisation énergétique du biogaz hors site (cédé à un tiers),
  - par la substitution d'engrais minéraux.

C'est donc la valorisation énergétique du biogaz en substitution d'énergies non renouvelables qui va permettre une nette augmentation des émissions réduites et/ou évitées par rapport à l'épandage et au compostage. Cependant, le bilan global n'en sera

---

<sup>7</sup> P. Hobbs, S.R. Ravella, A. Ward, A. Schattauer, A. Retter, J. Williams, M. Eder, T. Amon. 2010. Implications of benchmarking biogas plant to improve performance. RAMIRAN 2010, Lisboa, Portugal, September 12-15,2010.

<sup>8</sup> EC, Agriculture Directorate-General, European Climate Change Program. Mitigation potential of Greenhouse Gases in the Agricultural Sector. Final report of the Working Group 7 Agriculture, COM(2000)88.

pas forcément meilleur car dépendant des émissions de GES directes et indirectes de la méthanisation qui sont généralement supérieures à celles des autres filières. Les fuites de biogaz et les émissions indirectes liées à l'investissement en sont les principales causes.

## 4.2 Propositions de recherche

Le constat qui précède montre certaines lacunes dans les connaissances nécessaires au développement de la méthanisation à la Réunion. Les principales questions de recherche ont trait aux critères d'évaluation de ses impacts et peuvent se décliner comme suit :

- potentiels méthanogènes et rendements de méthanisation pour certains déchets et mélanges de déchets spécifiques,
- étude de la production de digestats variés et évaluation des effets de leur utilisation sur les sols et cultures de la Réunion,
- description/modélisation technico-économique de la méthanisation et des procédés afférents.

Le premier point pourrait s'inscrire dans le projet PILMO 5 (2011-2013), le second nécessiterait l'élaboration d'un projet spécifique (dates à spécifier) venant en renforcement du projet PILMO 5, tandis que le troisième trouverait sa place dans le projet GIROVAR qui débute en 2011.

### Potentiels méthanogènes et rendements de méthanisation

La quantité de méthane théoriquement productible à partir d'un composé organique peut être calculée à partir de la DCO. En effet, au plan stœchiométrique, cette quantité est égale à la moitié de la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation totale du composé, d'où la relation : 1 kg DCO = 350 l CH<sub>4</sub> sous 1 bar à 0°C. On peut donc directement exprimer la DCO en méthane et cette formulation est communément dénommée « DCO\_CH<sub>4</sub> » et exprimée en l CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup>. Quelques exemples sont donnés dans le tableau 1. On notera qu'il n'y a pas de relation directe avec MO ou MV même si certains auteurs estiment une « MO\_CH<sub>4</sub> » sur la base de : 1 kg MO = 300 l CH<sub>4</sub>.

Tableau 1 – DCO\_CH<sub>4</sub> de quelques composés organiques.

Composés organiques	DCO_CH <sub>4</sub> (l CH <sub>4</sub> .kg <sup>-1</sup> )
Glucose (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	373
Cellulose (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )	374
Protéines (C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> O <sub>2</sub> N)	497
Glycérine (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> )	426
Oléine (C <sub>57</sub> H <sub>104</sub> O <sub>6</sub> )	1014

Le potentiel méthanogène, ou rendement ultime de production de méthane, consiste en une mesure biochimique visant à déterminer la biodégradabilité d'un substrat donné dans des conditions anaérobies idéales (température, flore bactérienne adaptée, dilution, équilibre nutritionnel). Ce potentiel, communément appelé « B<sub>0</sub> », est obtenu par l'ajustement d'une courbe de production cumulée de méthane pour une quantité définie de matière organique. On l'exprime en l CH<sub>4</sub>.kg DCO<sup>-1</sup> ou l CH<sub>4</sub>.kg MO<sup>-1</sup>. La différence par rapport à la DCO\_CH<sub>4</sub>, correspond d'une part à la matière organique non biodégradable en anaérobiose (DCO dure) et d'autre part, à celle nécessaire à l'anabolisme (croissance et maintenance cellulaire). Néanmoins, le taux de

biodégradabilité est souvent calculé comme le rapport  $B_0 \times [DCO] / DCO_{CH_4}$ . Des exemples de potentiels méthanogènes et de taux de biodégradabilité issus de notre base de données sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 – Potentiel méthanogène et biodégradabilité de déchets organiques.

