

Valorisation des déchets organiques ménagers et les déjections bovines par la méthanisation

Amina Saïdi-Boulahia ^{*}, Sabah Abada [†] et Meryem Saber [‡]

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie.

(reçu le 20 Décembre 2018 - accepté le 25 Décembre 2018)

Abstract - *Anaerobic digestion of organic fraction of household waste is one of treatment and recovery methods of such urban waste. Actually, this valorization offers the possibility of combining the treatment of such wastes and the production of renewable energy which is biogas. In our study, we have contributed to the study of biogas production from co-digestion of the organic fraction of household waste with cattle excreta. The two substrates were introduced into the digester after a pre-mixture in a proportion of 5 % household waste and 10 % of cow dung. Fermentation of this experiment was carried out in batch mode (intermittent feeding) while maintaining anaerobic conditions and mesophilic temperature range. We performed the measurement of stability parameters such as pH, redox potential and volatile fatty acids (VFA). The values of these parameters indicate a relatively good behavior of digestion process that allowed the production of a quantity estimated at 870 ml of biogas during an operation time of 45 days and for an amount of 1000 grams of organic waste.*

Résumé - *La digestion anaérobie de la fraction organique des déchets ménagers est l'une des méthodes de traitement et de valorisation de ces déchets. En effet cette valorisation, offre la possibilité de combiner le traitement de ces déchets et la production d'une énergie renouvelable qui est le biogaz. Dans notre étude, nous avons contribué à l'étude de la production de biogaz à partir de la co-digestion de la fraction organique des déchets ménagers avec les déjections bovines. Les deux substrats ont été introduits dans le digesteur après un pré-mélange à raison de 5 % de déchets ménagers et 10 % de bouse de vache. La fermentation de cette expérimentation a été menée en mode batch (alimentation discontinue) tout en assurant l'anaérobiose avec maintien de la température dans la plage mésophile. Nous avons procédé à la mesure des paramètres de stabilité, tels que le pH, le potentiel d'oxydo-réduction et les acides gras volatils (AGV). Les valeurs de ces paramètres indiquent le bon déroulement du processus de digestion qui a permis la production d'une quantité évaluée à 870 ml de biogaz durant un temps d'opération de 45 jours et pour une masse de 1000 grammes de déchets.*

Keywords: Anaerobic Digestion - Household waste - Cow dung - Biogas - Renewable energy.

1. INTRODUCTION

Les déchets ménagers représentent l'une des pressions les plus fortes sur l'environnement, dont la quantité ne cesse d'augmenter [1]. Ces déchets sont riches en matière organique, peuvent être recyclés et transformés par des procédés biotechnologiques qui constituent une solution de choix pour remédier aux problèmes de pollution.

L'une des technologies efficaces permettant le traitement de la fraction organique de ces déchets est la digestion anaérobie (méthanisation); qui consiste en une dégradation en l'absence d'oxygène de la matière organique, cette dégradation est assurée par un

* a.saidi@cder.dz

† s.abada@cder.dz

‡ m.saber@cder.dz

consortium de micro organismes pour former un mélange de méthane 'CH₄' et de dioxyde de carbone 'CO₂' appelé biogaz.

Le présent travail consiste en l'étude d'une production de biogaz par une co-digestion anaérobie des déchets de cuisine et de la bouse de vache.

2. MATERIELS & METHODES

Ce travail a été réalisé au Laboratoire Bioénergie & Environnement du Centre de Développement des Energies Renouvelables (Algérie), l'étude a duré 45 jours.

2.1 Substrat (matière organique)

Dans cette étude expérimentale, deux types de substrats d'alimentation du fermenteur ont été utilisés et sont les suivants:

-*Déchets ménagers* (déchets de cuisine), composés essentiellement des épluchures de légumes et de fruits (carottes, pomme de terre, courgette et pommes), ces déchets ont été broyés afin d'assurer une homogénéisation du substrat (traitement physique).

