

La biométhanisation, une technologie qui fait jaser !

par
AZIZ GHERROU,
Ph. D., chimiste,
Centre des technologies
de l'eau, Montréal

La biométhanisation fait de plus en plus jaser ces derniers temps au Québec. Des projets d'installation d'usines de production de méthane à partir du biogaz issu des matières résiduelles domestiques sont annoncés çà et là. Plusieurs centaines de millions d'investissements ont été dégagés par le gouvernement du Québec et les villes.

La production d'énergie par biométhanisation est un procédé connu et utilisé depuis de très nombreuses années déjà. Cependant, durant la dernière décennie, l'intérêt pour ce procédé a été accentué par les nouveaux enjeux environnementaux et énergétiques.

Nous vous proposons de découvrir, à travers cet article, cette technologie qui suscite tant d'intérêts.

DÉFINITION ET PRINCIPE DE LA BIOMÉTHANISATION

La biométhanisation, ou fermentation méthanique, est un procédé de transformation de la matière organique par un ensemble de micro-organismes, en l'absence d'oxygène (anaérobie). Ce phénomène s'accompagne de la production de biogaz, mélange gazeux combustible, et d'un résidu appelé

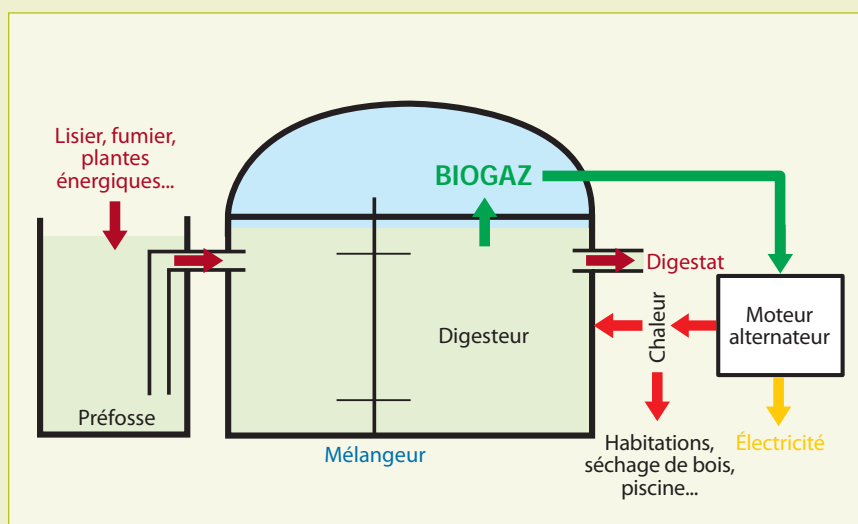


Figure 1 : Schéma général de la biométhanisation (Source www.energie.wallonie.be)

“digestat”. Ce biogaz est composé de méthane (50-75 %), de dioxyde de carbone (25-45 %) ainsi que de quelques autres éléments (moins de 2 %) tels que l’hydrogène sulfureux (H_2S), l’hydrogène (H_2), l’eau (H_2O), l’oxygène (O_2), l’ammoniac (NH_3) et l’azote (N_2)⁽¹⁾. Les intrants à la production de biogaz par le procédé de biométhanisation peuvent être du fumier, du lisier, du purin, des déchets organiques des ménages et de l’industrie agro-alimentaire, des plantes énergétiques, des boues de stations d’épuration...



Les lisiers de porcs sont un exemple d'intrants pour le biométhaniseur.

La fermentation est réalisée à l’intérieur d’un réacteur appelé biodigester en absence d’oxygène. Elle est assurée grâce à l’action concertée de microorganismes appartenant à différentes populations microbiennes en interaction constituant un réseau trophique. Trois séries essentielles d’opérations ont lieu : l’hydrolyse et l’acidogénèse, l’acétogénèse et la méthanogénèse⁽¹⁾.

Phase 1. Hydrolyse et acidogénèse

Durant cette phase, les intrants du procédé, qui sont de la matière organique complexe, sont hydrolysés en molécules simples par des enzymes

exocellulaires. Ensuite, les substrats obtenus sont utilisés lors de l’étape d’acidogénèse par les espèces microbiennes dites acidogènes, qui vont produire des alcools et des acides organiques, ainsi que de l’hydrogène et du dioxyde de carbone. À noter que la présence de composés difficilement hydrolysables tels que de la cellulose, de l’amidon ou des graisses peut ralentir l’étape d’hydrolyse.