Déchet organique	$B_0$ (l CH <sub>4</sub> .kg MO <sup>-1</sup> )	Biodégradabilité (%)
Lisier de bovin	240	54
Fumier de bovin	275	
Lisier de porc	310	65
Fientes de volaille	410	
Sorgho biomasse	311	-
Paille de colza	240-320	-
Paille de blé	245	-
Algues invasives	380	-
Papier de bureau	350-370	64-68
Tontes de gazon	388	70-77
Feuilles de salade	294	58-70
Feuilles de carotte	241	-
Tomate entière	211	-
Peau de banane	243-322	-
Peau de mangue	370-523	-
Rafle de raisin	180	-
Tourteaux de jatropha	230	-
Huile de friture	650	-

Bien que certains utilisent directement la mesure de  $B_0$  pour dimensionner leurs installations, le rendement de méthanisation attendu dans un digesteur réel, « B », est différent car de nombreux facteurs influencent la performance réelle. D'abord  $B_0$  est rapporté à une durée de fermentation infinie, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. Ensuite, la charge organique pratiquée lors de la mesure du potentiel méthanogène n'a rien à voir avec celle, beaucoup plus élevée, supportée par les digesteurs réels. Par ailleurs, les conditions d'équilibre nutritionnel et d'homogénéité du milieu y sont rarement idéales. Les tentatives de modélisation du rendement de méthanisation en fonction de  $B_0$  ne sont pas encore convaincantes<sup>9</sup>. En conséquence, le rendement de méthanisation est de préférence obtenu par des essais en alimentation continue dans un réacteur de laboratoire ou un pilote. Les caractéristiques physico-chimiques du déchet à traiter (solide, liquide, matières en suspension,...) et son comportement lors de la mesure de son potentiel méthanogène vont orienter le choix d'un procédé de méthanisation avec un temps de séjour optimum. Il existe de nombreux procédés<sup>10</sup> et la technique employée va elle aussi influencer le rendement de méthanisation.

En conclusion, la prévision du rendement de méthanisation d'un déchet ou mélange de déchets passe chronologiquement par :

<sup>9</sup> G.C. Bishop, R.T. Burns, T.A. Shepard, L.B. Moody, C.A. Gooch, R. Spajic, J.L. Pronto. 2009. Evaluation of laboratory biochemical methane potentials as a predictor of anaerobic dairy manure digester biogas and methane production. ASABE paper n°09, St Joseph, Mich., USA : ASABE.

<sup>10</sup> Farinet JL. 2010. Transformation des matières organiques. *In* : Impact agronomique et environnemental de la gestion des matières organiques - Application aux pays du sud. Ressource pédagogique, Université Virtuelle Environnement et Développement durable (UVED), <http://uved.educagri.fr/>

- la mesure au laboratoire de la DCO ou à défaut de la MO,
- la mesure au laboratoire et l'ajustement de  $B_0$  en utilisant les résultats de DCO ou MO pour déterminer la quantité de déchets à mettre en œuvre,
- un essai en alimentation continue au laboratoire ou sur pilote en utilisant la courbe de détermination de  $B_0$  pour cibler le temps de séjour et la charge organique adéquats.

Dans PILMO5 sur 2011-2013, des mesures de potentiels méthanogènes pourraient être envisagées dans le cadre de la thèse de doctorat de Nantenaina Rabetokotany intitulée «Matières organiques issues de l'élevage et de la ville en milieu tropical: apports de la spectrométrie proche infrarouge (SPIR) pour orienter leurs usages agronomiques et/ou énergétiques». De plus, la SPIR pourrait éventuellement permettre de comparer l'état organique d'un compost et d'un digestat issus d'un même déchet ou mélange de déchets, ce qui serait d'un grand intérêt sur le plan scientifique.

Pour des travaux de recherche, la mesure de la DCO peut être faite par la méthode rapide suivant ISO 15705 (micro méthode photométrique après minéralisation 2h à 150°C). Le coût de l'ensemble réacteur-photomètre pour 25 postes est de l'ordre de 1400 € HT. Il faut ajouter un tube prêt à l'emploi (gamme 0-15 000 mg/l sans mercure) à 2 € HT par mesure. La MO est quant à elle mesurée par perte au feu à 550°C pendant 2 heures. La mesure de la DCO sur des déchets solides nécessite une dilution et parfois un broyage. Pour ce dernier point nous préconisons le broyage du déchet congelé pour améliorer la qualité de l'échantillonnage en évitant les pertes de MO.

