

SYSTEME DE BIOMÉTHANISATION

VAL BIO

GÉNÉRALITÉS SUR LE TRAITEMENT BIOLOGIQUE DES DÉCHETS ORGANIQUES

Les bactéries peuvent digérer les matières organiques présentes dans l'eau et dans d'autres déchets organiques liquides ou solides. Les résidus organiques constituent pour les bactéries une source de carbone et d'énergie. Ainsi elles assimilent la matière organique pour y puiser l'énergie nécessaire à leur développement et leur croissance.

Le traitement biologique des déchets organiques et des eaux usées consiste à mettre en contact la pollution avec une population de micro-organismes pendant un temps suffisamment long qui permettra aux bactéries de consommer la matière organique essentiellement sous forme dissoute.

Des conditions particulières de développement des micro-organismes doivent être mises en place afin de retenir les bactéries avant le rejet ou la valorisation du biodigestat restant. Les bactéries peuvent être retenues à l'intérieur du réacteur par fixation sur des supports de diverses natures. L'épuration biologique des déchets organiques va donc être un véritable transfert de matière d'une forme non préhensible (résidus organiques putrescibles à différents degrés de dissolution) sous une forme préhensible (matière vivante insoluble) qui pourra être facilement séparée par des moyens physico-chimiques ou autres. Ainsi on distinguera la fraction de DCO soluble éliminée, transformée en biogaz en situation anaérobie et la fraction solide (boues biologiques) qui constitue le déchet de l'épuration.

HISTOIRE DE LA BIOMÉTHANISATION

La découverte de la méthanisation remonte à 1776 lorsque A.VOLTA durant une de ses promenades observa que du gaz se libérait d'un marais. Après avoir étudié ce phénomène et fait plusieurs expériences il mit en évidence que le "gaz des marais" était inflammable. Un peu plus tard (1787), A.L. LAVOISIER lui donne le nom de "gas hydrogenium carbonatrum" mais le terme de "méthane" fut proposé en 1865 et confirmé en 1892 par un congrès international de nomenclature chimique. Pendant ce temps, la présence de ce gaz est mise en évidence dans d'autres milieux (dont le fumier) et son origine est attribuée à l'activité microbienne. Celles-ci se développent dans des milieux anaérobies naturels. Le gaz des marais qui contient une forte proportion de méthane provient de la décomposition des déchets organiques végétaux des marécages. Cette décomposition se déroule également dans les lacs et des rizières. Les sols des zones humides tels que les forêts tropicales, la toundra et les tourbières participent aussi à la production du méthane atmosphérique. Enfin, les processus de digestion des animaux libèrent du méthane. Les ruminants et les termites sont la source d'une quantité importante de gaz. Les phénomènes anaérobies qui se déroulent dans les sédiments marins sont responsables d'une partie du méthane dissous dans l'eau de mer.

Au début du 20^{ème} siècle, la première installation produisant du méthane voit le jour à Exeter en Grande-Bretagne, elle permet l'éclairage des rues de la ville. Les développements modernes de la méthanisation sont issus des travaux d'IMHOFF sur les boues urbaines et de DUCCELLIER sur les rejets d'élevages.

AVANTAGES DE LA BIOMÉTHANISATION

Le méthane, représentant 55 à 85% du volume de biogaz produit, est utilisable comme source d'énergie, ainsi 1m³ de méthane (soit 8 570 kcal) est l'équivalent d'un litre de mazout (cf. Figure).

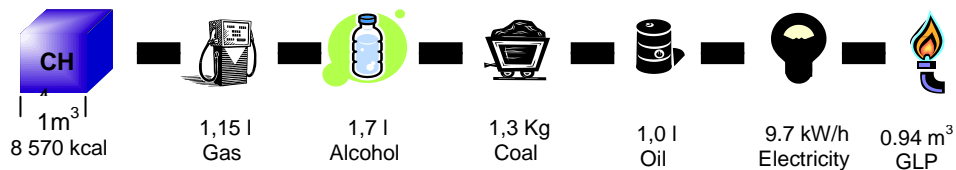


Figure 1: Correspondance énergétique entre différents types de fuels

Le procédé nécessite peu d'énergie pour son fonctionnement. Le bilan carbone est neutre.

PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

L'approche technologique choisie par VALBIO. pour implanter ses opérations est basée sur une méthode européenne (à l'origine Belge) de méthanisation accélérée de troisième génération, fonctionnant en anaérobie, avec le support de lits bactériens et l'utilisation ou pas de technologies de lit fluidisé.

Cette approche bien que basée sur des équipements et des technologies provenant essentiellement d'Europe, devait être adaptée aux contraintes météorologiques et aux ressources en biomasse propres au Québec, au Canada et l'Amérique du Nord. L'implantation d'une telle technologie au Québec relève des défis au niveau de l'ajustement des technologies existantes, qui devront être démontrées exploitables pour les réalités économique et climatique du Canada et de l'Amérique du Nord.

Donc, la compagnie a dû se lancer dans une phase de RE&DE ciblée, pour le développement expérimental d'une solution qui soit adaptée aux contraintes rencontrées, à la fois basée sur l'adaptation ou l'ajustement de la technologie européenne, et le développement de solutions complètement nouvelles.

Les activités de RE&DE ont été développées sur une unité pilote à Thetford Mines, qui devient à la fin des recherches : ‘l’unité’ d’implémentation. La dite unité typique pourra ensuite être répliquée de façon modulaire, dans toute autre unité industrielle que VALBIO. a l’intention de commercialiser au Canada et en Amérique du Nord..

VALBIO. a commencé par acquérir et importer les différents éléments du système européen tel qu’il est normalement implanté sur ce continent. Ensuite, la compagnie a débuté les adaptations qui devaient s’articuler autour de 3 grands axes technologiques :

- Adaptation du méthaniseur aux contraintes thermiques et aux variations de pression du biogaz généré. Ce sont les contraintes dites environnementales, physico-chimiques et climatiques;
- Adaptation des conditions de traitement (physico-chimique) des biomasses entrantes,
- Accroissement du rendement en biogaz avec des ajustements sur les procédés d’ordre empirique.

ANNEXE A – LA BIOMÉTHANISATION

DÉFINITION DE LA MÉTHANISATION

La digestion anaérobie (ou méthanisation) est la transformation de la matière organique en biogaz, composé principalement de méthane et de gaz carbonique, par un écosystème microbien complexe fonctionnant en absence d’oxygène. La méthanisation se produit naturellement dans les marais, les lacs, les intestins des animaux et de l’homme et de manière générale dans tous les écosystèmes où la matière organique se trouve en situation anaérobie.

