

**Intervention de René Molleta sur la méthanisation à la ferme  
25/08/2011 – EPL de Chambéry La Motte Servolex**

**Congrès des trois associations d'enseignants/formateurs en physique-chimie, biologie-écologie,  
histoire-géographie de l'enseignement agricole public**

*Notes prises pour le Réseau performance énergétique des exploitations, Claire Durox*

**La méthanisation agricole dans le contexte des énergies renouvelables, de la diversification des revenus à la ferme, de la réduction des gaz à effet de serre et des enjeux sur le traitement des déchets peut être intéressante à traiter en pluridisciplinarité : on peut voir les jeux d'acteurs territoriaux, les mécanismes physiques de conversion d'énergie et de rendement, les mécanismes biochimiques liés aux fermentations et aux types de biomasse plus ou moins digestibles, les aspects de rentabilité économique ou d'agroéquipement nécessaires...**

**Proposition de résumé :** René Moletta, ancien directeur de recherche à l'INRA et qui a consacré 30 ans à l'étude de la méthanisation est intervenu lors du congrès de 3 associations disciplinaires (histoire-géographie, physique-chimie et biologie-écologie) de l'enseignement agricole le 25 août 2011 à Chambéry.

Il a caractérisé le processus de méthanisation et les conditions bio-physico-chimiques pour le mettre en œuvre (anaérobie ; 3 grandes étapes avec des familles de micro-organismes différentes, sensibles aux conditions de pH, température, à certaines inhibitions ou carences etc. ; avec une quantité de biogaz produite qui dépend de la quantité et du type de matière organique entrante...). C'est de l'énergie renouvelable produite à partir de biomasse ! 1 m<sup>3</sup> de méthane équivaut environ à l'énergie d'1 L de fioul.

Le biogaz peut être brûlé en chaudière, faire de la cogénération (électricité + chaleur) ou être réinjecté dans le réseau après purification (ex : retirer le soufre, le CO<sub>2</sub>...). Un des intérêts est finalement la possibilité de faire passer les matières organiques d'un statut de déchet au statut de produit (en tant que matière entrante dans le digesteur, par ex : lisier, graisses des restaurants...). On entre dans une « guerre des déchets » puisque certains 1ers agriculteurs méthaniseurs touchaient une prestation de traitement de déchet des industriels qui leur livraient les substrats, et avec la concurrence de nouveaux méthaniseurs dans le territoire, le marché se renverse parfois : des agriculteurs doivent payer les industriels pour obtenir les substrats hautement méthanogènes, ce qui modifie la rentabilité de leur projet !

La méthanisation sert au traitement des effluents (par ex depuis longtemps en France pour les eaux usées industrielles), au traitement des boues de station d'épuration (réduction de volume de 30 à 40%), aux carburants « verts » (ex : Bus au méthane à Lille) et à la ferme (déchets agricoles, déchets d'industries agroalimentaires, déchets verts type tonte de pelouses voire cultures énergétiques). Pour les méthaniseurs agricoles, plusieurs technologies existent, à adapter en fonction du gisement de biomasse à traiter, des contraintes de manutention / suivi... Plus le lisier / fumier est frais, et plus il est méthanogène, il ne faut donc pas le stocker longtemps... La filière de la méthanisation agricole a été relancée en 2006 et est soutenue dans le Plan de Performance Énergétique du MAAPRAT.

La question des cultures énergétiques a été abordée : René Moletta pense qu'elles vont se développer, probablement sous forme de cultures intermédiaires entre 2 cultures principales dans un 1<sup>er</sup> temps. Les tensions sur le marché des déchets amèneront les agriculteurs à vouloir sécuriser leur gisement avec de la biomasse provenant de leur propre exploitation, mais quid des modes de production et du bilan énergétique global ? D'autres questions ont été soulevées sur la qualité de la matière organique qui revient au sol sous forme de digestat à épandre un peu comme du fumier, mais avec certaines précautions ; et les projets en agriculture ont des temps de retour sur investissement longs (entre 8 et 15 ans souvent), liés aux prix d'achat de gaz ou électricité et autres aides pour lancer la filière qui sont assez politiques.

