

La valorisation du biogaz de décharge et le traitement du biogaz par la trigénération.

Ing. A. Gascard
ECAM – Bruxelles
Verdesis – Wavre
G-ANT – Ittre

L'énergie occupe aujourd'hui une place importante dans notre société. Cette énergie peut être produite par combustion du biogaz de décharge. Quelle solution plus écologique peut-on imaginer pour produire notre source de vie? Cet article tente de présenter la valorisation du biogaz de décharge en général avant de développer une méthode de traitement du biogaz innovante basée sur les principes de la trigénération qui a fait l'objet d'un travail de fin d'études, lauréat des concours CERDECAM et AIECAM.

Mots-clefs : biogaz de décharge, traitement, trigénération.

Power generation is an important resource in our society. This energy can be produced by combustion of waste biogas. Can we imagine a more ecological solution to produce our source of life? This article presents a general appreciation of the waste biogas to develop a new method of biogas drying, based on trigeneration. This work was the subject of a thesis, which won both the CERDECAM and AIECAM awards.

Keywords : waste biogas, drying, trigeneration

1. Introduction

La mise en décharge de déchets divers engendre la production d'un gaz riche en méthane (de 45 à 60% de CH₄) par biodégradation anaérobie de déchets organiques. Ce gaz est alors appelé biogaz. Il est indispensable et obligatoire de récolter ce biogaz car l'action du méthane sur l'effet de serre est 20 fois plus importante que celle du CO₂.

La plus belle manière pour se débarrasser du biogaz est bien entendu de le valoriser. En effet, le CH₄ est un excellent combustible (au point de vue énergétique, 1m³_N de CH₄ = 1 litre d'essence). Le biogaz peut donc servir de carburant, moyennant un certain conditionnement, pour diverses solutions de production d'énergie telles que chaudières, moteurs et turbines. Le biogaz doit avant tout être conditionné car il contient des éléments qui nuisent au bon fonctionnement des installations de valorisation, dont entre autres des siloxanes, du soufre, des hydrocarbures lourds et de l'eau.

Le traitement du biogaz, par un processus permettant d'utiliser au mieux l'énergie, a fait l'objet d'un travail de fin d'études au sein de la start-up **Verdesis**, entreprise qui conçoit et met en place des installations de traitement de biogaz et des unités de valorisation à l'aide de microturbines Capstone.

Le travail était divisé en trois parties : rédaction d'un dossier destiné à la Région Wallonne en vue de financer les recherches par des subsides, dimensionnement d'une installation pilote comportant un refroidissement du biogaz à l'aide d'une machine à absorption et vérification de la pertinence technico-économique de l'installation.

Cet article présentera donc, tout d'abord, la valorisation du biogaz de décharge en général avant de développer le traitement du biogaz avec notamment un rappel théorique sur l'absorption de chaleur et son application dans le domaine concerné.

2. Valorisation du biogaz de décharge.

2.1 Production de chaleur : les chaudières.

L'utilisation de chaudières au biogaz constitue une solution très efficace. En effet, le rendement de telles installations est incontestablement plus élevé que celui des moteurs ou turbines. Cependant, la chaleur n'est pas facilement stockable ou transportable et les besoins sur les sites producteurs de biogaz sont souvent minimes par rapport à l'énergie disponible. Ce type d'installation est utilisé plus fréquemment dans les stations d'épuration des eaux ou les « méthaniseurs » dont la température doit être contrôlée.

2.2 Production d'électricité (et de chaleur) : les moteurs et les turbines à gaz.

Toutes les décharges produisent du biogaz en quantité relativement importante. Depuis quelques années, l'élimination du méthane qu'il contient est devenue obligatoire pour des raisons écologiques et de sécurité. La première solution qui a été adoptée consistait à brûler le biogaz dans des torchères. Il n'y avait donc aucune récupération d'énergie. Petit à petit, à partir de l'apparition d'aides aux énergies « vertes », les décharges se sont intéressées à la valorisation électrique du biogaz.

La production d'électricité est réalisée par des moteurs thermiques stationnaires ou des turbines à gaz. Le rendement électrique de ces installations est compris entre 25 et 35%. Cependant, il y a une possibilité de disposer également d'énergie thermique. Cette chaleur est récupérée dans les systèmes de refroidissement intrinsèques des moteurs (ou turbines) ou en refroidissant les gaz d'échappement. On parle alors de cogénération.

Les premières installations de valorisation ont été rapidement confrontées à des problèmes de fiabilité. En effet, l'utilisation du biogaz provoque une apparition de sable due à la mise sous haute température des siloxanes et une agression chimique des pièces mécaniques à cause de la formation d'acides à partir de l'eau contenue dans le biogaz. Dans certaines décharges, la présence d'H₂S en quantité relativement importante a engendré également des problèmes d'usure prématurée et de forte corrosion.



