

BIOGAZ UNE ENERGIE RENOUVELABLE D'AVENIR

Coordinateurs : Elise El Ahmar (CTP), Marco Campestrini (CTP)

Centre de recherche concerné : Centre Thermodynamique des Procédés (CTP).

Lieux : CTP, 35 rue Saint Honoré, 77300 Fontainebleau.

RESUME

Le biogaz, mélange composé principalement de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2), est produit grâce à un processus de dégradation de matières organiques en l'absence d'oxygène. Le biométhane résulte d'un processus d'épuration du biogaz lui permettant d'avoir les mêmes propriétés que le gaz naturel et est garanti d'origine 100 % renouvelable. Le biométhane représente ainsi une voie alternative de production d'hydrogène renouvelable ou « vert ».

Les élèves seront amenés à découvrir le biogaz/biométhane de sa production jusqu'à ses différentes applications ainsi que le captage et la valorisation du CO_2 .

La consommation de ce gaz renouvelable permet de mieux valoriser les déchets des territoires et de lutter contre le changement climatique tout en dynamisant l'économie locale et l'activité des agriculteurs locaux.

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Un gaz renouvelable (dit aussi gaz vert) est un gaz utilisable par exemple pour la production d'électricité, de chaleur, ou encore il peut être utilisé comme carburant. Un gaz renouvelable n'est pas extrait ou produit en partant des réserves fossiles, comme le gaz naturel. Le biogaz est aujourd'hui le gaz renouvelable par excellence.



Le biogaz : un gaz vert et une énergie circulaire

Biogaz/Biométhane

Le biogaz est un gaz combustible, un mélange en moyenne de méthane (CH_4) à 65% et de CO_2 à 35%. C'est une ressource d'énergie renouvelable issue de la biomasse. Cependant le nom 'biogaz' regroupe une grande variété de gaz issus de procédés de traitement spécifiques, à partir des déchets organiques diverses – industriels, d'origine animale, ménagère etc.

La composition (Tableau 1) et les propriétés du biogaz varient selon les intrants utilisés, les procédés de méthanisation, mais aussi la température, le temps de séjour hydraulique, etc. Les autres composants du biogaz sont le CO_2 , l'eau, l'azote, et des éléments indésirables en faible quantité comme l' H_2S , les siloxanes, les composés organiques volatiles, les chlorés ou les fluorés.

Selon sa composition, le biogaz présente des caractéristiques qu'il est intéressant de comparer au gaz naturel et au propane.

Composants	Ordures ménagères	Boues de STEP 1	Déchets agricoles	Déchets de l'industrie agroalimentaire
CH ₄ % vol	50-60	60-75	60-75	68
CO ₂ % vol	38-34	33-19	33-19	26
N ₂ % vol	5-0	1-0	1-0	-
O ₂ % vol	1-0	< 0,5	< 0,5	-
H ₂ O % vol	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)
Total % vol	100	100	100	100
H ₂ S mg/m ³	100 - 900	1000 - 4000	3000 - 10 000	400
NH ₃ mg/m ³	-	-	50 - 100	-
Aromatiques mg/m ³	0 - 200	-	-	-
Organochlorés ou organofluorés mg/m ³	100-800	-	-	-

Tableau 1 : Composition du biogaz selon des sources différentes de production (Biogaz énergie renouvelable, Naskeo environnement, 2008)

La valorisation énergétique du biogaz permet d'exploiter le potentiel énergétique de la matière organique contenue dans les déchets, tout en assurant, par la méthanisation, un traitement et le retour au sol de cette même matière organique. Le biogaz participe aux engagements de la France pour la production d'énergie renouvelable sous la forme d'électricité, de chaleur et de carburant. Sa valorisation permet de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, méthane et oxydes d'azotes notamment. L'énergie contenue dans un Nm³ de biogaz contenant 60 % de méthane sera de 21,6 MJ ou 6 kWh, équivalant à environ 0,7 l d'essence ou 0,6 l de fuel.