## Intervention de René Molleta sur la méthanisation à la ferme 25/08/2011 – EPL de Chambéry La Motte Servolex

Congrès des trois associations d'enseignants/formateurs en physique-chimie, biologie-écologie, histoire-géographie de l'enseignement agricole public

René Moletta : ancien directeur de recherche à l'INRA, retraité en 2010 et consultant à son compte depuis. Travail sur la méthanisation depuis 30 ans. Voir son site où beaucoup de diaporamas et informations générales sont en ligne : <http://rene.moletta.perso.sfr.fr/>  
[rene.moletta@yahoo.fr](mailto:rene.moletta@yahoo.fr)

Plan :

1. définition et intérêts de la méthanisation
2. les applications de la méthanisation
3. cas particulier de l'application de la méthanisation à la ferme

**Précaution : ce document n'est qu'un partage de prise de notes => vérifier sur son site certains chiffres notés rapidement...**

### 1. DEFINITION ET INTERETS DE LA METHANISATION

Distinction du traitement de la matière organique par voie aérobie (génère beaucoup de boues comme dans les stations d'épuration) et le procédé de méthanisation qui est **anaérobie** et génère du méthane CH<sub>4</sub> et du dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> (moins de multiplication de bactéries => génère moins de boues).

Micro-organismes qui interviennent pour dégrader la matière organique : des **archées** (plus de 3 milliards d'années, différentes des bactéries car elles n'ont pas une double membrane lipidique, et ont quelques différences de fonctionnement ; des formes variées certaines longs, d'autres en bâtonnets ou en cocci...).

Trois grandes étapes dans les réactions de méthanisation :

- **hydrolyse et fermentation** (=> acides gras volatiles)
- **acétogénèse** (=> acides, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) (phase plus lente, donc si le flux entrants est mal géré il y a un risque d'accumulation d'acides gras volatiles, d'acidification puis de blocage)
- **méthanogénèse**

Une réaction naturelle fréquente dans les écosystèmes naturels, par ex :

- gaz des marais
- rumen des vaches (rotent 300 à 500 L/j de CH<sub>4</sub> selon régime alimentaire, génétique...)
- Intestin des termites (les plus performantes pour produire du méthane, l'homme n'arrive pas encore à reproduire ce phénomène naturel)
- Décharges

...

Méthane :

- **Inodore et combustible**, présent dans l'atmosphère primitive
- un important effet de serre (~25 fois celui du CO<sub>2</sub>)
- c'est de **l'énergie renouvelable produite à partir de biomasse !! 1 m<sup>3</sup> de méthane**  
**⇔ 1 L de fioul** ⇔ 1,7 L d'alcool à brûler ⇔ 9,7 kWh d'électricité

### Quelques conditions de mise en œuvre :

- enceinte fermée en **anaérobiose**
- 30-40°C (**optimum vers 35 à 37°C**) pour les **procédés mésophiles** les plus fréquents ; ou 45-60°C (optimum vers 55°C) pour les procédés thermophiles
- **pH entre 6,5 et 8,5**
- importance du mélange par agitation
- possibilité d'être brûlé en chaudière ou de faire de la cogénération (électricité + chaleur) ou réinjecté dans le réseau, sachant **qu'on garde environ toujours de 10 à 15 % de la chaleur pour chauffer le digesteur**
- composition du biogaz : environ 40 % de CO<sub>2</sub> et 60 % de CH<sub>4</sub> => nécessité d'épurer

**La quantité de biogaz produite** dépend de la **quantité** de déchets, du **type de matière organique** qui entre... (ex : huiles des IAA très méthanogènes). Vigilance à avoir comme pour tout système vivant : des **risques de carence ou d'inhibition** => optimum à trouver ! (ex où il en faut un peu mais pas trop : ammoniac, sulfure)

**La vitesse** de méthanisation **dépend** de la **fermentescibilité des matières, des conditions de mélange, de la température, du pH, de la quantité de micro-organismes...**

**L'azote qui entre dans le digesteur en ressort.** C'est aussi l'intérêt du digestat (sa valeur en azote, phosphore...) qui ressort et est à épandre sur les terres agricoles pour se substituer en partie aux engrais azotés. **Si on veut réduire la quantité d'azote il faut des procédés additionnels.** Trois mécanismes possibles :

- au stade industriel : production de cristal « struvite » à partir d' ammoniac phosphate et magnésium => engrais à épandre
- stripping ?? du N : envoi d'air et les bulles capteraient le NH<sub>3</sub> récupéré en sortie ???
- Dénitrification (marcherait bien)

