

Qu'est-ce que la biométhanisation ?

La biométhanisation consiste en une série d'opérations de dégradations biologiques de matières organiques qui se produisent en l'absence d'oxygène. Les produits résultants de la dégradation peuvent être classés en deux catégories, le biogaz* et le digestat*. Le biogaz est un mélange de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2) et de vapeur d'eau (H_2O). Le méthane est le principal constituant du gaz naturel. Le digestat est le résidu liquide contenant les matières non dégradées.

"Une série d'opérations de dégradations biologiques"

Quatre séries d'opérations ont lieu successivement : l'hydrolyse, la fermentation, l'acétogénèse, la méthanogénèse.

L'hydrolyse

Cette première série d'opérations va transformer les matières organiques complexes (polysaccharides, protéines, lipides,...) en molécules plus simples, comme des sucres, des alcools et des acides aminés.

La fermentation

Les molécules obtenues sont transformées en hydrogène (H_2) et en acides gras volatils.

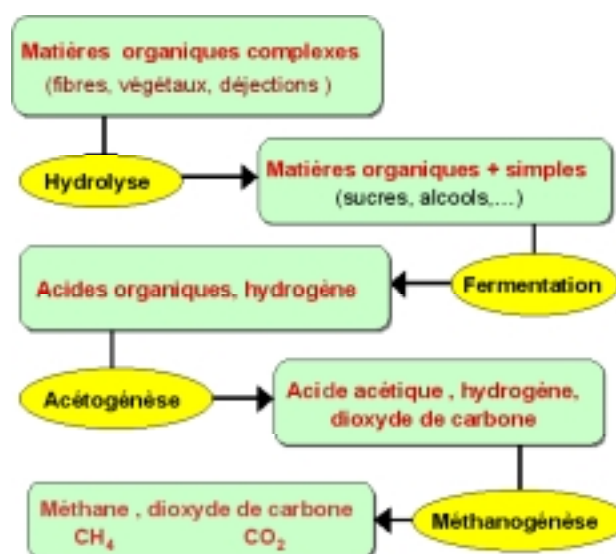
L'acétogénèse

Les acides gras volatils sont transformés en acide acétique (vinaigre), hydrogène (H_2) et dioxyde de carbone (CO_2).

La méthanogénèse

La toute dernière étape permet de transformer l'acide acétique en méthane et dioxyde de carbone. L'hydrogène formé précédemment est consommé lors cette étape.

Ces opérations sont résumées dans le tableau suivant :



Biométhanisation

Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée,
Laboratoire de Génie Chimique
Léonard Angélique

Etapes successives de la biométhanisation

"Une série d'opérations de dégradations biologiques"

Les transformations de la matière qui ont lieu au cours de la biométhanisation sont des phénomènes naturels anaérobies* qui nécessitent l'intervention de microorganismes*.

Deux groupes principaux de bactéries interviennent :

- Les **acidogènes** sont responsables de la transformation de molécules de matière organique en acides gras volatils, principalement l'acide acétique. De plus les enzymes qu'elles produisent catalysent la réaction d'hydrolyse.
- Les **méthanogènes** sont responsables de la gazéification, c'est-à-dire la production de biogaz.

Quelles matières organiques peut-on méthaniser ?

Cette technique peut s'appliquer à différentes matières, notamment les déchets fermentescibles à forte teneur en eau, parfois liquides, qu'il ne serait pas rentable d'incinérer.

<i>Matières organiques utilisées pour la biométhanisation</i>
Fraction organique des déchets ménagers (déchets verts)
Gadoues de fosses septiques
Déchets organiques d'élevage : lisier de porc, fumier
Boues de station d'épuration
Résidus de distillation de vin

Biométhanisation et énergie

Le mélange des produits gazeux issus de la biométhanisation est appelé 'biogaz'.
Sa composition moyenne est la suivante :

<i>Composition moyenne du biogaz</i>
CH ₄ : 50 – 80 %
CO ₂ : 15 – 45 %
H ₂ O : 5 %
H ₂ S : 0 – 2 %

Ce biogaz peut être valorisé en produisant de l'énergie thermique et/ou électrique. Tout comme un combustible fossile*, il peut être caractérisé par son pouvoir calorifique inférieur*.