-*Bouse de vache fraîche*: considérée dans cette étude comme un co-substrat. Elle est utilisée à l'état frais pour l'ensemencement du milieu (inoculum) parce qu'elle est riche en bactéries méthanogènes responsables de la production de biogaz.

Ces deux substrats sont introduits dans le fermenteur après un pré-mélange à raison de 5 % de déchets de cuisine et 10 % de bouse de vache. La fermentation au cours de cette expérimentation a été menée en mode batch avec un temps de séjours de 45 jours.

2.2 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé dans cette étude et qui est constitué essentiellement de:

-Un bioréacteur en verre d'une capacité de 1.3 litres. Il comporte une double paroi pour permettre le chauffage à l'aide d'un bain thermostaté.

-Une plaque d'agitation.

-Un gazomètre à cloche qui sert à quantifier et stocker le biogaz produit.

-Une poche graduée en plastique: permettant de stocker le biogaz produit pour une éventuelle analyse.

Le fermenteur utilisé présente deux sorties, une première permettant de réaliser des prélèvements d'échantillon et une deuxième permettant d'évacuer le biogaz qui s'y forme, et pouvant être reliée au gazomètre, dispositif de mesure et de stockage du biogaz produit.

Le bioréacteur est hermétiquement fermé pour assurer une anaérobiose stricte et la température a été maintenue dans la plage mésophile (35° C) à l'aide d'un bain thermostaté.

Tableau 1: Caractéristiques initiales des substrats

	Déchets de cuisine	Bouse de vache	Mélange
pH	4,74	6,84	6,56
Matière sèche (%)	6,23	16,94	8,43
Humidité(%)	93,77	83,06	91,57
Potentiel oxido-réduction (mV)	105,7	-3,9	10,9



Fig. 1: Dispositif expérimental utilisé

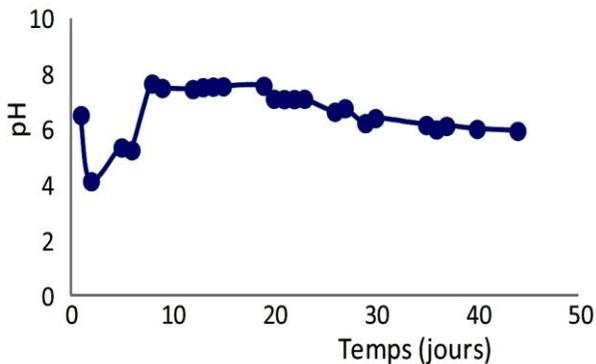
3. RESULTATS & DISCUSSION

Durant cette étude, nous avons suivi l'évolution de quelques paramètres tel que le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, les AGV, le TAC ainsi que le volume de biogaz produit. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes.

3.1 Evolution du pH

Le pH est un paramètre essentiel car l'écosystème de la digestion anaérobie, en particulier les organismes méthanogènes, est sensible aux variations du pH [2], donc on admet que le pH est le premier indicateur du mauvais fonctionnement éventuel d'un digesteur. Si le pH est au-dessous de 6.5, l'ajout de la chaux ou du bicarbonate de sodium corrige cette anomalie [3]. Il s'agit d'un ajustement du pH. Le pH optimum de la méthanisation se situe autour de la neutralité, entre 6.5 et 8.5 [2].

L'évolution du pH en fonction du temps de notre expérimentation est représentée dans la figure suivante.



A travers la figure 2, on remarque qu'il y a une diminution du pH dans le digesteur de la valeur 6.56 à la valeur 4.17 durant les deux premiers jours. Cette chute s'explique par la dégradation de la matière organique et la formation d'acides organiques et d'acides gras volatils au cours de la phase d'acidogénèse [4].

Après cette chute, l'augmentation du pH pendant les huit premiers jours, est due à l'ajustement du pH par l'ajout de bicarbonate de sodium au deuxième et sixième jour. A partir du dixième jour, nous avons remarqué un auto-ajustement du pH, cela est dû à l'épuisement des acides formés dans la première partie par les bactéries acétogènes,

cette phase correspond à la phase d'alcalinisation et de stabilisation du pH; ces mêmes constatations ont été rapportées dans de nombreux travaux [5, 6].