Phase 2. Acétogénèse

L’étape d’acétogénèse permet la transformation des divers composés issus de la phase 1 précédente. 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, précurseurs directs du méthane. 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

« La production d’énergie par biométhanisation est un procédé connu et utilisé depuis de très nombreuses années déjà. »

méthanogènes hydrogénéophiles permet de rendre les réactions endergoniques possibles.

Phase 3. La méthanogénèse

La méthanogénèse est assurée par des micro-organismes anaérobies stricts qui appartiennent au domaine des Archea. Cette dernière étape aboutit à la production de méthane. Elle est réalisée par deux voies possibles : l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone

par les espèces dites hydrogénéotrophes, et l'autre à partir de l'acétate par les espèces acétotrophes ($\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ et $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$). Leur taux de croissance est plus faible que celui des bactéries acidogènes.

CONCEPTION D'UN BIOMÉTHANISEUR

Les procédés de méthanisation se distinguent selon plusieurs critères,

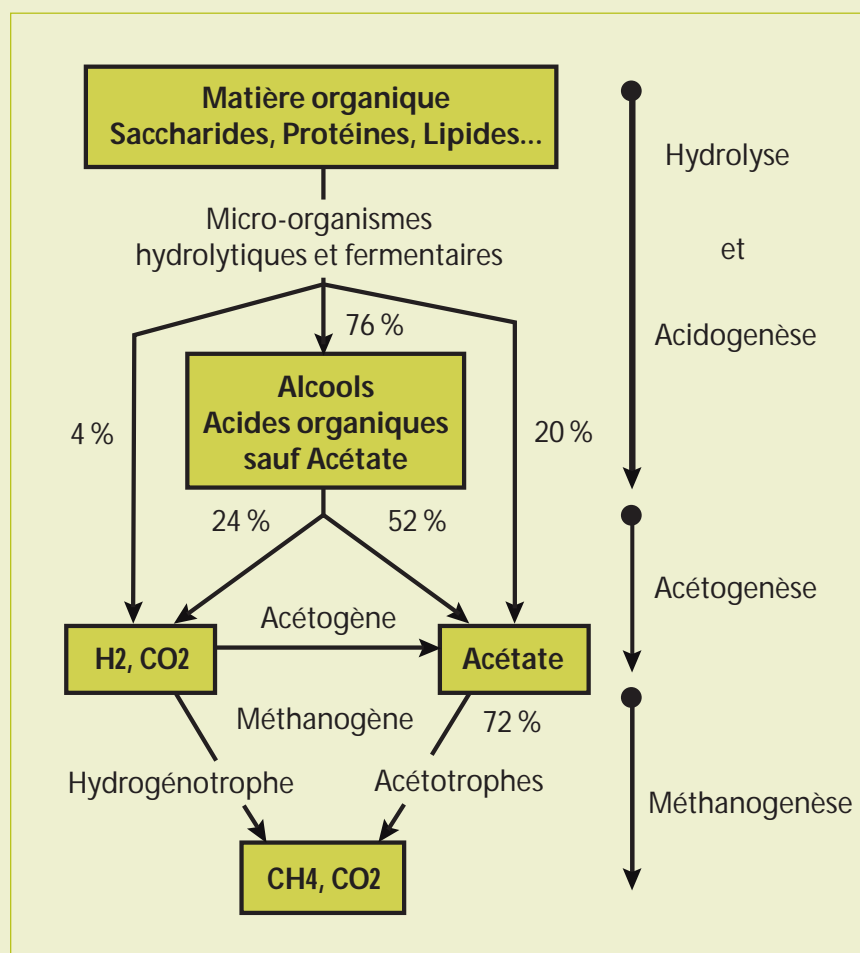


Figure 2 : Représentation des différentes phases de la méthanisation (Source wikipedia)



Exemple d'usine de biométhanisation

comme la température de fonctionnement (ambiante, régulée, mésophile, thermophile), la teneur en eau (procédés humides, procédés secs) ou l'existence de plusieurs phases de traitement ⁽²⁾.