Biométhanisation

Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée,
Laboratoire de Génie Chimique

Léonard Angélique

A titre de comparaison, le pouvoir calorifique de 1 Nm³* de biogaz comprenant 60% de méthane vaut environ 22 MJ et est semblable à celui de:

1 Nm ³ de biogaz équivaut énergétiquement à
0.56 l de mazout
0.65 l de fuel
0.21 m ³ de propane
0.7 kg de charbon

Avant d'être brûlé le gaz doit être épuré car il peut contenir des substances indésirables comme du sulfure d'hydrogène (H₂S). Des organo-chlorés* ou fluorés* peuvent également apparaître lors de la dégradation de matières plastiques.

L'utilisation du méthane issu du biogaz comme carburant répond à un certain nombre de préoccupations économiques, écologiques et énergétiques. Par conséquent, le biogaz "à la cote" car il peut être considéré comme une énergie verte, renouvelable par opposition aux combustibles fossiles, dont on sait que les réserves sont limitées.

Toutefois, le méthane et le CO₂ sont des gaz dit 'à effet de serre*' et il convient de les confiner afin d'empêcher leur dispersion dans l'atmosphère. On peut tout de même noter que la méthanisation produit en moyenne 3 fois moins de CO₂ qu'une fermentation aérobie* classique qui a lieu par exemple après l'épandage des lisiers. La combustion du méthane produit dégage de la vapeur d'eau et une faible quantité de CO₂. Dans l'exemple d'une installation industrielle parfaitement contrôlée, la biométhanisation contribue à la protection de la couche d'ozone et est une source d'énergie renouvelable importante.

En pratique comment le biogaz est-il utilisé ?

La valorisation énergétique du biogaz peut prendre plusieurs formes :

- * La production de **chaleur** : le biogaz est brûlé dans une chaudière classique.
- * La production **séparée de chaleur et d'électricité** : le biogaz est brûlé pour une part dans une chaudière et pour une autre part dans un moteur thermique relié à un alternateur qui produit de l'électricité.
- * La production **combinée de chaleur et d'électricité** (= la cogénération) : le biogaz alimente un moteur thermique relié à un alternateur qui produit l'électricité et de la chaleur est récupérée dans les gaz d'échappement et au niveau du moteur.

Schéma de principe d'un module de cogénération

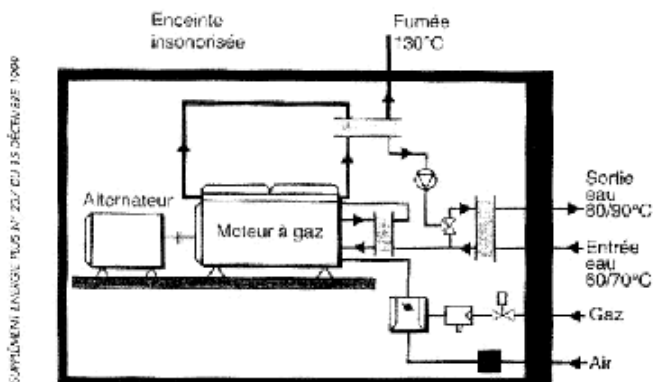


Schéma de principe de la cogénération



Unité de cogénération : moteur à gaz + alternateur

*** Carburant pour automobile** : Une unité traitant 20 000 t/an de déchets peut produire une quantité de carburant qui permet à 2 000 voitures de parcourir 10 000 km/an. Un kilogramme de déchets correspond donc à la consommation de carburant pour un parcours d'un kilomètre en voiture (source : VINCI ENVIRONNEMENT).



Voiture au biogaz et pompe de ravitaillement

Source : <http://www.cf.ac.uk/archi/research/cost8/case/sweden.html>



Bus fonctionnant au biogaz (Suède)

Source :

<http://www.zeus-europe.org/stock.html>

Comment mettre en œuvre la méthanisation ?

