

Etude de la bio méthanisation en réacteur discontinu Application aux déchets solides urbains de la ville de Blida

Imene Boutouta ^{1,2}, Benamar Cheknane ¹, Faiza Zermane ¹,
Mohammed Djaafri ² et Khalida Boutemak ²

¹ Laboratoire de Chimie Physique des Interfaces des Matériaux Appliquée à l'Environnement
Faculté de Technologie, Université de Blida1, B.P. 270 Route Soumâa Blida, Algérie

² Unité de Recherche en Energies renouvelables en Milieu Saharien, URERMS
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
01000 Adrar, Algeria

(reçu le 10 Juin 2018 - accepté le 30 Juin 2018)

Résumé - Ce travail porte sur l'étude expérimentale de la digestion anaérobie des déchets ménagers organiques de la wilaya de Blida en condition mésophile (température allant de 35 °C jusqu'à 37 °C). Pour augmenter le rendement de production en biométhane, nous avons effectué un prétraitement du substrat avec un taux de dilution déjà optimisé. Au cours des expérimentations réalisées au niveau du laboratoire, nous avons suivi les différents paramètres qui nous renseignent sur le fonctionnement du digesteur, tels que le pH et le volume de biogaz, ainsi que le taux de la réduction de la pollution organique, tels que la DCO et la DBO₅. Les résultats obtenus montrent globalement qu'il y a une acidification du milieu du à la décomposition de la matière végétale utilisée. D'autre part, les différents résultats révèlent une réduction de la DCO et la DBO₅ avec un pourcentage de 76.33 % et 48 % respectivement, avec l'obtention du biogaz inflammable avec un volume total qui a dépassé les 4000 ml et riche en méthane.

Abstract - This study focuses on the experimental study of the anaerobic digestion of organic household wastes of the wilaya of Blida in mesophilic condition (temperature ranging from 35 to 37 °C). In order to increase the production yield of biogas we conducted a pre treatment of the substrate with an already optimized dilution rate. During the experiments carried out at the laboratory level, we studied the different parameters directly related to the operation of the digester such as the pH and the volume of biogas, as well as the rate of the reduction of organic pollution such as COD and BOD₅. Obtained results show globally that there is an acidification of the environment due to the decomposition of the plant material used. On the other hand, the different results reveal a reduction of the COD and the BOD₅ with a percentage of 76.33 % and 48 % respectively, with the obtaining of the flammable biogas with a volume which exceeded 4000 ml and rich in methane.

Key words: Organic waste - Anaerobic digestion - Digester - Biogas.

1. INTRODUCTION

En Algérie la pollution de l'eau, de l'air et des sols par les déchets municipaux, industriels et agricoles est en nette évolution de jour en jour. En effet, plusieurs décharges sauvages et brutes sans aucun contrôle sont apparues partout dans les villes. Ce phénomène a causé des impacts négatifs sur l'environnement par la création des polluants et constitue des risques majeurs pour la santé de la population, cela pousse les gouvernements et les industries à rechercher des solutions très pratiques permettant un traitement efficace et moins coûteux des déchets.

Pour faire face à ce problème très inquiétant, le procédé de la bio méthanisation est la solution la plus efficace en termes de traitement et de valorisation des déchets organiques et pour une production d'une énergie propre.

Ces dernières années, ce type de valorisation de déchet, a connu un fort regain d'intérêt, notamment dans les pays industrialisés ou le déchet a causé un très grand problème comme l'Europe, l'USA, etc.... Le procédé de la bio méthanisation peut être

classé comme la technologie la plus avantageuse pour le traitement des déchets et il est capable d'apporter une solution adéquate pour les problèmes posés par les effluents organiques. Le principe de base de tel procédé est la réduction de la charge organique polluante qui représente la partie la plus implorante de ces déchets [1, 2].

La bio méthanisation permet aussi de valoriser les différents types de déchets (déchets urbains, boues d'épuration, déchets d'élevages et agricoles et déchets industriels) et de produire de l'énergie renouvelable sous forme de biogaz. C'est pour cette raison qu'elle est présentée comme étant une alternative qui s'intègre dans un cercle vertueux du développement durable.