Nous remarquons aussi, qu'après l'auto-ajustement du pH, sa valeur s'est stabilisé dans les alentours de 7 jusqu'à la fin du processus, cette valeur du pH est adéquate pour le développement des méthanogènes [7].

3.2 Variation du potentiel d'oxydo-réduction

La variation du potentiel d'oxydo-réduction en fonction du temps est représentée dans la figure 3.

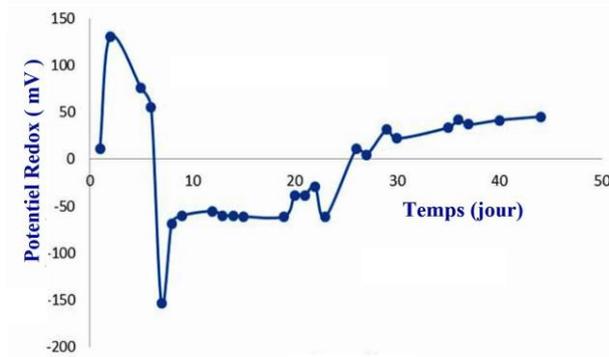


Fig. 3: Variation du potentiel d'oxydo-réduction en fonction du temps

La figure 3 présente les valeurs des potentiels redox mesurés au cours de la digestion anaérobie. Ces valeurs étaient comprises entre -153.5 mV et - 61.5 mV après la stabilisation de la valeur du pH aux alentours de 7 où la production du biogaz a eu lieu.

3.3 Evolution du titre alcalimétrique complet

L'alcalinité mesure le pouvoir tampon dans le digesteur et donc sa capacité à maintenir un pH stable. C'est un autre paramètre de contrôle de la stabilité de la digestion anaérobie, sa diminution se traduit par une production conséquente d'acide qui conduit à un déséquilibre entre la phase acidogène et la phase méthanogène [8].

Pour assurer un fonctionnement optimal de la digestion il est recommandé que l'alcalinité soit comprise entre 1000 et 3000 mg/l de CaCO_3 [9]. Cependant sous ce niveau une action corrective doit être engagée. La figure 4 montre l'évolution de TAC en fonction du temps.

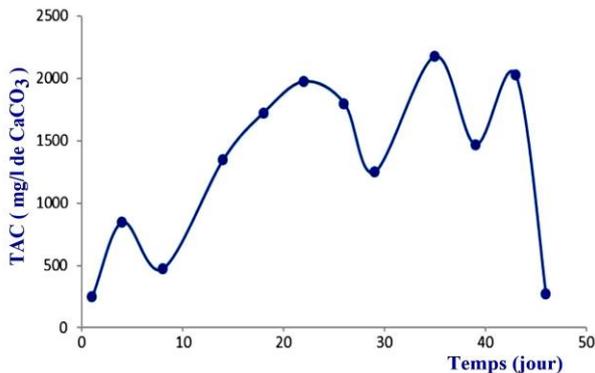


Fig. 4: Evolution du TAC dans le digesteur en fonction du temps

Les résultats représentés sur la figure 4, montrent que le milieu réactionnel possède un taux d'alcalinité qui varie de 250 à 2175 mg/l, ce qui lui permet d'assurer un bon fonctionnement de la digestion [10].

3.4 Evolution des Acides Gras Volatils (AGV)

La concentration en acides gras volatils (AGV) est un paramètre caractéristique des premières phases de la méthanisation et le suivi de son évolution permet d'estimer l'état de dégradation du substrat. La variation de leur concentration dans le milieu affecte directement l'alcalinité et la valeur du pH du milieu. La figure 5 montre l'évolution des AGV en fonction du temps dans notre digesteur.