La mesure du potentiel méthanogène peut être faite simplement en laboratoire dans un flacon de 250 ml à 2 l maintenu à 35°C dans une enceinte ou un bain marie. Le flacon contient un milieu réactionnel constitué d'un inoculum et d'un complément nutritif et on y ajoute une quantité définie de déchet à tester. Après balayage à l'azote pour assurer l'anaérobiose, on mesure régulièrement la quantité de biogaz produit par déplacement d'une colonne d'eau, ou par mesure de pression ou encore avec un compteur de bulles. Suivant la nature du déchet, le test peut durer de 10 à 100 jours jusqu'à obtention d'une production quasi nulle de biogaz. En fonction de l'adéquation entre inoculum et déchet, il est parfois nécessaire de réaliser 2 à 3 alimentations successives pour acclimater la microflore. La teneur en  $CH_4$  du biogaz est déterminée par chromatographie ou par infrarouge. Une variante consiste à piéger le  $CO_2$  du biogaz dans une solution de soude auquel cas on ne mesurera que le débit de méthane.

Pour tenir compte de l'activité endogène de l'inoculum, un témoin ne contenant que le milieu réactionnel est nécessaire. Pour s'assurer de l'activité de l'inoculum, on peut aussi ajouter un autre témoin dans lequel on introduira du glucose. Il est préconisé de mener le test avec 3 répétitions. Le choix de l'inoculum est important ; certains laboratoires entretiennent en permanence un réacteur dédié. Il nous semble préférable, dans la mesure du possible, de prélever un inoculum dans l'environnement immédiat du déchet à tester ((boue de caniveaux, de fosse de stockage, fond de tas,...)).

Si l'investissement en matériel n'est pas très important, le suivi des mesures est assez astreignant. La société Erigène a récemment mis sur le marché un kit complet à 15 voies pour la mesure du potentiel méthanogène dans des flacons de 500 ml (photo 1). Son prix départ complet est de 16 000 € HT.



Photo 1 – AMPTS, Automatic Methane Potential Test System.

Pour l'exploitation des résultats, la courbe de production cumulée de biogaz ou de méthane en fonction du temps est obtenue en défalquant la production du témoin. Des exemples de courbes sont donnés figure 1 pour différents substrats.