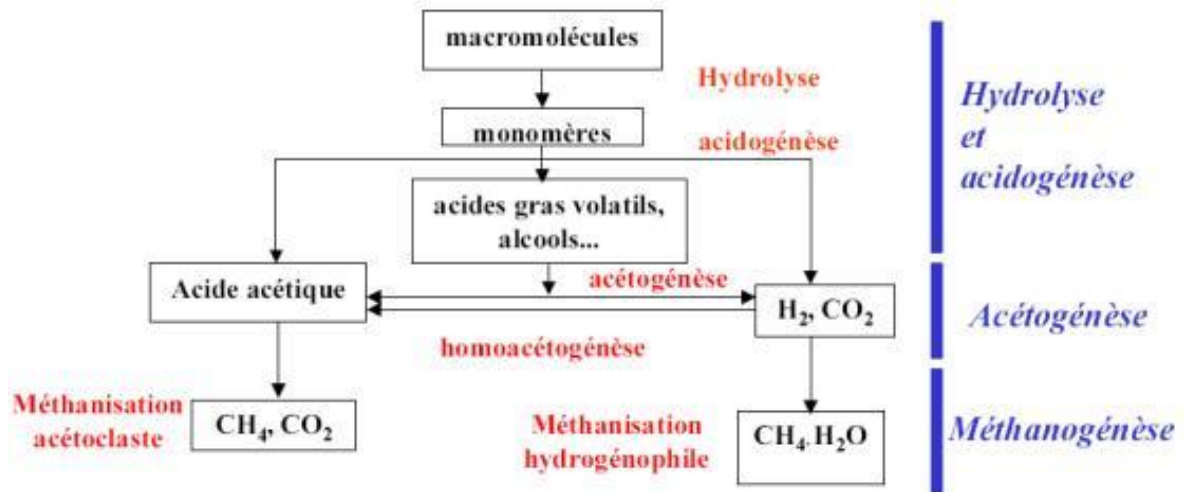


Figure 1: flux de matière de la digestion anaérobie

Le processus de digestion anaérobie a été utilisé pour produire de l'énergie (gaz de fumier pendant la seconde guerre mondiale).

Aujourd'hui, il s'est principalement implanté dans notre société comme un outil de dépollution extrêmement intéressant. Le fait que cela soit couplé à une production d'énergie (le méthane) en a augmenté son intérêt. En effet, la biométhanisation permet d'éliminer la pollution organique tout en consommant peu d'énergie, en produisant peu de résidus et en générant une énergie renouvelable et verte : le biogaz.

Les conditions de cette réaction biologique sont généralement :

- pH de 6 à 9
- Températures :
 - Psychrophiles (5 à 20° C)
 - Mésophiles (25 à 45° C)
 - Thermophiles (45 à 65° C)
- Potentiel d'oxydoréduction de - 300 à - 400 mV.

La digestion anaérobie génère une croissance lente des micro-organismes. C'est une conséquence de l'anaérobiose, avec une production réduite de boues.

Cette méthode a donc été utilisée pour traiter les rejets (les effluents et les déchets) dans les domaines industriels, municipaux, et agricoles. De manière générale, la digestion anaérobie s'applique à la matière organique d'origine naturelle (non ligneuse) ou chimique (hors polymères plastiques, résines...).

ÉLÉMENTS DE BIOCHIMIE

BACTÉRIES DE LA MÉTHANISATION

Les responsables de ce processus naturel sont les bactéries méthanogènes et sont strictement anaérobies.

Le processus de croissance microbienne est un processus endergonique, c'est à dire qu'il consomme de l'énergie. Pour obtenir cette énergie, les micro-organismes effectuent des réactions biochimiques d'oxydoréduction. La méthanogénèse est le processus microbiologique au cours duquel des réactions d'oxydation des composés organiques, qui engendrent l'énergie requise par des micro-organismes, sont couplées à des réactions de réduction aboutissant finalement à la production de méthane.

Les voies métaboliques simplifiées, décrivant le processus de cette transformation, ont été exposées dans un modèle, aujourd'hui largement accepté. Le modèle fait intervenir plusieurs types de micro-organismes classés dans trois phases distinctes :

- les bactéries hydrolytiques et fermentatives (hydrolyse et acidogénèse)
- les bactéries acétogènes (acétogénèse)
- les bactéries méthanogènes (méthanogénèse)

Ces trois communautés doivent constituer un écosystème équilibré pour que l'essentiel des équivalents réducteurs produits comme déchets au cours de l'anabolisme bactérien se retrouve finalement dans le méthane.

Les bactéries hydrolytiques et fermentatives

L'étape d'hydrolyse est réalisée par plusieurs groupes d'eubactéries anaérobies strictes et facultatives dont la nature dépend de la composition qualitative et quantitative de l'alimentation. Les principales espèces appartiennent aux genres Clostridium, Bacillus, Ruminococcus, Enterobactéroïdes, Propionibacterium et Butivibrio.

Les bactéries acétogènes

Au cours de cette étape, l'oxydation des substrats (surtout les acides propionique et butyrique et l'éthanol) est couplée à la formation d'hydrogène, de dioxyde de carbone et d'acétate. Elle représente l'activité de trois groupes de bactéries : les homoacétogènes des genres Clostridium, Acetobacterium, Sporomusa, Acetogenium, Acetoanaerobicum, Pelobacter Butyribacterium, Eubacterium... , les syntrophes des genres Syntrophobacter, Syntrophomonas, Syntrophus... et les sulfato-réductrices des genres Desulfovibrio, Desulfobacter, Desulfotomaculum, Desulfomonas...

