

Production de biogaz à partir des déjections bovines en milieu aride: cas du M'Zab (Algérie)

N. Douag-Tirichine ^{1*}, A. Benkhelifa ^{1†} et K. Bousdira ^{2‡}

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16340, Algiers, Algeria

² Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
47133, Ghardaïa, Algeria

(reçu le 12 Février 2014 – accepté le 30 Septembre 2014)

Résumé - *L'objectif de ce travail expérimental est de valoriser les déchets issus de l'élevage bovin, en utilisant les bouses de vaches comme substrat pour la production de biogaz qui peut être directement exploitable pour un usage domestique dans une région enclavée et aride de l'Algérie le M'Zab. Pour cela, nous avons utilisé un système constitué d'une enceinte fermée de 800 litres: c'est le digesteur, une cloche gazométrique de 600 litres pour le stockage du biogaz produit, et un chauffe-eau électrique de 75 litres pour le chauffage du digesteur. Les paramètres de la digestion anaérobie ont été suivis régulièrement. Le contrôle de la température est assuré par un thermostat mécanique et l'ajustement du pH est effectué par l'addition de l'eau de chaux afin de maintenir les valeurs du pH proches de la neutralité 7. Pour ce qui est de l'isolation thermique, le digesteur est recouvert avec de la laine de verre afin de maintenir une température stable et diminuer les écarts de température entre le jour et la nuit. L'épuration est faite par passage du biogaz à travers de la chaux, et le dosage du méthane est effectué par une méthode volumétrique. L'apparition du méthane dans le biogaz a été observée au bout du 5^{ème} jour de fermentation avec une quantité de 40-45 %. Et le maximum a été atteint au 33^{ème} jour de la méthanisation avec 89 % de CH₄ dans le biogaz.*

Abstract - *The objective of this experimental work is to make waste from cattle on production, by using cow dung as a substrate for the production of biogas that can be used directly for home use in a remote region of Algeria, the M'Zab. For this, we used a system consisting of an enclosure of 800 liters: the digester, a bell gasometric 600 liters biogas storage product, and an electric water heater 75 liters for heating digester. The parameters of anaerobic digestion were monitored regularly. The temperature control is provided by a mechanical thermostat and the pH adjustment is performed by adding lime water in order to maintain pH values near neutrality 7. Regarding insulation heat the digester is covered with glass wool to maintain a stable and decrease the temperature differences between day and night temperatures. Purification is done by passing the biogas through lime, and determination of methane is carried out by a volumetric method. The appearance of methane in the biogas was observed after the 5th day of fermentation with a quantity of 40-45%. And the maximum was reached on the 33rd day of the biogas with 89% CH₄ in biogas.*

Mots clés: Biométhanisation - Déjections bovines - Digestion anaérobie - Température mésophile - Contrôle du pH - Régulation thermique - Épuration du biogaz.

* n.tirichine@cderr.dz

† aehbenkhelifa@uraer.dz

‡ khalida_bousdira@uraer.dz

1. INTRODUCTION

En Algérie, malgré les richesses en hydrocarbures l'approvisionnement en combustible reste l'un des problèmes majeurs des régions enclavées et plus particulièrement au Sud. Pour répondre à ces besoins en énergie, la prospection et le développement de nouvelles sources énergétiques, plus précisément le biogaz ont été entrepris à partir de la biomasse.

Cette énergie renouvelable peu coûteuse et non polluante peut être utilisée pour compléter l'énergie fossile non renouvelable. De plus, le biogaz connu depuis longtemps, mais ne faisant pas partie de nos traditions socioculturelles et économiques, représentera certainement la meilleure solution pour la préservation de l'environnement.

Plusieurs travaux de recherche ont été menés sur la production de biogaz à partir des déjections bovines seules [3, 9, 10, 18] ou en co-digestion [14, 19].

Les projets de recherches concernant la production de biogaz réalisés jusqu'à présent en Algérie sont localisés exclusivement au nord du pays, vu que l'activité d'élevage bovin est presque totalement concentrée dans cette région, et ceci, pour une raison évidente: le climat propice. Cependant, ces dernières années les régions du sud ont connu une expansion accrue de l'élevage bovin notamment la vallée du M'Zab dans la région de Ghardaïa. L'élevage bovin dans cette région se pratique sous forme confinée vu les spécificités climatiques de la région classée comme zone aride, ce qui constitue du point de vue valorisation de la biomasse un atout.