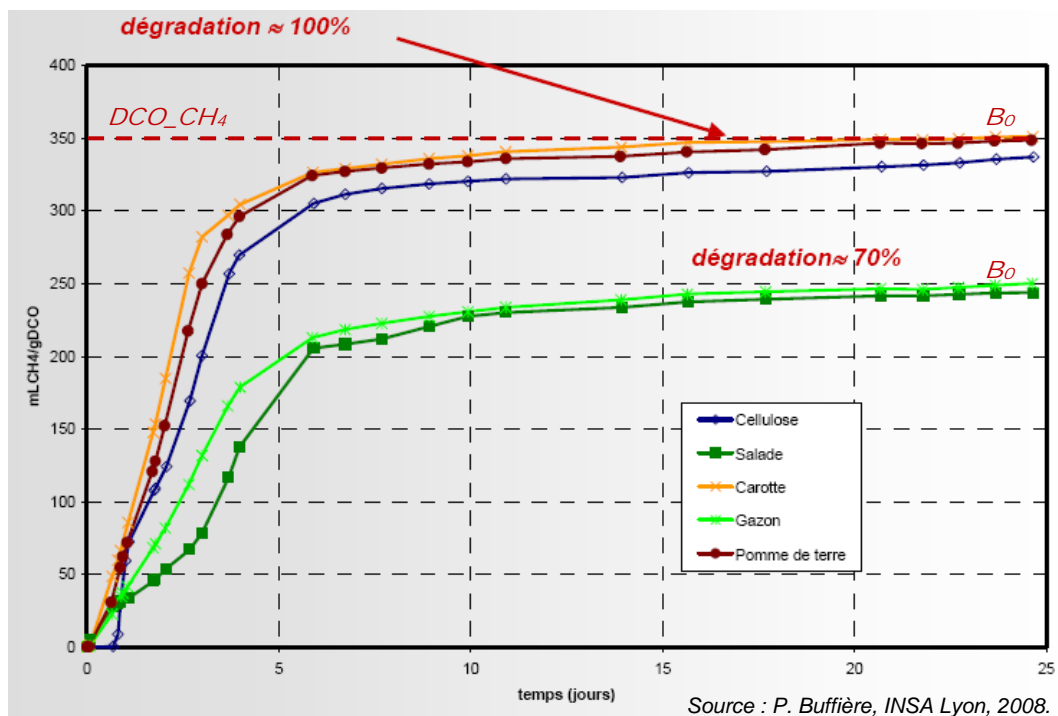


Figure 1 – Courbes de production cumulée de méthane pour différents substrats.

La courbe est ensuite ajustée à une équation de croissance du premier degré de type :

- exponentielle :  $P = P_0 * (1 - \exp(-k * t))$
- ou polynômiale :  $P = P_0 * t / (t + t_m)$

En linéarisant ces équations, on obtient la production cumulée ultime ( $P_0$ ) et la constante de temps ( $k$  ou  $t_m$ ). Le potentiel méthanogène est obtenu en divisant  $P_0$  par la quantité de DCO ou MO introduite au départ. Dans la mesure du possible, on fera une mesure de la DCO sur le digestat final de façon à pouvoir vérifier le bilan carbone.

### *Etude de la production de digestats variés et évaluation des effets de leur utilisation*

Non prévue actuellement dans PILMO 5 pour 2011-2013, une démarche similaire à celle entreprise pour la modélisation du compostage est envisageable pour la méthanisation et pourrait faire l'objet d'un nouveau projet à soumettre en partenariat avec des équipes de recherche intéressées. Le principe d'une unité pilote mobile serait particulièrement intéressant pour contourner les contraintes de transport et stockage des déchets. Un tel investissement demanderait cependant des moyens matériels et humains dont ne dispose pas le projet PILMO 5 aujourd'hui.

L'objectif de ce nouveau projet avec mise en œuvre d'unité pilote ne serait pas de se substituer aux bureaux d'études ou constructeurs pour tester des mélanges spécifiques et optimiser la production de biogaz. Il s'agirait au contraire d'adopter une démarche générique telle que celle qui a été mise en œuvre pour le compostage dans le projet PILMO 5, dans un objectif final de modélisation du procédé. Cette démarche peut être résumée en quatre points : test de situations diversifiées, analyses des facteurs clés, mise en évidence des liens entre ces facteurs et les sorties sous forme d'émissions gazeuses et de produits obtenus, modélisation du procédé.

A titre d'information, un devis datant de fin 2009 pour un pilote de 1,5 m<sup>3</sup> (photo 2) est donné en annexe. Les particularités les plus remarquables de cet équipement, distribué par la société Planet Biogaz France, sont les suivantes :

- montage possible sur châssis roulant,
- possibilité de digérer les déchets liquides et solides,
- mesure du débit et analyse de la composition du biogaz en ligne,
- température et fréquences d'alimentation et d'agitation réglables,
- torchère de combustion du biogaz intégrée,
- formation de l'utilisateur sur 3 jours à l'usine.



Photo 2 – Mini fermenteur PLANET.

Concernant l'évaluation agronomique, comme nous l'avons exposé précédemment, le digestat est un coproduit intermédiaire qui peut être valorisé en l'état dans un plan d'épandage ou qui peut devenir un produit s'il subit un compostage supplémentaire. Le climat, les sols et les cultures spécifiques sur l'île de la Réunion expliquent à juste titre une certaine méfiance par rapport à des concepts établis pour l'Europe continentale. La mise en place de tests et essais nécessite en premier lieu de disposer de digestat en quantité suffisante. Seule la distillerie de Rivière du Mât à Beaufonds sera à même de produire du digestat de vinasse à court terme.

A partir de substrats contrastés relativement aux facteurs influençant la méthanisation, une unité pilote permettrait de produire une grande diversité de digestats, tout en évaluant l'influence des produits entrants et de la conduite du procédé sur la production de biogaz. Ces différents digestats feraient ensuite l'objet d'une caractérisation et de tests agronomiques en vue de leur utilisation en agriculture.