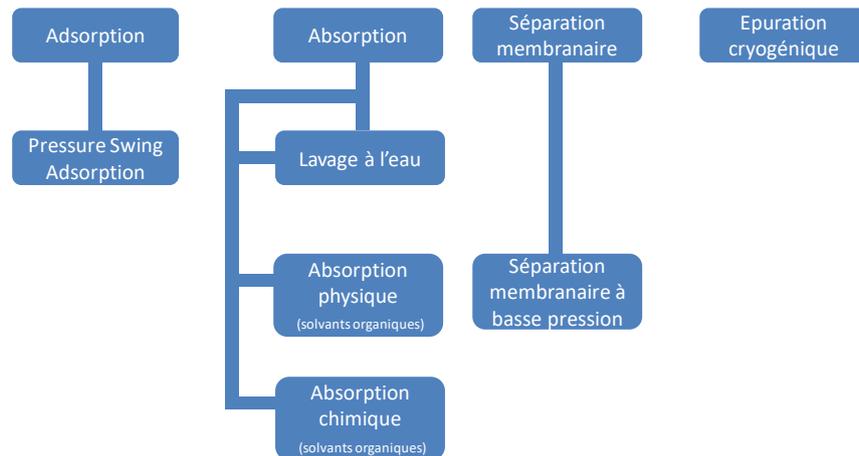
Après épuration, le biogaz atteint le même niveau de qualité que le gaz naturel et peut donc être injecté dans les réseaux de distribution et de transport : on l'appelle alors biométhane. Au 1er Mars 2023, 540 sites injectent en France (tous réseaux confondus). Environ 80% des producteurs de biométhane sont agriculteurs. Les régions Grand Est, Nouvelle-Aquitaine et Hauts-de-France représentent à elles seules la moitié de la production et des capacités installées. La France pourrait produire 100 % de gaz renouvelable en 2050, selon une étude publiée par l'Ademe. Ce gaz participe à l'économie locale et favorise le développement d'une agriculture durable et pérenne économiquement :

- Il transforme les déchets et effluents agricoles en énergie renouvelable
- Il est injecté localement dans le réseau et alimente les riverains
- Il représente un complément de revenus pour les agriculteurs
- Il génère un coproduit appelé digestat, engrais organique naturel qui se substitue aux engrais chimiques.

Les procédés de purification du biogaz et de production de biométhane

Au méthane et au CO₂ que contient le gaz à la sortie du méthaniseur, s'ajoutent des traces (Tableau 1) de H₂S, d'eau, d'azote, d'oxygène et des Composés Organiques Volatiles (COV), ce qui exige un prétraitement sur charbon actif (réputé pour sa porosité particulière) afin de retirer les COV et l'oxygène, conformément aux procédés d'adsorption bien connus. En fonction de l'utilisation du biogaz, il peut être nécessaire de le purifier et de séparer les différents gaz. Pour séparer le méthane des autres composants, il existe ensuite plusieurs procédés d'épuration possibles du biogaz (Figure 1) : l'adsorption, l'absorption physique ou chimique, la séparation membranaire ou la cryogénie. Tous se déroulent en trois étapes afin d'éliminer successivement le CO₂ (décarbonation), l'H₂S (désulfuration), et l'eau (déshydratation).

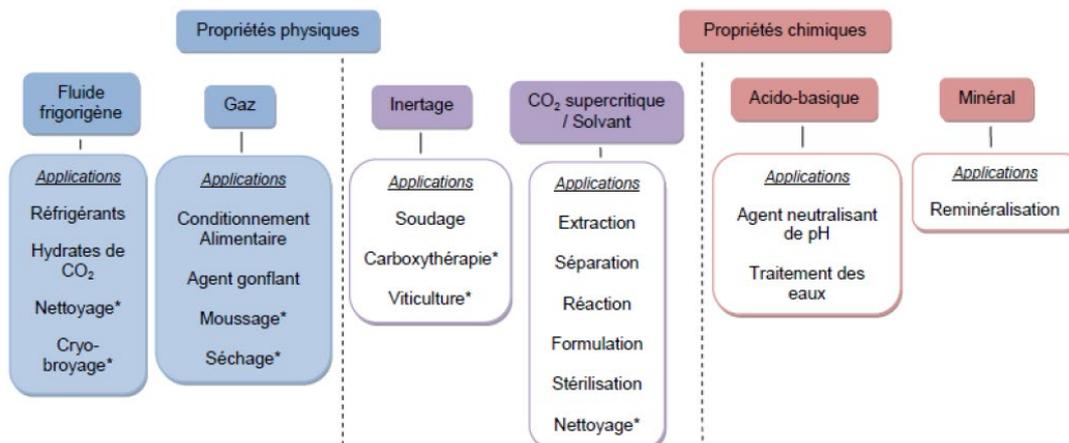
1 Boues de STEP : boues résiduelles issues de stations d'épuration traitant des eaux usées domestiques ou urbaines.



Différents procédés d'épuration du biogaz (source Biogasmax, 2010).

Valorisation et utilisation du CO₂

Principalement issu jusque-là des activités de reformage de gaz naturel, le CO₂ est historiquement utilisé pour la production d'urée (57%) et pour la récupération assistée de pétrole (34%). Le restant (9%) est majoritairement employé pour des applications dans l'agro-alimentaire et la métallurgie (Agence Internationale de l'Énergie, 2018). Mais avec le déploiement des nouvelles technologies de captage de CO₂, de nouvelles voies de valorisation du CO₂ émergent avec de nouveaux débouchés pour les industriels tels que l'utilisation du CO₂ comme matériaux de construction ou comme substitut de ressources fossiles pour la production de matières plastiques etc...