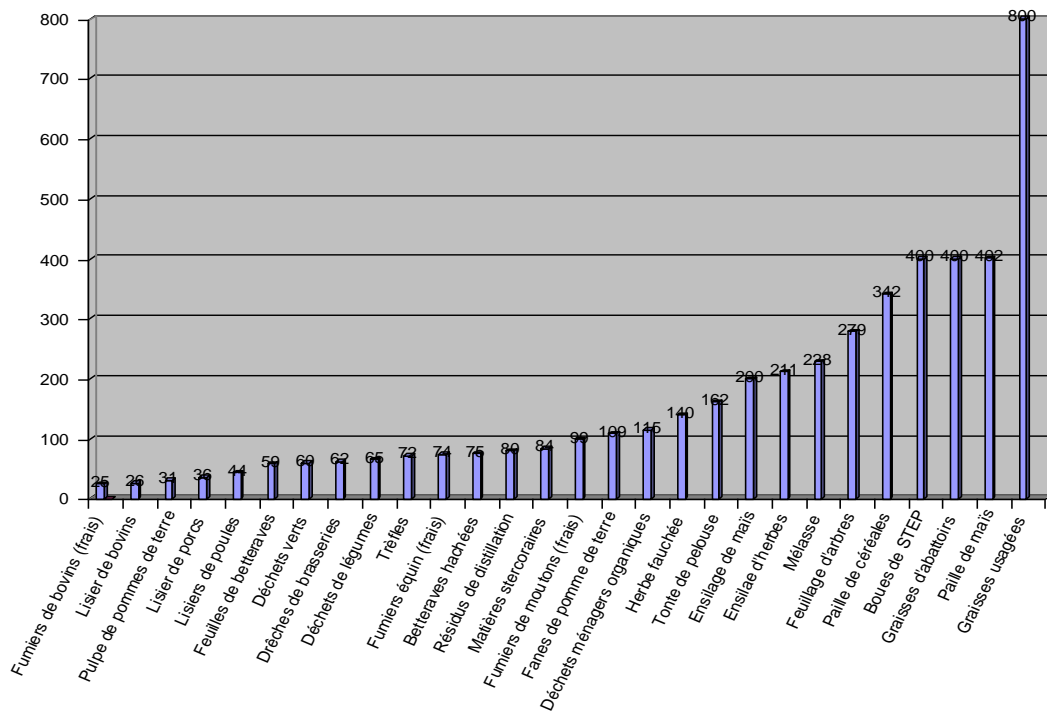
Il est important de noter que, lorsque la pression partielle en hydrogène s'élève, cette oxydation est thermodynamiquement impossible (réaction endergonique). Par conséquent, la croissance de la flore acétogène et l'utilisation du substrat dépendent strictement de l'élimination de l'hydrogène du milieu par les microorganismes méthaniques voire les bactéries sulfato-réductrices (en présence de sulfate). Cette association syntrophique avec des bactéries méthanogènes hydrogénophiles permet de rendre les réactions endergoniques possibles. L'oxydation des substrats est seulement possible à des pressions partielles en hydrogène faibles, de l'ordre de 10^{-4} ATM.

Les bactéries méthanogènes

Les bactéries actives de cette dernière étape sont réunies dans un groupe qui leur est propre : celui des Archae. Elles possèdent, en effet, des caractéristiques spécifiques par rapports aux eubactéries et aux eucaryotes, notamment en ce qui concerne leurs coenzymes. Les Archae constituent un des trois statuts de règne primaire, avec les eubactéries et les eucaryotes.

ANNEXE B – POUVOIR MÉTHANOGENÈ DES BIOMASSES

Des différents types de biomasses produisent des quantités distinctes de biogaz, en fonction de la richesse en atomes de Carbone par unité de poids, qui varie de chaque matière organique putrescible.