#### *Modélisation technico-économique de la méthanisation*

A l'image de ce qui a déjà été réalisé par l'ARER, l'absence de références locales n'empêche pas la planification et l'élaboration de scénarios régionaux pour la valorisation agro-énergétique des déchets. A cet effet, il conviendrait d'adapter certains outils mis au point dans le cadre du programme PILMO au cours de ces dernières années (Magma, Approzut, Macsizut). D'autre part, nous avons évoqué précédemment les critères socio-économiques et environnementaux qui seraient à prendre en compte pour l'évaluation de la méthanisation. Les valeurs des paramètres indiquées précédemment concernent la Métropole ou l'Europe, il y aura lieu également de les adapter au contexte réunionnais.

En complément du projet PILMO 4 (2011-2013), le projet Cas-Dar Girovar (Gestion Intégrée des Résidus Organiques par la Valorisation Agronomique à la Réunion) qui démarrera en janvier 2011 pour une durée de 3 ans, serait à même d'accueillir les travaux de modélisation technico-économique de la méthanisation.

Ce projet vise à démontrer l'intérêt agronomique, socio-économique et environnemental de la gestion intégrée de l'ensemble des résidus organiques au sein d'un territoire, celui des communes de l'ouest (TCO). La méthanisation y est citée parmi les procédés de transformation qui nécessitent d'être renseignés. Une modélisation technico-économique sera réalisée en collaboration avec l'ARER, puis intégrée dans les scénarios de recyclage de façon à en estimer les conséquences sur les flux et les échanges de produits résiduels organiques.

## **5. Conclusions**

Selon le scénario STARTER à l'horizon 2030, le potentiel de production d'énergie électrique à partir de la méthanisation s'établirait à hauteur de 68 GWh/an en valorisant 853 milles tonnes de déchets dont 44% d'effluents d'élevage. Au-delà de ces estimations pour l'ensemble de l'île, il paraît maintenant nécessaire de décliner ce potentiel à l'échelle territoriale pour mettre en évidence les éventuelles lacunes techniques et barrières socio-économiques. Le projet GIROVAR, coordonné par le CIRAD sur 2011-2013, constitue une base solide pour mener des premiers travaux sur le TCO.



La diversité et la spécificité du gisement de déchets susceptibles d'être méthanisés à La Réunion, comme à Madagascar ou dans d'autres pays de l'océan indien, engendrent la nécessité d'une caractérisation de leur potentiel méthanogène. Il est également probable que la scénarisation de la gestion intégrée des déchets à l'échelle d'un territoire mette en évidence la nécessité de méthaniser des mélanges de déchets. Dans ce domaine, les références sont rares et seules des mesures et expérimentations en laboratoire et à l'échelle pilote permettront l'obtention de résultats fiables et transposables à l'échelle réelle. Pour démarrer cette activité en 2011, il est proposé de lancer des mesures de potentiel méthanogène dans le cadre d'une thèse en cours dans le projet PILMO 5. Une exploitation prudente des résultats pourra alimenter la modélisation technico-économique.

Le devenir et la valeur agronomique du digestat, résidu de la méthanisation, est une question d'importance dès lors que la méthanisation sera planifiée à grande échelle. C'est plus particulièrement sur cette question de la valorisation agronomique en aval que le CIRAD peut apporter des éléments scientifiques répondant aux problématiques locales.. Fin 2011, un suivi pourra débuter sur les digestats de vinasse issus de la Distillerie Rivière du Mât (DRM) à Beaufonds. A plus long terme (2014), on peut aussi évoquer le digestat de boues sur la STEP du grand PRADO. Cependant, devant la quasi absence ou la faible prévision de projets de méthanisation, traiter cette question de recherche va de pair avec l'acquisition d'une unité pilote de méthanisation permettant la production de digestats variés.

En résumé, on retiendra sur la période 2011-2013 les 3 niveaux d'implication bien différenciés du CIRAD en matière de méthanisation :

- 1- modélisation technico-économique de scénarios de gestion territoriale incluant la méthanisation, dans le cadre du projet GIROVAR (associé au projet PILMO 4).
- 2- caractérisation de produits organiques par des mesures couplées de SPIR et de potentiels méthanogènes (thèse dans le projet PILMO 5).
- 3- modélisation de la production et évaluation agronomique de digestats variés grâce à la mise en œuvre d'une unité pilote de méthanisation. .