Dans ce contexte plusieurs travaux ont été focalisés sur la bio méthanisation de plusieurs types de déchets en étudiant les paramètres influençant l'efficacité de tel procédé.

Plusieurs auteurs [3, 4] ont pu montrer que l'augmentation de la température est liée à l'augmentation de la production du méthane. Selon Mottet [5], la digestion anaérobie peut se réaliser sous trois (03) gammes de température, de 15 à 25 °C, une fermentation psychrophile pour des températures allant de 15 à 25°C; une fermentation mésophile pour des températures variant entre 25 et 45 °C; la fermentation est dite thermophile.

De son côté, Rivière [6] a considéré que le pH est l'un des paramètres indicateurs qu'il faut surveiller afin de prévenir un possible dysfonctionnement, car il va conditionner la survie des espèces microbiennes au sein du digesteur.

Le but essentiel de notre travail est de donner une valeur énergétique à la biomasse. Dans notre cas nous avons pris des déchets solides urbains de la ville de Blida comme matière première pour l'étude de la bio méthanisation.

Les essais ont été réalisés dans un réacteur de type discontinu réalisé au laboratoire. Pour déterminer les conditions optimales de production de bio méthane, une étude d'optimisation a été réalisée en examinant les paramètres influençant le procédé.

2. MATERIELS ET METHODES

Dans cette partie de notre travail, nous allons présenter l'ensemble des dispositifs expérimentaux et toutes les méthodes d'analyses utilisées, ainsi que l'origine du substrat que nous avons utilisé pour l'alimentation de digesteur.

2.1 Origine et caractérisation du substrat utilisé

Le substrat utilisé dans cette étude et qui nous a servi à l'alimentation de digesteur pour la production du bio méthane, est constitué des déchets ménagers qui sont principalement composés des déchets de cuisine, tels que les épluchures d'oignon, de pomme de terre, de carotte, de betterave, de salade et d'artichauts. Il est important de noter que ce déchet d'origine agricole est collecté de la déchetterie de Blida.

2.2 Prétraitement du substrat

Dans le but d'optimiser les cinétiques de production du bio méthane, nous avons jugé utile d'homogénéiser le substrat organique par simple découpage en petits morceaux de taille moyenne allant de 3 jusqu'à 5 cm. Le substrat découpé a été séché à une étuve à une température de 35 °C.

2.2.1 Description du digesteur utilisé

Les différents essais ont été réalisés dans un réacteur de type discontinu en verre comme montre la figure 1 pour permettre l'observation à l'œil nu de la décomposition de déchet et la production de bio méthane.

Ce digesteur de capacité maximale de 3 litres, permettant d'assurer l'anaérobie de milieu de culture, a été réalisé complètement au laboratoire. Ce dernier est muni de deux trous, le premier pour le prélèvement des échantillons liquides à l'aide d'une seringue, et l'autre pour assurer l'échappement du gaz pour permettre la mesure du volume de biogaz produit. Le digesteur utilisé est alimenté avec les déchets à une la concentration de l'ordre de 16 g MS.



Fig. 1: Photographie du digesteur utilisé

Lors de la production de bio méthane, le réacteur est maintenu en condition mésophile (température de $35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$) dans un bain marie chauffé et régulé par un thermostat. Afin d'assurer une homogénéisation de substrat à l'intérieur de digesteur, nous avons agité manuellement le réacteur et ce, en le secouant une à deux fois par jour, le pH du milieu est ajusté à 7 en utilisant l'hydroxyde de sodium (NaOH) 2N.

2.3 Méthodes d'analyses

2.3.1 Détermination de la matière sèche (MS)

Pour déterminer la matière sèche du substrat utilisé, une prise d'échantillon de masse connue (M_1), est versée dans une capsule de masse (M) préalablement nettoyée et séchée. Ensuite l'ensemble est placé dans une étuve à température de 105 °C pendant une durée de 24 heures jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La capsule est pesée après refroidissement dans un dessiccateur. Le calcul de ce paramètre est réalisé en utilisant l'équation suivante,

$$MS(\%) = M_1 / M_2 \quad (1)$$

avec, M , masse de la capsule ; M_1 , masse de l'échantillon avant dessiccation ; M_2 , masse de l'échantillon après dessiccation.