## 2. LES APPLICATIONS DE LA METHANISATION

- **traitement des effluents** (plutôt liquides, <5% Matière Sèche MS)
  - **eaux usées industrielles** (se méthanise bien et est fait depuis longtemps en France, ~200 digesteurs industriels en France soit autant qu'en Allemagne)
  - **effluents urbains** (marche bien à 35 37°C, donc vu les quantités à traiter en France, on le fait peu, il faudrait chauffer... Mais s'utilise beaucoup dans les pays chauds : Mexique Brésil...)
- **Digesteur à la ferme**
  - déchets agricoles : lisier de porc, fumier, cultures énergétiques ou cultures intermédiaires à valorisation énergétique (CIVE, en dérobé entre 2 cultures principales)
  - déchets industriels (ex : IAA qui paye les agriculteurs pour traiter leurs déchets, huiles...)
  - Déchets verts
- **Boues** (méthanisation se fait déjà depuis 50 60 ans, permettrait de réduire leur volume de 30 à 40 % !)

### Différents choix technologiques possibles (surtout conditionnés aux substrats à traiter) :

- selon la température
- le **taux de matière sèche à traiter** (< 5% on parle de traitement des effluents ; de 5-15% on parle de traitement de déchets solides par voie humide ; de 15-40% on parle de traitement de déchets solides par voie sèche)
- 4-5 technologies principales utilisées en agriculture
- choix d'un procédé en une ou deux étapes
- choix d'un pré-traitement (ex : 1h à 70°C pour de la viande ; ou traitement de la cellulose pour la rendre plus digestible...) ou / et d'un poste de traitement (ex : compostage)

**Les réacteurs en une ou deux étapes** : soit toutes les réactions sont dans le même réacteur ; soit il y a l'hydrolyse et l'acidogénèse dans le premier réacteur et dans le deuxième réacteur l'acétogénèse et la méthanogénèse.

L'agriculture évacuait naturellement ces déchets de déjections animales par épandage dans les champs => la méthanisation s'est développée moins vite que dans le secteur industriel où les entreprises devaient payer pour le traitement de leurs déchets et ne savait pas quoi en faire.

### 4 types de filières :

- traitement des effluents
- traitement des boues (problème des métaux lourds, des résidus médicamenteux que l'on ne veut pas épandre dans les champs, et d'image (souvent l'épandage de boues est exclu dans les cahiers des charges AOC).
- Traitement des ordures ménagères
- traitement des déchets agricoles

À Lille des bus en flotte captive vont utiliser le biogaz à partir des ordures ménagères.

À Amiens, la société Valorga a construit le 1er digesteur au monde pour déchets ménagers par digestion anaérobie en continu et à haute teneur en matière sèche en 1988 (et non 78) .

### 3. APPLICATION DE LA METHANISATION A LA FERME

en 2008 il y avait environ 4000 méthaniseurs à la ferme en Allemagne (force politique de soutien) et seulement quelques-uns en France (lobbys nucléaires, peu de soutien...).

Méthanisation agricole : filière lancée en France à partir de la **hausse des tarifs d'achat d'électricité** issue de cogénération **en 2006**. En 2011 une quarantaines d'unités fonctionneraient.

### Divers substrats méthanisables (étude de gisement à faire autour de la ferme) :

- Déchets agricoles : lisier, fumier, déchets de céréales, surproduction...
- Déchets industriels : **IAA (déchets souvent intéressants car à fort pouvoir méthanogène, et en plus les entreprises payent souvent à l'agriculteur des prestations de traitement de déchets qui représentent parfois 30 % de la rentabilité du méthaniseur !!)**, lactosérum, déchets de restauration, invendus des grandes surfaces (pain, pastèques...)
- Cultures énergétiques (CIVE) : aujourd'hui défavorisé dans la politique française, mais quand il y aura plus de méthaniseurs avec des tensions sur le marché des déchets, les agriculteurs produiront certainement des cultures énergétiques... « **On va rentrer dans une guerre des déchets** ». (ex de renversement de marché : un agriculteur méthaniseur se faisait livrer gratuitement des issues de céréales (ex : son de blé) dont la coopérative ne savait quoi faire ; puis un deuxième méthaniseur installé à proximité a proposé à la coopérative de racheter 10 ou 20 € / t => le premier a perdu un de ses fournisseurs qui livrait gratuitement !