Le 3ème niveau nécessitera le montage d'un projet spécifique, hors financements actuels, dont il conviendra de préciser les partenaires et les bailleurs de fonds potentiels.

S'agissant de projets de méthanisation ponctuels pour des déchets clairement identifiés, le CIRAD peut apporter son expertise aux opérateurs dans le choix des bons interlocuteurs industriels pour étudier et/ou réaliser leurs installations.

# **ANNEXE**

Proposal – Purchase of the Mini-digester PlanET

*Anaerobic digestion pilot plant*



Date :  
08/10/2009



Your PlanET contact :

**Biogaz PlanET France**  
Sandra BERTHELON  
12 bis rue Kléber  
35 300 Fougères  
Tel : 02 99 94 14 50  
Fax : 02 99 94 82 71  
s.berthelon@biogaz-planet.fr

## 1 : Solid input feeding system

---

To insert solid substrates into the digester.  
Almost all kinds of substrates can feed the mini-digester. Nevertheless, they have to be dry and small enough to be suitable for the feeding screw.  
Fibres do not have to be longer than 20 mm.

### 1.1 Feeding station for manual input

Small amounts of substrates are fed into the digester by manual input. The manual feeding station consists of a tube and a hopper. The tube reaches into the liquid phase inside the digester to avoid that biogas passed off into the atmosphere.

### 1.2 Automatic feeding system

- 1.2.1 Connection for an automatic feeding system, fixed on the outer edge of the mini-digester. Without the electrical and control system Included - 590 €

## 2 : Liquid dosing station

---

To insert liquid substrates directly into the mini-digester. Included - 3 630 €  
Centrifugal pump to insert the exact dose of liquid substrates which are stored in a stainless steel storage tank.  
Engine 1,3 kW  
Pumping speed 2-15 m<sup>3</sup>/h  
Laser dosing unit equipped with a pneumatic valve. It inserts into the mini-digester the exact amount of input.  
Required substrates : fibres smaller than 20 mm. Dry matter amount under 6%.

### 3 : Digester

---

#### 3.1 Digestion tank

- 3.1.1 Digester in polyethylen - capacity 1,5 m<sup>3</sup>  
Inner diameter : 1,60 m  
Height : 1,25 m  
Volume gross / volume net : 2 m<sup>3</sup> / 1,5 m<sup>3</sup>  
Wall thickness : 2 cm  
Outer wall covering in steel – green colour  
Pipe for roof sealing  
Pillar for the wooden ceiling (diameter 200 mm)
- 3.1.2 Heating system on the walls  
Heating pipes are settled on the inner PE walls.  
Technical elements for a thermophile running (Max. : 52°C).  
Input flow : 50 L per day
- 3.1.3 Digester covering and insulation  
Insulation with 10 cm of glass wool

#### 3.2 Mixing system

The Paddle mixing system is adapted to co-fermentation (substrates with fibres).  
Each of the 4 paddles has a specific position and direction in order to mix perfectly all the substrates into the digester.  
Connection : 1,1 kW / 400 V / 50 Hz / IP 55  
Speed : 17 turns / min  
Tree size : 0,7 m  
Diameter : 0,6 m  
Number of paddles : 4  
Frequency control system included.  
Regulated from the central control unit.

#### 3.3 Pipes

Gas pipe  
Input pipe  
Overflow system

### 3.4 Roof

- 3.4.1 **Wooden ceiling**  
The wooden ceiling is settled on a central pillar.  
Bacteria fixed on the wood.  
Thermal insulation with 5 cm of extruded polyethylene.
  - 3.4.2 **Biogas storage in EPDM**  
Diameter : 1,6 m  
Waterproofness system  
Biogas storage membrane  
Material : EPDM  
Thickness : 1,5 mm  
Storage gross capacity : 200L  
Colour : black  
Air injection
  - 3.4.3 **Optical gas level control**
- ### 3.5 Security unit
- Safety unit for over and under pressure
- ### 3.6 Control and inspection systems
- A central control unit will be settled close to the mini-digester in order to check all the parameters.
- 3.6.1 **Heating system**  
The heating system will be protected into the central control unit.
  - 3.6.2 **Temperature control**
  - 3.6.3 **pH control**
  - 3.6.4 **Sample tube**
  - 3.6.5 **Inspection glass**  
Double inspection glasses with a cleaning brush.  
Glass rinsing system.  
Explosion proof lamp : 50 W / 230 V / 50 Hz / IP65