Ce travail de recherche vise à court terme la maîtrise du processus de biométhanisation, et à long terme l'élaboration d'un processus optimisé pour la production de biométhane dans un milieu aride.

L'objectif de ce travail expérimental est de valoriser les déchets issus de l'élevage bovin en utilisant les bouses de vaches comme substrat pour la production de biométhane et d'utiliser le digestat en fin de méthanisation comme engrais agricole.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de deux principales cuves: La cuve de digestion appelée 'Digesteur', d'une capacité de 800 litres, réservée pour la digestion anaérobie du substrat organique. Elle est constituée de deux parties, la partie inférieure contenant le substrat, et la partie supérieure renfermant le biogaz.

Le 'Gazomètre' à cloche utilisé pour le stockage du biogaz produit. Il se compose d'un bâti extérieur formé par une cuve à fond plat à l'intérieur de laquelle coulisse, grâce à un joint hydraulique, une cuve à dôme, ouverte sur sa base pour le piégeage du biogaz, Fig. 1.

2.2 Paramètres de la fermentation méthanogène

Le bon déroulement de la fermentation méthanogène impose un suivi régulier des différents paramètres de la digestion anaérobie:

2.2.1 La température

L'intensité de l'activité des microorganismes, dont dépend la production du méthane est fonction de la température du milieu,

- Négligeable à 0 °C.
- Elle devient exploitable dès 15 °C pour augmenter à partir de 20 °C.
- Elle est maximale de 37 °C à 40 °C.

D'où l'intérêt de stabiliser la température du digesteur entre 37 et 40 °C, (fonctionnement en mésophile).

La fermentation anaérobie n'étant que faiblement exothermique, les conditions nécessaires au développement des bactéries mésophiles ou thermophiles, doivent être créées artificiellement par un apport de chauffage externe [5, 7, 13, 15].

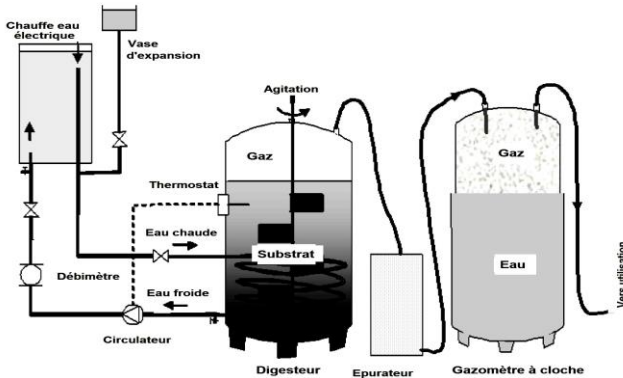


Fig. 1: Digesteur de méthanisation parfaitement agité

2.2.2 L'anaérobiose

C'est une condition impérative au développement de la flore méthanogène, d'où l'intérêt de vérifier l'étanchéité du digesteur [5, 7, 13, 15].

2.2.3 L'isolation thermique

Une bonne isolation du digesteur est impérative (en général 10 à 20 cm d'isolant thermique recouvert par une protection ou par un bardage) [5, 7]. Le digesteur expérimental a été recouvert de 10 cm de laine de verre enveloppée par film plastique.

2.2.4 La dilution

Le taux de dilution est important à déterminer, car il influera sur le temps de rétention de la matière organique, sur la taille du digesteur et la quantité de chauffage nécessaire. En général, le pourcentage des matières organiques préconisé est de 5 à 15%, ce qui revient à diluer la plupart des déjections dans leur poids d'eau, pour avoir une consistance 'crémeuse' [5].

Lorsque le fumier est dilué avec de l'eau, la teneur en matière sèche maximale atteinte par le substrat ne dépasse pas 8 pour 100 de matière sèche [7].

Le taux de dilution des matières organiques intervient également dans la rapidité de la digestion. Sachant qu'une consistance plus épaisse ralentit la digestion.