.Figure2 : Pouvoir méthanogène de différents types de biomasses purs

En plus, chaque type de biomasse présente une courbe de méthanisation dans le temps différente. Par exemple, les lisiers (notamment le lisier de porc) méthanise beaucoup plus rapidement que les graisses usagées, encore que la production de biogaz par tonne d'intrant soit beaucoup plus élevée pour la dernière.

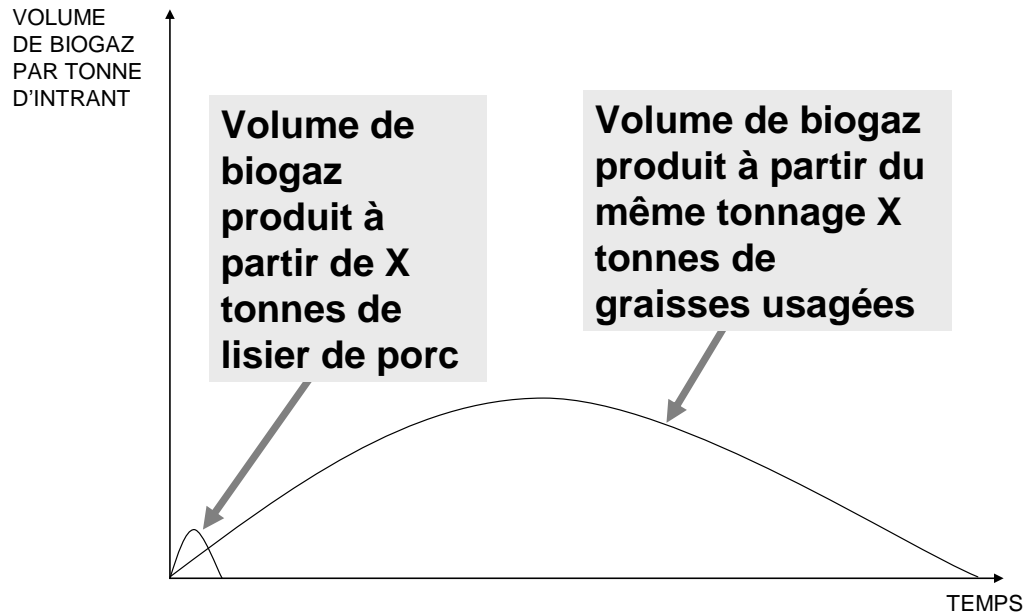


Figure 3: Courbes de bio méthanisation au court du temps pour 2 types de biomasses.

ANNEXE C – TECHNOLOGIES DE BIOMÉTHANISATION

PROCÉDÉS

Depuis les années 70, les capacités de traitement se sont améliorées. Une pratique industrielle de la méthanisation a permis de développer des réalisations de plus en plus sophistiquées, des systèmes à biomasse libre vers ceux à biomasse fixée.

Procédés utilisant une population bactérienne libre

Parmi les procédés utilisant une population bactérienne libre, on distingue :

- le lagunage anaérobie mettant en œuvre des bassins avec un dispositif de récupération de gaz.
- le contact anaérobie comportant un réacteur calorifugé et un décanteur.
- le réacteur à lit de boues. Ce réacteur est le plus fréquemment utilisé.

L'immobilisation de la biomasse sur des supports permet d'augmenter la concentration des micro-organismes actifs dans le réacteur, d'améliorer le transfert de substrat inter-espèces et ainsi d'atteindre des capacités de traitement plus élevées. Les bactéries se développent sur la surface du support et forment un film bactérien, appelé bio film.

Procédés à biomasse fixée

Parmi les procédés à biomasse fixée, on distingue :

- le lit fixe lorsque le support immergé est traversé par l'eau usée
- le filtre anaérobie lorsque le garnissage permet la rétention des matières en suspension de l'effluent

TRAITEMENT DE DÉCHETS SOLIDES

La digestion anaérobique de la matière organique solide a eu des applications importantes notamment pour produire de l'énergie (gaz de fumier) et pour la réduction des boues de stations d'épuration. Dans plusieurs pays européens, 1/3 de la production de boues urbaines est méthanisée ce qui conduit à l'élimination de $\pm 15\%$ de la matière issue des boues.