*Application de niche : représentant de quantités de CO₂ moindres à ce jour mais sont susceptibles de représenter des volumes de CO₂ valorisables plus importants à l'avenir.

Applications industrielles du CO₂ selon ses propriétés (source : L. Dumergues *et al.*, 2014)

OBJECTIFS, TRAVAIL ET ORGANISATION

Le MIG sera piloté par le Centre Thermodynamique des Procédés de Mines Paris-PSL. Le tableau ci-après présente le programme provisoire des trois semaines bloquées. Les élèves sont encouragés à poser leurs questions aux conférenciers, qui pourront les aider à acquérir les bases scientifiques, techniques, économiques, etc. Lors des synthèses de fin de semaine, chaque groupe devra présenter aux autres groupes l'avancée de ses travaux. 4 à 5 transparents seront demandés.

MINI-PROJETS

Les élèves devront se répartir en 3 groupes afin de travailler sur différents aspects concernant le biogaz en répondant à différentes questions.

- **Groupe 1** : Le marché du biogaz : Quelles ressources pour la production de biogaz ? Comment choisir le lieu d'implantation ? Acceptabilité et aspects territoriaux.
- **Groupe 2** : Place du biogaz dans la décarbonation des industries : alternatif au gaz naturel ?
- **Groupe 3** : Carburant alternatif pour la mobilité : GNV (gaz naturel pour véhicules) vs. BioGNV.

LES VISITES

- Visite des installations d'essais du centre de recherche, (ENGIE Lab CRIGEN, Stains, à confirmer).
- Visite des installations d'essais du centre de recherche Paris-Saclay (Air Liquide, Jouy-en-Josas).
- Visite de CVE Equimeth (une unité de méthanisation territoriale) (Moret-Loing-et-Orvanne, à confirmer).
- Visite de SUBLIME Energie (start-up qui propose une nouvelle voie de valorisation du biogaz sous forme de bioGNL), (Massy)

PROGRAMME PREVISIONNEL

Jours	Semaine 1 (du 20/11 au 24/11)	Semaine 2 (du 27/11 au 01/12)	Semaine 3 (du 04/12 au 08/12)
Lundi	9h00-17h00 / Mines Paris M : Présentation du projet et Conférence introduction d'ENGIE AM : Place de biogaz dans la transition énergétique (à confirmer)	9h00-18h00 / CTP M : réunion d'accueil site bellifontain/ Généralités sur le biogaz (M. Campestrini) AM : Travail de groupe	09h00-12h00/Massy Visite SUBLIME Energie 14h00-17h00 / Mines Paris Travail de groupe
Mardi	09h00-17h00 / Massy ENGIE (à confirmer) Production industrielle, purification et traitement de biogaz Marché actuel Projection du marché et des usages	9h00-18h00 / CTP Travail de groupe	9h00-17h00 / Mines Paris Travail de groupe
Mercredi	09h30-17h30 / Les Loges-en-Josas Air liquide Procédé de production du biogaz Biogaz dans la mobilité Chaine de valeur de biogaz et économie circulaire Captage et valorisation CO ₂	9h00-18h00 / CTP M : Visite CVE Equimeth (à confirmer) AM : Travail de groupe	9h00-17h00 / Mines Paris Travail de groupe
Jeudi	9h00-17h00 / Mines Paris M : Stockage de biogaz (GrdF, à confirmer) AM : Méthanisation et valorisation du CO ₂ (CTBM, à confirmer)	9h00-18h00 / CTP Travail de groupe	9h00-17h00 / Mines Paris Travail de groupe
Vendredi	9h00-17h00 / Mines M : Recherche de documentaire AM : enjeux et usage du biogaz (Total Energies, à confirmer)	9h00-18h00 / CTP M : Travail de groupe AM : Bilan 2ème semaine	9h00-15h30 / Mines Paris M : Présentation des résultats AM : Présentation des résultats

DETAILS PRATIQUES POUR LES ELEVES / CONTACT(S)

Dr. Elise El Ahmar

Centre Thermodynamique des Procédés - CTP – Mines Paris-PSL

E-mail : elise.el_ahmar@minesparis.psl.eu

Portable : + 33 6 88 08 58 81

Dr. Marco Campestrini

Centre Thermodynamique des Procédés - CTP – Mines Paris-PSL

E-mail : marco.campestrini@minesparis.psl.eu

Portable : + 33 7 87 18 91 90