2.2.5 Le pH

Le pH optimal pour la méthanisation se situe autour de 7; Si le pouvoir tampon du milieu en fermentation est insuffisant, il peut se produire une acidification par accumulation d'acides gras volatils. Cette acidification peut bloquer la production de gaz [7]. On peut ajouter de la chaux, quand le pH tombe entre 6.6 et 6.5.

Le pH doit donc être mesuré régulièrement pour empêcher le blocage de la fermentation, quand le pH baisse en dessous de 6.7.

2.2.6 L'agitation

L'agitation permet:

- d'homogénéiser les conditions du milieu;
- prévenir contre l'acidification complète du milieu;
- maîtriser le transfert de matières;
- éviter la formation non contrôlée des volumes morts et courts-circuits à l'intérieur du réacteur;
- permet une multiplication des contacts entre les substrats à digérer et la flore fixée;
- évite les sédimentations incontrôlées responsables de la diminution du volume utile des réacteurs [5-7].

2.2.7 L'épuration

Le biogaz est un mélange corrosif et certaines utilisations nécessitent son épuration. La technique d'épuration que nous avons utilisée est l'épuration par passage du biogaz à travers la chaux, en vue d'une déshydratation et d'une élimination du CO₂ [1, 16].

2.3 Méthode de production

La production de biogaz a été obtenue en fermentant 300 kg de bouses fraîches, diluées à raison de 100 %. La bouse de vaches utilisée contient 19 % de matière sèche.

2.3.1 Le chauffage du digesteur

Le système de chauffage de l'installation est constitué principalement d'un chauffe-eau électrique pour l'eau chaude, d'un échangeur de chaleur de type serpentin immergé à l'intérieur du digesteur et d'un circulateur pour assurer la circulation de l'eau chaude dans le circuit de chauffage.

2.3.2 La régulation thermique

Le contrôle de la température de fermentation dans le digesteur est assuré par un thermostat mécanique commandant le circulateur, ainsi ce dernier est arrêté ou mis en marche selon que la température dans le digesteur est supérieure ou inférieure à la température de consigne choisie que nous avons fixée à 40 °C, température caractérisant une fermentation mésophile.

2.3.3 L'analyse du biogaz

Nous avons mis au point un mode opératoire pour un dosage quantitatif et qualitatif du méthane, principal gaz combustible du biogaz. Ce mode opératoire se déroule en deux étapes:

-Analyse quantitative (dosage du CH₄ par absorption du CO₂): La quantité de gaz produit (susceptible d'être du méthane) est déterminée par passage du biogaz à travers une solution de NaOH forte pour l'absorption du CO₂. Cette étape nous permet déjà de déterminer la teneur en méthane probable de notre biogaz produit [1, 3,16].

-Analyse qualitative: Cette analyse a pour but de vérifier la nature du gaz récupéré lors de l'analyse quantitative en effectuant un essai de combustion de l'échantillon. Si cet échantillon brûle, c'est que le gaz obtenu est bien évidemment de méthane.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Evolution de la température au cours de la production

Les modifications introduites sur l'installation et notamment l'isolation thermique du digesteur et son système de régulation de température se sont avérés très performants. En effet, nous avons constaté que les variations de la température de digestion se sont maintenues dans la gamme de température propre à une fermentation mésophile (35 – 40 °C), Fig. 2.

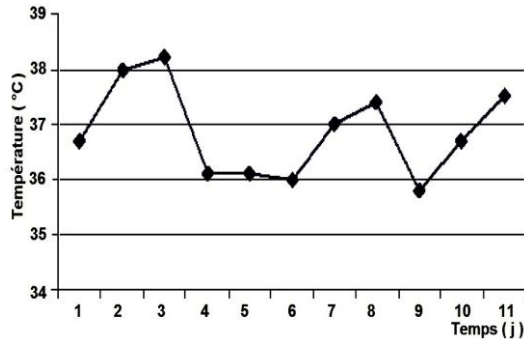


Fig. 2: Evolution de la température durant la production du biogaz

3.2 Evolution du pH au cours de la production

Quatre phases dans l'évolution des valeurs du pH sont observées au cours de la production du biogaz:

- 1^{ère} phase: durant les 06 premiers jours de fermentation, les valeurs du pH varient entre 6.40 et 6.50, car notre substrat est de nature acide (bouse de vache) Fig. 3.
- 2^{ème} phase: acidification du substrat [5, 7, 9, 18]. Elle est observée entre le 6^{ème} jour et le 13^{ème} jour avec des valeurs passant de 6.73 à 6.65, Fig. 3.
- 3^{ème} phase: alcalinisation du substrat [5, 7, 9, 18]. C'est la période d'évolution du pH la plus lente, elle est comprise entre le 13^{ème} jour et le 23^{ème} jour de production. Les valeurs du pH passent de 6.58 à 7.25, Fig. 3.

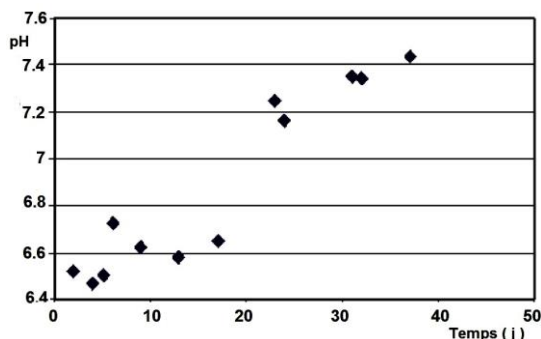


Fig. 3: Evolution du pH durant la production du biogaz

Au bout du 24^{ème} jour, nous avons observé une tendance vers l'acidification, le pH passant de 7.25 à 7.16. Ceci représentant un risque d'arrêt de la fermentation par

acidification complète du milieu, on devait donc ajouter de la chaux vive au digestat afin de stabiliser les valeurs du pH, Fig. 3.

- 4^{ème} phase: stabilisation du pH du substrat [5, 7, 9, 18]. L'addition de la chaux vive a provoqué un retour vers des valeurs de pH variant entre 7.35 et 7.44, Fig. 3.

3.3 Evolution du méthane dans le biogaz

La production de méthane est déterminée après épuration du biogaz produit dans le digesteur. Au cours de la digestion anaérobie, il y a apparition de méthane dans le biogaz au bout du 5^{ème} jour en quantité moyenne: 40 - 45 %.

Cette production augmente proportionnellement au temps de séjour du substrat dans le digesteur pour se stabiliser après 30 jours de production. Le maximum de production du méthane est représenté par le pic du 33^{ème} jour, avec 89 % de CH₄.

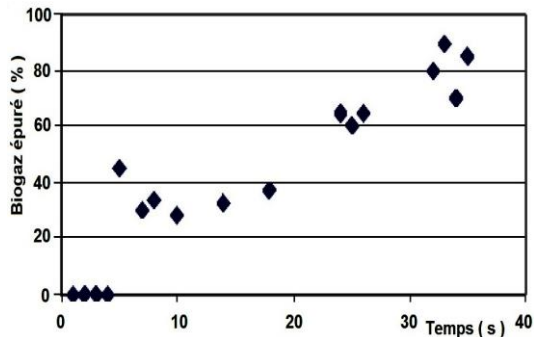


Fig. 4: Evolution du taux de méthane

4. CONCLUSION

Ce travail expérimental mené sur terrain, à la ferme pilote d'El-Atteuf dans la région du M'Zab, nous a permis d'appliquer les notions théoriques concernant la production du biogaz et d'étudier les principaux paramètres influant sur le processus de biométhanisation tels la température et le pH.

Durant le déroulement de ce travail, les grands écarts de température entre le jour et la nuit ont constitué un véritable problème que nous avons pu traiter par une régulation thermique efficace. De plus, l'acidification du milieu a constitué une autre menace pour notre travail. Nous avons pu y remédier par un contrôle régulier du pH du milieu et l'ajout de l'eau de chaux au moment opportun.

Les résultats obtenus montrent la coïncidence des notions théoriques avec les observations expérimentales et indiquent que le but principal que nous nous sommes fixés pour ce travail qui est la maîtrise du processus de biométhanisation est atteint.