La digestion anaérobique de la matière organique solide a trouvé un intérêt supplémentaire ces dernières décennies avec la nécessité d'éliminer des déchets agricoles, industriels et municipaux. Ces digestions sont réalisées en mélange, ou non, en fonction des stratégies et des gisements disponibles. Comme pour les effluents, différentes stratégies de mise en œuvre existent en fonction du nombre d'étapes ou de la température de réaction. De plus, on distingue une classification en fonction de la teneur en matière sèche du milieu réactionnel :

- Fermentation « humide » de 5 à 20 % de matière sèche (MS) ;
- Fermentations « sèches » 20 à 50 % de MS.

Les déchets méthanisables sont des déchets organiques issus :

- Soit d'une récolte spécifique (déchets verts, déchets industriels, déchets agricoles, déchets de marché, de cantine...)
- Soit d'un tri à la source par les particuliers (déchets putrescibles, déchets « gris »...)
- Soit issus de tri dans des sites industriels spécifiques
- Ou triés mécaniquement sur le site de biométhanisation.

Leur teneur en produit méthanisable dépend de l'origine du déchet mais surtout de la qualité du tri avant traitement. De manière générale, la biométhanisation de co-substrat apporte un plus car elle augmente la diversité des matières qui peuvent être indispensables à la digestion anaérobique (vitamines, enzymes...). Pour ces substrats, on caractérise la matière fermentescible par sa teneur en Matière Sèche Volatile car c'est elle qui sera transformée en biogaz.

Le traitement des ordures ménagères par méthanisation est en plein développement. Cette approche est en concurrence avec la mise en décharge (dans certains pays), l'incinération ou le compostage. Elle nécessite des prétraitements plus ou moins poussés en fonction de la qualité des déchets. Ils consistent en des opérations de broyage, de tri (volumique, densitométrique, magnétique...), de mélange et d'hydrolyse avant introduction dans le digesteur. Le biodigestat résiduel subit un séchage partiel. La matière solide est envoyée en compostage alors que les liquides sont en partie recyclés ou envoyés dans la station d'épuration.

La valorisation du biogaz se fait par une utilisation sur le site et/ou sa vente après transformation (en électricité, vapeur...). Le schéma de principe de la filière est représenté sur la figure 5.

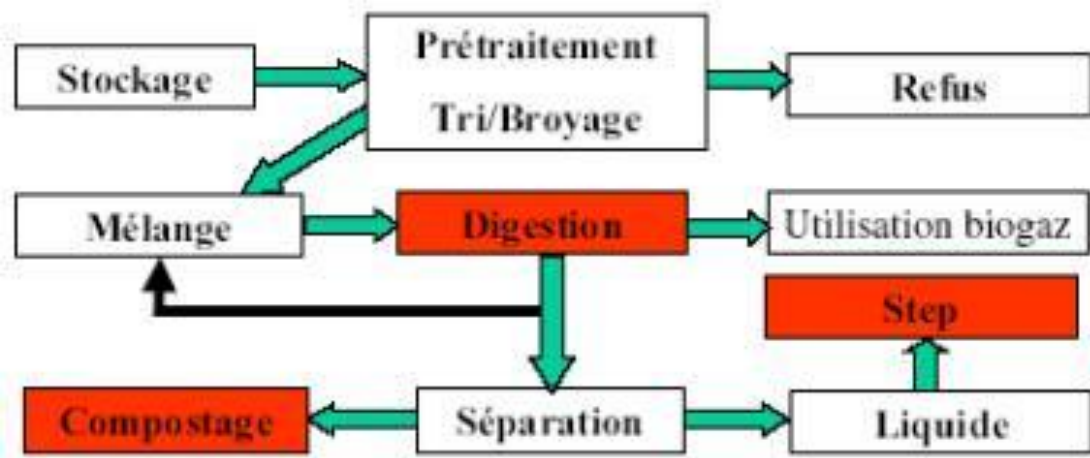


Figure 4: schéma de principe de la filière de méthanisation des ordures ménagères.