1. Digestion humide/digestion sèche

Les systèmes de digestion humide présentent de grandes similarités avec les procédés de digestion de boues d'épuration. Dans ces réacteurs, la teneur en eau est ajustée de manière à retrouver une teneur proche de 10-15 % de matière sèche. Les déchets sont préalablement mélangés dans un réacteur pouvant éventuellement être adjoint à un traitement mécanique et/ou thermique, qui permet de conférer au mélange la consistance souhaitée pour la méthanisation. Le digesteur proprement dit est généralement une cuve agitée.

La digestion sèche est une technique qui permet de maintenir les résidus dans leur état d'origine sans d'importants ajouts d'eau. Elle se caractérise par une teneur en eau comprise entre 20 et 40 %, ce qui confère au milieu de fermentation une consistance non pas sèche, mais pâteuse (ou semi-solide), avec une faible quantité d'eau libre. Le prétraitement nécessaire est simplement un criblage à une taille de l'ordre de 40 mm, bien que l'on trouve également des installations fonctionnant avec des tailles supérieures (80 voire 100 mm).

2. Digestion mésophile/thermophile

La température influence principalement les vitesses de réaction au sens large, qu'elles soient chimiques ou biologiques : nous trouvons ainsi des procédés mésophiles (35 °C) et thermophiles. La température amé-

« L'utilisation
du méthane
issu du biogaz
comme
carburant
répond à
un certain
nombre de
préoccupations
économiques,
écologiques et
énergétiques. »

liore la vitesse de dégradation et de formation de méthane (mais pas la quantité de méthane produit). Ainsi, les méthaniseurs pour la digestion de la fraction fermentescible des

ordures ménagères fonctionnent à des charges plus faibles et des temps de séjour plus longs en mésophile qu'en thermophile.

La conduite d'un réacteur thermophile permet une meilleure hygiénisation vis-à-vis de certains germes pathogènes. Enfin, la digestion thermophile améliore la fluidité des lipides (graisses). Cependant, elle est également réputée plus fragile face aux inhibiteurs, notamment l'azote ammoniacal.

BIOMÉTHANISATION ET PRODUCTION D'ÉNERGIE

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

À titre de comparaison, le pouvoir calorifique de 1 Nm³ de biogaz contenant 60 % de méthane vaut environ 22 MJ et est semblable à celui de : 0,56 l de mazout ; 0,65 l de fuel ; 0,21 m³ de propane ; 0,7 kg de charbon.

Le tableau à la page suivante collecte la capacité indicative de production de méthane de différents types de matières organiques pouvant servir d'intrants pour la biométhanisation.