On distingue la méthanisation naturelle de la méthanisation volontaire. La méthanisation naturelle se produit par exemple au sein des décharges de déchets urbains alors que la méthanisation volontaire est mise en œuvre dans des installations appelées 'digesteurs' (Figure 1).

dans le cadre du Printemps des Sciences 2002

<http://www.ulg.ac.be/sciences>

Université de Liège – Haute Ecole Charlemagne – Hemes

Les métiers de l'énergie – Ingénieurs de l'énergie

Biométhanisation

Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée,
Laboratoire de Génie Chimique

Léonard Angélique

Un digesteur est semblable à une grande cuve fermée, dont la géométrie peut varier selon les matières traitées. Son volume dépend à la fois de la quantité de matières à traiter et du temps nécessaire pour que les étapes de dégradation aboutissent au méthane.

Le digesteur doit être muni des dispositifs suivants :

* Un système de **chauffage** car les bactéries impliquées travaillent de manière plus efficace entre 30 et 60 °C.

* Un système **d'agitation** pour

- maintenir les matières solides en suspension
- éviter la formation de mousse et de croûte
- assurer le transfert de chaleur
- faciliter le dégagement des bulles de biogaz

* Des systèmes **d'alimentation** en matières organiques, de **récupération** du biogaz et des digestats (Figure 2). Les digestats doivent subir un traitement adéquat que nous ne développerons pas.

Dans le cas de la méthanisation naturelle, des dispositifs de récupération du biogaz doivent être implantés afin de pouvoir le valoriser par la suite et empêcher sa dispersion dans l'atmosphère (cf. gaz à effet de serre)



Figure 1 : Digesteur

Source : <http://perso.infonie.fr/pierre-lemaire/page6.htm>



Figure 2: Système de vidange

Quelle quantité de biogaz peut-on produire ?

La quantité de biogaz dépend à la fois de la nature et de la concentration des matières organiques ainsi que de la température au sein du digesteur. Il est possible d'atteindre une production allant de 0.5 à 3 Nm³ de biogaz par jour et par unité de volume de digesteur.

Exemple

<i>Exemple de production de biogaz à la ferme</i>
2200 tonnes lisier seul/an
Volume digesteur = 90 – 120 m ³
Production biogaz = 45 – 120 Nm ³ /jour
PCI biogaz = 22 MJ/Nm ³
Production d'énergie brute :
990 – 2640 MJ/jour
30 – 78 l fuel/jour
5 – 23 l fuel/tonne lisier

Le potentiel en région wallonne

Deux grandes catégories de matières organiques sont considérées : les rejets agricoles et les déchets ménagers. Le tableau ci-dessous reprend la quantité de biogaz qui peut être produite (exprimé en Nm³/an), ainsi que le potentiel énergétique de ces déchets (exprimée en GJ/an d'une part et en tonne équivalent pétrole/an d'autre part).

<i>Déchets</i>	<i>Production De biogaz Nm³/an</i>	<i>Potentiel Energétique GJ/an</i>	<i>Potentiel Energétique TEP*/an</i>
<i>Déchets ménagers (fraction organique)</i>	68 millions	1.5 millions	35 710
<i>Déchets verts</i>	18.6 millions	409 000	9 738

Source : "Plan Wallon des déchets, Ed 1998" – 1 Tonne de déchets = 150 Nm³ biogaz

Il réside donc un réel potentiel dans la biométhanisation mais beaucoup de chemin reste à faire. Cette voie va être de plus en plus explorée dans le futur. En région wallonne, le "plan wallon des déchets 2010" prévoit que près de 0,9% de la consommation électrique pourrait être produite en utilisant le biogaz de décharge ou celui produit par biométhanisation "forcée".

Trois exemples concrets

La biométhanisation des résidus de distillation du vin de la région de Cognac produit du biogaz qui est utilisé pour la production d'énergie électrique. L'électricité produite est injectée à plus de 50 % sur le réseau national et thermique pour la production de vapeur. Une récupération énergétique très poussée sur les gaz d'échappement, l'huile et l'eau de refroidissement des moteurs permet le chauffage des serres de la ville de Cognac.