- Déchets urbains (tontes...)

**Les méthaniseurs sont des sortes d'unités centralisées de gestion des déchets !** Cela vient **en concurrence des incinérateurs**. Même si certains agriculteurs sont dans une logique de fonctionnement en autonomie sans approvisionnement extérieur... Viabilité économique plus dure à atteindre selon le type de ferme...

En Allemagne les cultures énergétiques représenteraient presque la moitié des substrats apportés dans le digesteur ! (~ 46%) => ça pose la **question du bilan énergétique global** de la méthanisation quand on doit labourer éventuellement, semer, traiter peut-être avec des phytosanitaires, mettre de l'engrais, récolter ces cultures énergétiques... Pose aussi la **question de la concurrence alimentaire**.

Evaluer le potentiel méthane : important pour estimer précisément la quantité de biogaz qui sera produite (et donc la production d'énergie et la rentabilité du projet).

Aujourd'hui beaucoup de références existent, mais par ex grande variabilité pour 1 t de fumier ou de lisier : ça peut presque varier du simple au double en CH<sub>4</sub> produit (globalement **on cherche des déjections fraîches car le pouvoir méthanogène diminue avec la durée de stockage**).

Voir le **schéma de fonctionnement d'un méthaniseur** et les étapes suivies par la matière organique (noter le stockage séparé des substrats solides et liquides ; l'éventuel séparateur de phase à la sortie du digesteur pour séparer le liquide qu'on épandra à proximité dans les champs, du solide que l'on peut épandre plus loin).

### Diverses technologies en agriculture

#### En continu

- **Réacteur mélangé, en voie humide** (comme à l'EPL de Chambéry La Motte Servolex) : le temps de séjour des matières varie de 50 à 70 jours, il faut s'ajuster au temps long des matières les moins fermentescibles.
- **Réacteur à piston** (pour les cas où les substrats à traiter ont ~ 30% de MS)
- **Digesteur horizontal** (à vis d'Archimède)

En discontinu (ou « batch ») : sorte de cellule ou garage indépendants, chaque cellule recevant la matière organique pour 60 à 80 jours, arrosée à partir du lixiviat qui se forme à l'intérieur, avec une production de biogaz en forme de cloche... et chaque cellule est décalée de deux ou trois semaines dans son fonctionnement pour niveler la production de biogaz globale de l'exploitation. + : Pas de système mécanique...

**Valorisation du biogaz pour produire : vapeur / eau chaude ; carburant vert ; électricité + eau chaude ; injecter dans réseau GRDF** (nécessité de purifier le biogaz en éliminant le CO<sub>2</sub>, et H<sub>2</sub>S, plusieurs techniques existent ; problème du devenir du soufre qui va en décharge sauf quand parfois il y a une filière de retraitement).

### **Discussion**

- En Chine et Inde : beaucoup de méthanisation à domicile (2 millions en Chine...)
- **Aspect culturel des projets** à prendre en compte : par exemple en Afrique il a vu un cas de refus d'utiliser du gaz issu de la méthanisation d'excréments pour cuisiner, jugé « **impur** ».
- Accidents extrêmement rares car le méthane n'est quasiment pas stocké

- possibilité d'ajouter de la soude en cas de début d'acidification, et de modifier l'apport de substrats... La réaction peut parfois se bloquer et on doit tout arrêter... Les baisses de T°C sont en général moins gênantes si elles ne s'accompagnent pas d'acidification, le système repart plus vite.
- Une **certaine forme de concurrence sur la matière organique pour le retour au sol** : si on méthanise du fumier au lieu de l'épandre directement, la fraction très biodégradable ne sera effectivement plus présente dans le digestat en sortie ; par contre en ce qui est moins biodégradable retournera au sol quand même.
- **Temps de Retour sur Investissement TRI : de 8 à 15 ans**, dépend des projets, des politiques de soutien... durée de vie d'un moteur : environ 8 ans
- Moteur : soit un moteur à explosion classique (~ 35% de rendement) ; soit une turbine à gaz (+ souple, mais rendement moindre) ; soit moteur stirling (60 à 70% de rendement, utilise le chaud et le froid pour déplacer le piston).
- Problème de la rentabilité de ces projets qui est liée au soutien public, au coût de rachat d'électricité qui est politique...