Figure 1 : Unité de cogénération conçue par Verdesis à partir du biogaz de la station d'épuration des eaux de Marche-en-Famenne.

2.3 Traitement du biogaz.

Le traitement du biogaz s'est progressivement avéré indispensable. La troisième partie de cet article présentera une solution de traitement qui a pour objectif de rendre le biogaz parfaitement propre. Cette philosophie, adoptée par Verdesis, a pour avantage de diminuer les frais de maintenance des moteurs ou turbines.

2.4 La valorisation du biogaz en Wallonie.

Sans entrer dans les détails, voici, en quelques chiffres, la situation actuelle et les objectifs relatifs à la valorisation électrique du biogaz de décharge en Wallonie :

- ✓ Energie produite en 2000 : 70GWh
- ✓ Objectifs : Energie à produire en 2005 : 100GWh
en 2010 : 225GWh

3. Traitement du biogaz : principes de base.

Pour répondre de façon efficace aux exigences imposées par le biogaz de décharge, ce traitement doit comporter 3 étapes fondamentales :

1. Refroidissement du biogaz pour permettre sa déshumidification par condensation.
2. Réchauffement du biogaz assurant les caractéristiques de filtrage du charbon actif optimales.
3. Filtrage du biogaz dans des cuves en acier inoxydable remplies de charbon actif.

L'objectif de cette unité de traitement est d'augmenter la durée de vie du moteur et de diminuer les coûts variables associés à son fonctionnement en filtrant les éléments nuisibles. La philosophie de Verdesis dans ce domaine est d'éliminer l'entière de tous ces composants, alors que l'état de l'art s'oriente plutôt vers une forte diminution de ceux-ci. Cette différence de conception engendre un intervalle de temps entre deux entretiens moteur plus conséquent grâce à une qualité d'huile plus constante (elle n'est en effet pas « polluée » par les éléments qui passent à travers le filtre). Cette meilleure filtration est obtenue en combinant du charbon actif de qualité moyenne, en tant que premier filtre, avec un graphite actif de haute qualité qui filtre la totalité des éléments restants. Le graphite est bien entendu plus cher, mais vu la faible concentration d'impuretés qu'il doit retenir, sa consommation annuelle est très réduite.

L'analyse financière montre que les économies réalisées sur les entretiens moteurs apportent déjà une bonne rentabilité de l'installation. A cette diminution prévisible des coûts, il faut ajouter les frais supplémentaires qui apparaissent lors d'éventuelles casses machines que connaissent actuellement les moteurs ne disposant pas de traitement spécifique du biogaz. Ces incidents techniques sont imprévisibles et ils entraînent, non seulement des frais de réparation mais également une indisponibilité du moteur et donc des revenus annuels moins importants.

Exemples de réalisations Verdesis :



Traitement des siloxanes à la décharge de Braine-le-Château exploitée par Biffa.

Unité de désulfuration du biogaz : Itradec Centre de tri à Mons.

Figure 3 : traitement du biogaz.

4. Traitement du biogaz par la trigénération.

On parle de trigénération lorsqu'il y a production de trois sources d'énergie : de l'électricité, de la chaleur et du froid. Cette technologie peut être appliquée dans le domaine du traitement du biogaz grâce aux propriétés spécifiques des machines frigorifique à absorption.

4.1 Principe de l'absorption de chaleur

Une machine frigorifique à absorption se base sur le même principe que celui des cycles frigos classiques. A savoir, une succession de phase de compression, de condensation, de détente et d'évaporation d'un fluide frigorigène. La différence provient du mode de compression (fig. 4). En effet, dans le cas de l'absorption, il ne s'agit plus d'un compresseur électrique mais bien d'une compression chimique (dite aussi thermique). En deux mots, le compresseur est composé d'un mélange binaire bromure de lithium/eau (l'eau faisant office de fluide frigorigène) dont la solubilité dépend fortement de la température. Cette propriété engendre une évaporation de l'eau lorsque la solution est en contact avec une source de chaleur extérieure, et donc une augmentation de la pression au sein de l'absorbeur.