L'entreprise CGEA-Onyx a ouvert une centrale de valorisation du biogaz (Plessis Gassot, France). Cette centrale consiste à produire de l'électricité à partir de biogaz de décharge et livre sur le réseau EDF 85 millions de kWh par an, soit les besoins en électricité de plus de 30 000 personnes.

La ville de Lille (France), exploite 8 bus "au biogaz". Le carburant résulte de l'épuration d'une partie du biogaz produit dans la station d'épuration de Marquette. Par jour, 1200 Nm³ de carburant sont obtenus à partir de 3000 Nm³ de biogaz. Cette utilisation du biogaz permet d'épargner 148 000 litres de diesel par an.



Bus au biogaz

Source : <http://www.sortirdunucleaire.org/rezo2001/p34.htm>

Le rôle de l'ingénieur

L'ingénieur intervient tout au long du projet lors de la mise en œuvre d'un procédé de biométhanisation. Voici en résumé les étapes auxquelles il participe :

- * Evaluation de la quantité de matière organique à traiter, de son aptitude à être méthanisée, et de ses caractéristiques de méthanisation (temps de séjour nécessaire, conditions de fonctionnement optimales, production de biogaz, caractéristiques du digestat).
- * Evaluation de la rentabilité du procédé et recherches de débouchés pour le biogaz produit.
- * Choix d'un traitement des digestats
- * Dimensionnement du digesteur et des équipements annexes
- * Rédaction d'un cahier des charges qui servira à obtenir des offres de prix auprès de constructeurs.
- * Choix final de l'installation, suivi de la construction
- * Mise en route du biométhaniseur et suivi régulier du procédé

On peut voir que les tâches sont diverses et variées pour un seul et même procédé.

Lexique*

Aérobic : en présence d'oxygène

Anaérobic : en l'absence d'oxygène

Biogaz : Mélange gazeux produit par le biométhanisation de déchets organiques, dont les principaux constituants sont le méthane et le dioxyde de carbone.

Combustible fossile : Matière organique qui a subi des transformations d'état ou de forme chimique lors d'un stockage prolongé dans l'écorce terrestre, et qui est utilisé comme source d'énergie. Exemple : charbon, pétrole.

Digestat : Résidu liquide issu de la biométhanisation et comprenant les composés non dégradés.

Effet de serre : Réchauffement supplémentaire de l'atmosphère suite à l'augmentation de la présence dans celle-ci de gaz absorbant le rayonnement infra-rouge émis par la terre. Cette augmentation est notamment liée au développement des activités industrielles. Exemple de gaz à effet de serre : le méthane, le dioxyde de carbone, CFC (anciens gaz propulseurs, liquides de refroidissement).

Matière organique : Matière contenant des composés carbonés, contrairement à la matière minérale.

Microorganisme : Organisme (être vivant animal ou végétal) de très petite taille, comme les bactéries.

Nm³ = *normal* m³, correspond à un volume occupé par le gaz dans les conditions dites '*normales*', c'est-à-dire à 273.15 °K et 101 325 Pa. Selon la loi des gaz parfaits, une mole de gaz occupe 22.4 10⁻³ m³ dans les *conditions normales*. Connaissant la masse molaire du gaz, on peut en déduire le volume occupé par une masse déterminée de gaz dans les conditions normales.

Organo-chloré et fluoré : Composé organique contenant du chlore ou du fluor. Exemple : les dioxines, les PCB.

Pouvoir calorifique inférieur (PCI) : Chaleur dégagée (MJ/Nm³) par la combustion de 1 Nm³ de biogaz lorsque l'eau produite reste à l'état vapeur.

Tep (Tonne d'équivalent-pétrole) : Unité exprimant la valeur calorifique d'une forme d'énergie quelconque en prenant comme référence l'énergie dégagée lors de la combustion d'une tonne de pétrole brut., 1 tep = 42 GJ