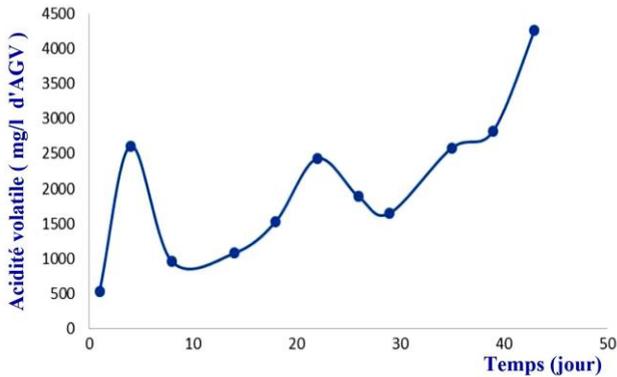


Fig. 5: Evolution des AGV en fonction du temps dans le digesteur

3.5 Production de biogaz

-Production journalière

Durant un temps de séjour de 45 jours, la quantité de biogaz produite est évaluée à 870 millilitres. La cinétique de production journalière est représentée sur la figure 6.

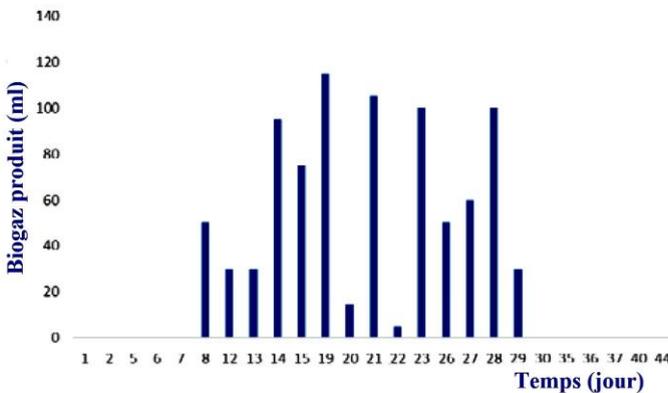


Fig. 6: Cinétique de production journalière de biogaz

La production de biogaz a été mise en évidence en mesurant le volume de gaz produit. D'après la figure 6, nous constatons que la phase méthanogène se déclenche le 8^{ème} jour dès que la valeur de pH est aux alentours de 7. Cela nous permet de constater que dans un milieu réactionnel à pH voisin de 7, le développement des méthanogènes est favorisé et par conséquent le commencement de la phase méthanogène.

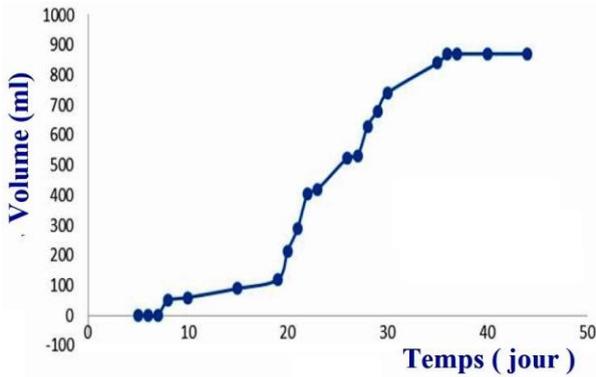


Fig. 7: Cinétique de production cumulée de biogaz

La cinétique de production cumulée se divise en trois principales phases.

1. **Phase de latence:** Cette phase est observée durant les huit premiers jours et elle se caractérise par une faible production de biogaz et durant laquelle se déroulent l'hydrolyse, l'acidogénèse et l'acétogénèse. Cette phase précède l'étape de méthanogénèse qui est responsable de la production de biogaz.

2. **Phase exponentielle:** Cette phase est observée à partir du huitième jour et elle dure jusqu'au vingt-neuvième jour. Les conditions de production sont atteintes, ce qui permet de comptabiliser les quantités de biogaz les plus importantes avec une production journalière maximale de 115 ml qui a été observée le dix-neuvième jour.

3. **Phase de palier:** c'est la phase où la production du biogaz est devenue lente puis s'est arrêtée, cette phase a été remarquable à partir du vingt-neuvième jour de notre expérimentation, cela est dû probablement à l'épuisement du substrat de digestion constituant la source nutritive et énergétique de la flore microbologique et particulièrement la flore méthanogène qui est directement responsable de la production du biogaz.