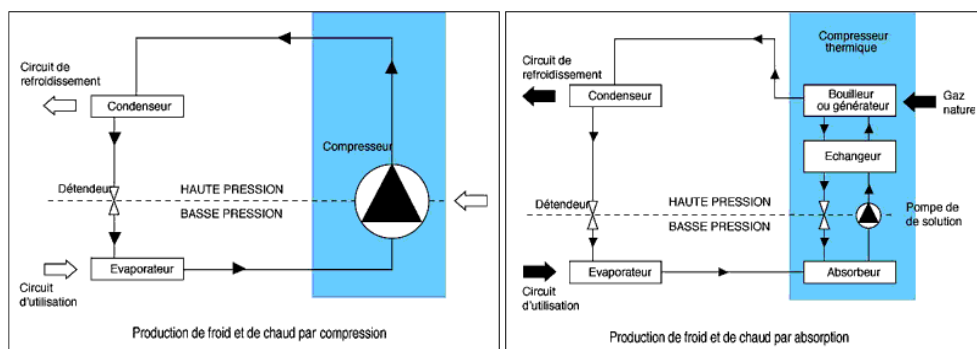


Figure 4 : Cycles frigorifiques (Source: Cegibat, gaz de France)

4.2 Application de l'absorption au traitement du biogaz.

L'avantage principal de ce type de machine est qu'elle peut fournir l'eau froide nécessaire au refroidissement du biogaz en puisant son énergie dans la chaleur fournie par le moteur. Il n'y a donc quasiment aucune consommation électrique (uniquement la pompe de circulation et l'aéroréfrigérant ce qui représente moins de 5% de l'énergie frigorifique). Etant donné que l'attribution de « certificats verts »¹ est calculée sur base de l'énergie brute produite diminuée de la consommation des auxiliaires nécessaires à cette production, l'utilisation d'une machine frigorifique à absorption engendre une majoration des revenus. En effet, le refroidissement du biogaz requiert une puissance frigorifique de plus ou moins 100kW (valeur prise sur une décharge de taille moyenne). Une machine frigo traditionnelle ayant, dans des conditions d'utilisations spécifiques à ce type d'installation, un COP² moyen de 2, la puissance électrique est donc de 50kW.

¹ Certificats verts : aide financière accordée par la Région wallonne aux producteurs d'énergie verte : ils reçoivent un certificat vert pour chaque kWh électrique (ou deux kWh thermiques) qu'ils peuvent revendre aux fournisseurs d'électricité. Ceux-ci sont obligés d'acheter un minimum de certificats verts.

² COP : le COefficient de Performance représente le rapport entre la puissance frigorifique produite et la puissance électrique fournie au groupe froid.

Si l'on se base sur un fonctionnement des moteurs de 8000 heures par an et un prix de vente de l'électricité de 0.11€/kWh, l'augmentation des revenus relative à cette diminution de la consommation des auxiliaires est d'environ :

$$8000*(50-5 \% \text{ de } 100\text{kW})*0.11=39600\text{€/an}$$

(Les 5% représentent la consommation de la machine à absorption)

Le bon déroulement du processus de refroidissement est indispensable au fonctionnement du système de traitement, c'est pourquoi l'intégration de ce type de technologie (encore jamais réalisée dans ce domaine) pousse Verdesis à prendre toutes les mesures de sécurité afin d'assurer la fiabilité de l'installation. De ce fait, un groupe frigorifique traditionnel d'une capacité égale à la moitié de la puissance nominale doit être également installé pour assurer la redondance des éléments producteurs d'eau froide. La récupération de la chaleur produite par les moteurs peut se faire via plusieurs sources, à partir de l'eau de refroidissement des chemises, du système de régulation de la température de l'huile ou par les gaz d'échappement. Le choix du mode de récupération doit se faire, suivant les sites, en considérant la facilité d'accès de ces différentes sources de chaleur, de la puissance disponible et du niveau de température de celles-ci. Néanmoins, il est, en général, plus aisé de récupérer une partie de la chaleur contenue dans le circuit d'eau de refroidissement du moteur.