#### 4 : Related equipment

---

##### 4.1 Compressed air production and distribution system

- 4.1.1 Sealing tube  
Pressure control for roof sealing  
Compressor  
Connection : 0,5 kW / 230 V / 50 Hz / IP54  
Max. pressure : 8 bars

#### 5 : Gas treatment

---

##### 5.1 Gas pipe from the digester to the gas burner

- 5.1.1 Gas pipe – DN 100 6 – 8 meters  
Electrovalve  
Security unit  
Flow meter

##### 5.2 Connection fro the mobile gas analyzer (not included)

- Valve on the gas pipe. Included - 165 €  
Connection for the analyzer pipe - Diameter 8 mm

#### 6 : Biogas management

---

##### 6.1 Gas burner

- 6.1.1 Mobile gas burner until 1,5 m<sup>3</sup>/h Included – 4 840 €  
Automatic ignition  
Methane content : min. 45%  
H<sub>2</sub>S content : 200 ppm

#### 7 : Heating system

---

##### 7.1 Connection for the heating system

- 7.1.1 Heating system and regulation  
Pump  
Temperature difference : 20°C  
Temperature display

##### 7.2 Heat pipe

- 7.2.1 Heat pipe – DN 10 10 meters  
7.2.2 Connection – DN 10

## 8 : Control unit and wiring

### 8.1 Basic

Connection, control and wiring of the electric elements as follows:

Electric control system SPS.

Target values can be controlled and changed through a touch panel.

Electric meter : to determine the electric consumption of the mini-digester.

Are controlled :

Feeding systems :

Solid input feeding system

Liquid input feeding system

Digester :

Paddle mixing system

Air compression

Electrovalve

Biogas flow meter

Explosion proof lamp

Temperature control

pH control

Biogas management

Related elements

### Proposal

Total (tax free) – From 1 to 8 (without options)	€	49 138,50
Value added tax 19,6 %	€	9 631,15
<b>Total (with taxes)</b>	<b>€</b>	<b>58 769,65</b>

Size : 1.6m x 1.6m x 1.8m (width x length x height)  
Without the solid input feeding system

Key :

*OPT : Optional*



**Terms for payment :**

- 30 % at the beginning of the production,
- 70 % when the mini-digester is ready to be sent.

Invoices are to be paid 14 days after the date of invoice.

Transport, delivery, assembly and commissioning of the mini-digester are not included. They will be performed by the client.

A training session for using and maintenance of the mini-digester will be given to the client in Vreden (Germany) at PlanET Biogastechnik GmbH. This training session is not included in this proposal ; an extra invoice will be sent separately.

This proposal is valid during 5 weeks after the date of its achievement.

**Delay of delivery :** the production of the mini-digester will start in March 2010. The mini-digester will be ready to send (by the client) in April - May 2010.

**Guarantee :**

- Solid input feeding system : 12 months from commissioning,
- For all other equipments : 12 months from commissioning (except for wear parts).

**Terms of delivery :** departure from workshop. The risk passes to the client as soon as the mini-digester has left the PlanET workshop.

PlanET would be designed as liable only for the following :

- Premeditation,
- Major technical negligence,
- Damage or defect by PlanET.

Further claims are excluded. In particular, PlanET is not liable for consequential damages, such as production stop, lost profits, damage caused by an improper operating of the mini-digester, etc.

PlanET remains the owner of the mini-digester until the client as paid the total amount of invoices, in accordance with the terms of payment of this contract.

If there is any complaint, it will be managed from Biogaz PlanET France (Fougères). The court of justice responsible for any problems management about the purchase contract is Fougères. Country : France.

The client will have to supply :

- Stable area
- Water protected area and ready to use under any weather conditions
- Water supply
- Electricity supply 32 A - 400 V
- Required insurance
- Water proof area to store all the equipments
- Waste and packages management
- Storage tank for solid and liquid inputs and storage tank for the output
- Required quantities of inputs to feed the mini-digester (for commissioning, the mini-digester will need around 1 and 1,5 m<sup>3</sup> of inputs).
- Shipping and transport management of the mini-digester from Germany (production workshop) to the client's site.

We thank you for your request and hope that you will be satisfied by our offer.

Date : ...../...../..... :

The client

For Biogaz PlanET France, Mrs BERTHELON