La quantité de biogaz produite au cours de cette expérimentation était de 870 ml.

4. CONCLUSION

Dans le contexte actuel de l'augmentation des quantités de déchets générés par la population, la digestion anaérobie et la valorisation du biogaz ainsi produit, apparaissent comme des solutions d'avenir pour le traitement de ces déchets dans un esprit de développement durable.

A partir du dispositif expérimental de digestion réalisé, la fermentation mésophile (35° C) menée en batch de notre substrat a permis de produire 870 ml de biogaz durant un temps de séjour de 45 jours pour une masse de 1000 gr de déchets.

La cinétique de production du biogaz dans notre étude suit intimement les phases rapportées dans la littérature. En effet, la variation du pH liée à la libération des acides gras volatils et le suivi de l'évolution de ces derniers nous ont permis de déterminer la durée de chaque phase: l'hydrolyse-acidogénèse a duré 6 jours, l'acétogénèse a duré 2 jours et la méthanisation qui s'est déclenchée à partir du huitième jour.

Cette étude, a permis de démontrer clairement la possibilité de produire une énergie à partir des ordures ménagères et de là on peut dire que la digestion anaérobie peut transformer un problème de déchets en une source de richesse; cette technologie devient

essentielle dans le processus de réduction des déchets et la production de biogaz, source d'énergie renouvelable.

Dans le but de compléter notre étude, il serait souhaitable d'étudier la digestion anaérobie du même substrat avec un système continu afin de pouvoir comparer les résultats surtout en termes de quantité de biogaz obtenu en fonction du temps de séjour.

REFERENCES

- [1] M.E. Afilal, N. Belkhadir, H. Daoudi, et O. Elasri, '*Fermentation méthanique des différents substrats organiques*', Journal of Materials and Environment Science, Vol. 4, N°1, pp. 11 - 16, 2013.
- [2] R. Molleta, '*La méthanisation*', Editions Tec & Doc., 552 p., 2011.
- [3] Y. M'Sadak, A. Ben M'Barek, et R.I. Zoghlami, '*Diagnostic environnemental et énergétique des digesteurs anaérobies expérimentaux des fientes avicoles*', Nature et Technologie, Vol. 8, pp. 19 - 26, 2013.
- [4] S. Kalloum, M. Khelafi, A. Djaafri, A. Tahri, et A. Touzi, '*Etude de l'influence du pH sur la production du biogaz à partir des déchets ménagers*', Revue des Energies Renouvelables Vol. 10, N°4, pp. 539 - 543, 2007.
- [5] M. Djaafri, M. Khelifi, S. Kalloum, A. Tahri, K. Kaidi, et A. Touzi, '*Effet de l'ensemencement sur la digestion anaérobie des déchets ménagers de la ville d'Adrar*', Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°3 pp. 369 - 374, 2009.
- [6] S. Kalloum, M. Khelafi, A. Djaafri, A. Tahri, et A. Touzi, '*Etude de l'influence du pH sur la production du biogaz à partir des déchets ménagers*', Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°4 539-543, 2007.
- [7] L. Neves, R. Oliveira, et M.M. Alves, '*Influence of inoculum activity on the biomethanization of a kitchen waste under different waste/inoculum ratios*', Process Biochemistry Vol. 39, pp. 2019 - 2024, 2004.
- [8] K. Derbal, '*Digestion anaérobie des déchets solides mélangés avec les boues de station d'épuration*'. Thèse de Doctorat en Génie de l'Environnement, Université Mentouri Constantine, 148 p., 2009.
- [9] R. Moletta, '*Procédés biologiques anaérobies, dont Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires*', Technique et documentation, Editions Lavoisier, Paris, France, 2002.
- [10] R. Raphique, T.G. Poulsen, A-S. Nizami, A. Zaki-ul-Zaman, J.D. Murphy and G. Kiely, '*Effect of Thermal, chemical and thermo-chemical pre-treatment to enhance methane production*', Energy, Vol. 35, N°12, pp. 4556 – 4561, 2010.