En perspectives, en vue de minimiser les coûts d'investissement de l'installation, il est souhaitable d'utiliser des sources d'énergie renouvelables en remplacement à l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'installation. Ainsi, le cumulus électrique utilisé pour le chauffage du digesteur pourrait être substitué par un chauffe-eau solaire et des panneaux photovoltaïques pourraient être utilisés pour alimenter l'installation en énergie électrique.

REFERENCES

- [1] A. Baouchi, 'Contribution à la Purification du Biogaz issu de la Biomasse (Cas des Déjections Bovines)', Mémoire d'Ingénieur ENP, 2003.
- [2] A. Demeyer, F. Jacob, M. Jay, G. Menguy and J. Perrier, 'La Conversion Bioénergétique du Rayonnement Solaire et les Biotechnologies', Ed. Technique et Documentation, Lavoisier, 213 p., 1982.
- [3] A. Ounnar, L. Benhabyles and S. Igoud, '*Energetic Valorization of Biomethane Produced from Cow-Dung*', Procedia Engineering Vol. 33, pp. 330 - 334, 2012.
- [4] APHA, '*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*', American Public Health Association, 18th Edition, Washington, 1992.
- [5] B. Lagrange, 'Biométhane - Principes - Techniques – Utilisations', Ed. Edisud, 246 p., 1979.
- [6] C. Bougrier, '*Optimisation du Procédé de Méthanisation par Mise en Place d'un Co-Traitement Physico-Chimique*', Thèse de Doctorat, INSA Toulouse, 276 p., 2005.
- [7] B. de la Farge, 'Le Biogaz: Procédés de Fermentation Méthanique', Ed. Masson, Toulouse, 1995.
- [8] Ineris, '*Mise au Point d'un Réacteur Pilote de Méthanisation de 5 Litres*', Rapport d'Etude, N°DRA-09-104105-13976A, 78 p., 2010.
- [9] I. Tou, S. Igoud et A. Touzi, '*Production de Biométhane à partir des Déjections Animales*', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial: Biomasse, Production et Valorisation, pp. 103 - 108, 2001.
- [10] L. Dejiang, G. Guili, Z. Yanmei, L. Yan and Y. Zhiqun, '*The Comparison Experiment of Biogas Fermentation with Pig Dung, Cow-Dung, Sheep Dung*', J. Tarim Univ. Vol. 17, N°2, pp. 3 - 11, 2005.
- [11] Rapport Scientifique, '*Le Développement du Biogaz en Afrique*', Séminaire-Atelier de travail, Bujumbura, Burundi, 17-28 Juin, 1991.
- [12] M. Monzambe, '*La Problématique de la Biométhanisation en République Démocratique du Congo*, Kinshasa : Académie Nationale des Sciences du Développement, Bulletin de l'ANSD, Vol. 3, pp. 7 - 34, 2002.
- [13] N. Mansouri, '*Contribution à la Valorisation Energétique de la Biomasse*', Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 2003.
- [14] P. Tchouate Héteu et J. Martin, '*Conversion Biochimique de la Biomasse: Aspects Technologiques et Environnementaux*', Université Catholique de Louvain, 2003.
- [15] R. Ait Aneur, '*Contribution à la Caractérisation Biochimique de la Fermentation Méthanique des Bouses de Vaches*', Mémoire d'Ingénieur ENP, 2003.
- [16] R. Merrill, '*Energy Primer: Solar, Water, Wind, and Biofuels*', Ed. Updated and Revised, 265 p, 1978.
- [17] R. Moletta, 'La Méthanisation', Edition Tech & Doc, Lavoisier, Paris, 532 p., 2009

- [18] S. Igoud, I. Tou, S. Kehal, N. Mansouri et A. Touzi, '*Première Approche de la Caractérisation du Biogaz Produit à Partir des Déjections Bovines*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 5, pp. 123 - 128, 2002.
- [19] S. Zhou, Y. Zhang and Y. Dong, '*Pretreatment for Biogas Production by Anaerobic Fermentation of Mixed Corn Stover and Cow-Dung*', Energy, Vol. 46, N°5, pp. 644 - 648, 2012.