4.3 Principes de base du processus de déshumidification du biogaz :

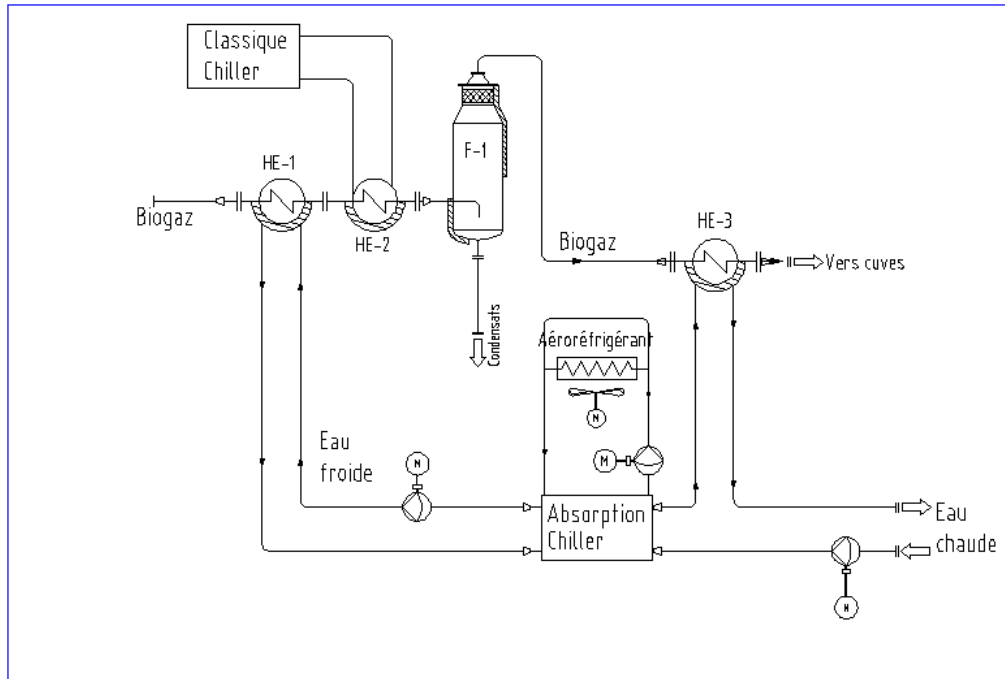


Figure 5 : Représentation simplifiée du système de séchage du biogaz par absorption.

Le biogaz est refroidi par deux échangeurs de chaleur (HE-1 et HE-2) alimentés en eau glacée produite par les deux groupes frigorifiques (absorption et classique chillers). Ce refroidissement implique la condensation de l'eau contenue dans le biogaz (celui-ci est saturé en eau lorsqu'il est extrait de la décharge). Le dévésiculateur (F-1) permet de séparer l'eau liquide (appelée alors condensats) du biogaz. Par la suite, le biogaz est réchauffé par l'eau chaude fournie par les moteurs (via l'échangeur HE-3) en vue d'obtenir des caractéristiques de filtrage du charbon actif optimales.

La machine frigorifique à absorption puise son énergie dans l'eau chaude fournie par les moteurs et produit alors l'eau froide qui va capter la chaleur du biogaz. Il faut donc évacuer les calories emmagasinées au sein de la machine. Cette action est réalisée par l'aéroréfrigérant. Tout ce processus

doit être régulé automatiquement pour atteindre en permanence et à chaque étape les niveaux de température et d'humidité adéquats.

4.4 Concrétisation.

Ce travail constituait une première approche plus ou moins pratique du traitement dans le sens où l'objectif était de dimensionner chaque équipement afin de procéder à une analyse financière la plus cohérente possible. Cette analyse financière a abouti à des résultats très convaincants puisque le temps de retour d'investissements d'une installation de taille moyenne était alors de moins d'un an. Ces conclusions ont donc fortement motivé Verdesis à proposer immédiatement au gérant du Centre d'Enfouissement Technique de Braine-le-Château, une telle installation. Malheureusement, le prolongement de l'étude a relevé des coûts supplémentaires et une simplification du traitement par machines frigorifiques classiques. Ces événements engendrent une différence d'investissements non négligeable et donc un temps de retour d'investissements plus long (2,5 ans). Etant donné que l'intégration de la machine à absorption complique le processus de traitement, il existe un risque technique qui freine les investisseurs. Le projet pilote est donc actuellement abandonné mais de nouveaux clients seront prospectés...

5. Conclusions

Il serait utopique de penser que la production d'électricité en Belgique pourra à court et moyen terme être remplacée par des installations « vertes », fonctionnant grâce aux énergies renouvelables (biogaz, éolien, solaire,...). Cependant, personne ne peut nier, à l'heure actuelle, qu'il est indispensable de freiner la croissance de l'effet de serre. C'est donc par l'accumulation de « petits » projets (à l'échelle de la Belgique) que nous arriverons à respecter nos engagements en terme d'émissions de gaz polluants. Pour ce faire, la Région wallonne a mis en place le système de certificats verts qui encouragent la réalisation de projets engendrant des coûts financiers et écologiques intéressants.

Il est toujours décevant de voir qu'un projet, pour lequel on a tant travaillé est reporté. Néanmoins, ce travail a permis d'aborder, sous toutes les coutures, l'étude d'une installation complète de traitement du biogaz et d'acquérir ainsi une expérience valable. Le projet étudié se concrétise avec

une solution un peu différente. La valorisation du biogaz est un concept relativement nouveau, et les projets innovants ne manquent pas dans ce domaine.

6. Références bibliographiques

Livres :

- [1] GHIA, Victor V., *Récupérateurs et régénérateurs de chaleur*, édition Eyrolles
- [2] HOUBERECHTS, André, *La thermodynamique technique*, Belgique, Vander, 1996

Sites Internet :

<http://www.ciele.org/intro.htm>
http://mrw.wallonie.be/cgi/dgrne/owd/liste_cet.idc
<http://www.cwape.be>
<http://broad.com>
http://www.bepenvironnement.be/outils_infrastructure2.htm
<http://neveu.pierre.free.fr>