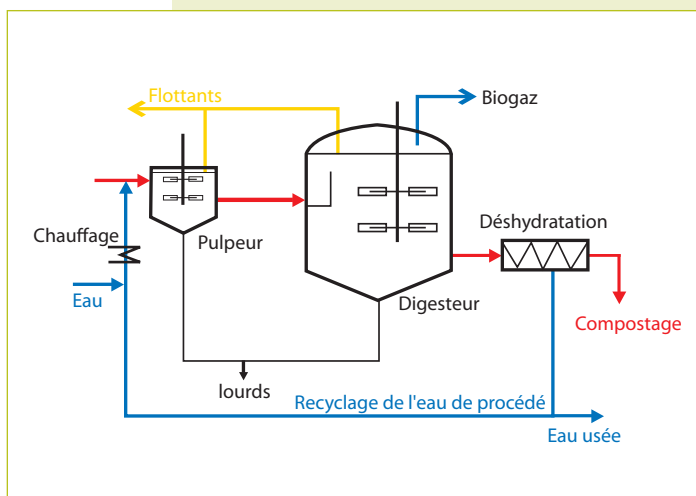


Figure 3 : Principe de fonctionnement des digesteurs humides ⁽²⁾

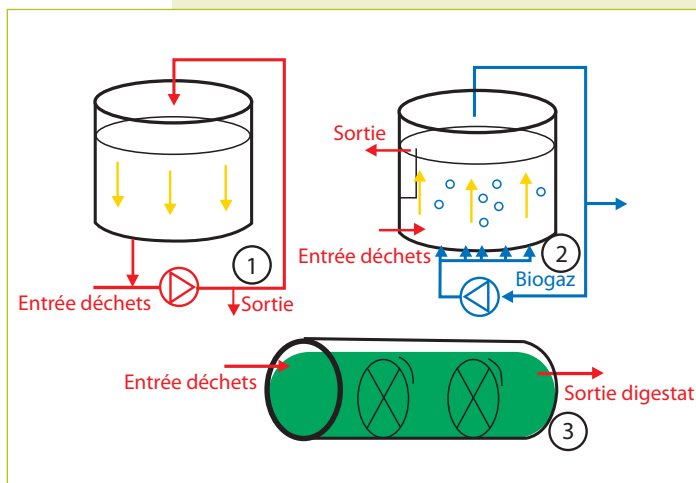


Figure 4 : Principales technologies de digestion sèche ⁽²⁾. 1. À recirculation de digestat (DRANCO), 2. Recirculation biogaz (VALORGA), 3. Digesteurs piston horizontaux (KOMPOGAS, BRV)

TABLEAU 1 : Production indicative en méthane de différentes matières ⁽²⁾.

M.F. (Matière Fraîche)	% M.S. (Matière Sèche)	% M.O. (Matière Organique) (de la M.F.)	% M.O. (de la M.S.)	C/N	Litres CH ₄ /Kg M.O.
Effluents d'élevage					
Lisier bovin	8,5 (6-11)	76,6 (68-85)	6,5	10-17	230 (200-260)
Fumier bovin frais	18,5 (12-25)	75 (65-85)	13,9	14-25	250 (200-300)
Lisier porcin	6,1 (2,5-9,7)	72,5 (60-85)	4,4	5-10	355 (260-450)
Fumier de mouton frais	27,5 (25-30)	80	22	14	450 (400-500)
Déchets agricoles					
Pailles de céréales	87,5 (85-90)	87 (85-89)	76,1	70-165	450 (300-600)
Paille de maïs	86	72	61,9	30	650 (600-700)
Feuilles de betteraves	16,5 (15-18)	79 (78-80)	13	15-16	450 (400-500)
Fanes de pomme de terre	25	79	19,8	16-25	550 (500-600)
Déchets agro-industriels					
Pulpes de pommes	2,9 (2-3,7)	94,5 (94-95)	2,7	6	330
Pulpes de pomme de terre	13,5 (12-15)	90	12,2	3-9	250
Fruits broyés	45 (40-50)	61,5 (30-93)	27,7	30-50	400
Déchets de légumes	12,5 (5-20)	83 (76-90)	10,53	12-27	600
Déchets communaux					
Déchets ménagers organiques	27,5 (40-75)	50	28,8	25-80	400 (200-600)
Herbes fauchées	29,5 (22-37)	94,5	27,9	23	500
Boues flottantes (station d'épuration)	14,5 (5-24)	90,5	13,1	700	(600-800)

Avantages de la biométhanisation

- Production d'énergie thermique et électrique à partir de déchets ou sous-produits fermentescibles ;
- Diminution d'émissions des gaz à effet de serre : CO₂ et CH₄ ;
- Solution économique de traitement de déchets organiques avec possibilité de valorisation agricole ;
- Diversification et valorisation agricole : augmentation des rentrées financières
- Amélioration de la valeur agronomique :
- Diminution des nuisances olfactives ;
- Diminution des problèmes d'apparence ;
- Hygiénisation au niveau du digesteur et de l'hygiénisateur ;
- Digestat utilisé comme amendement : azote minéralisé plus assimilable par les plantes ;
- Modification de la viscosité : amélioration de l'épandage ;
- Maintien des éléments nutritifs ;
- Capacité supplémentaire de stockage des effluents d'élevage liquides
- Économie d'engrais ;
- Augmentation de la traçabilité et du contrôle des compositions des matières entrantes et sortantes ;
- Meilleurs contrôle et respect des normes d'épandage.

« L'utilisation du méthane issu du biogaz comme carburant répond à un certain nombre de préoccupations économiques, écologiques et énergétiques »

Bibliographie

1. De Baere, L. (2000). Anaerobic digestion of solid waste : state-of-the-art. *Water Science and Technology*. 41 (3), 283-290.
2. Pierre BUFFIERE, Matthieu CARRERE, Olivier LEMAIRE, Javier VASQUEZ, Guide méthodologique pour l'exploitation d'unités de méthanisation de déchets solides, Centre de recherche sur la propreté et l'énergie. Disponible sur www.ec.europa.eu