2.3.2 Détermination de la teneur en matière organique (MO)

Afin de déterminer la teneur en matière organique (MO), une masse quelconque de l'échantillon après dessiccation, soit (M_1), est introduite dans une capsule ayant une masse (M) préalablement nettoyée et séchée, l'ensemble est placé dans un four à moufle pour une calcination à une température de 550 °C pendant une durée allant de 12 jusqu'à 18 heures.

Après refroidissement la capsule contenant la matière minérale est pesée encore une fois. La masse de la matière organique est obtenue par différence entre la masse de matière sèche et la masse de matière minérale.

Le calcul des MO, s'obtient en se basant sur la relation suivante,

$$MO (\%) = \frac{(M + M_1) - (M + M_2)}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

avec, M , masse de la capsule ; M_1 , masse de l'échantillon après dessiccation ; M_2 , masse de l'échantillon après calcination.

2.3.3 Paramètres suivis

Dans notre cas, et afin de contrôler le processus de digestion anaérobie, nous avons jugé utile de suivre deux groupes de paramètres, à savoir,

1- Paramètres du fonctionnement- Ces paramètres nous renseignent sur le fonctionnement du réacteur, tel que, le pH, et le volume du biogaz.

2- Paramètres d'épuration- Ces paramètres donnent une idée sur le taux d'épuration du substrat étudié. Les paramètres sélectionnés sont la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène (DBO₅).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans cette partie, les différents résultats de caractérisation du substrat, ainsi que la production de biogaz seront présentés.

3.1 Caractérisation du substrat

Dans le **Tableau 1**, sont regroupées les différentes caractéristiques obtenues. Il apparaît clairement que les déchets sont constitués principalement de matière organique avec un pourcentage qui dépasse les 90 %. Ces résultats montrent de façon très clairs que notre substrat est plus approprié pour la digestion anaérobie.

Tableau 1: Caractéristique du substrat utilisé

Paramètre	Taux (%)
Matière sèche (MS)	93.22
Humidité (H)	6.78
Matière organique (MO)	90.60

3.2 Essais de bio méthanisation

Dans cette partie de notre travail, nous nous sommes intéressés au suivi de la production de biogaz en étudiant les conditions opératoires qui peuvent influencer la qualité, ainsi que la quantité de bio méthane produit.

Il est important de signaler que durant la digestion anaérobie, nous avons pu constater un changement de couleur du substrat dans le digesteur vers le noir foncé comme montre la figure 2 avec une odeur indésirable dès la 2^{ème} semaine.

Ces changements constatés ont été accompagnés de la diminution de la DBO₅. Ce qui indique un manque d'oxygène lors de la dégradation de la matière organique et la formation de H₂S lors de la digestion anaérobie.



Fig. 2: Photographie montrant le changement du substrat au cours de la digestion anaérobie

3.2.1 Evolution du pH

Afin d'assurer un bon déroulement de la digestion anaérobie dans le réacteur discontinu, il est important de suivre l'évolution de pH de milieu. Il est connu que la digestion anaérobie se déroule de façon optimale au voisinage de la neutralité $\text{pH} = 7$ avec une valeur optimale entre 6.5 et 7.5 [7].

Dans notre cas, (figure 2), on peut observer que lors de la méthanisation de notre déchet, l'évolution de pH est divisée en deux zones distinctes à savoir,

Première partie

Cette partie est caractérisée dès le premier jour de méthanisation, par une chute rapide de pH ($\text{pH}_{\text{initial}} = 6.5$, $\text{pH}_{\text{final}} = 4.5$), ce qui rend le milieu très acide.

Cette chute peut être expliquée par la décomposition de la matière organique et la production des acides gras volatils (AGV) et leurs accumulations dans le milieu. La quantité du biogaz produit a été estimée à 16 ml (figure 3).

Cette faible production, même en présence d'une importante concentration en acides gras volatils dans le milieu, peut affirmer que la phase méthanogénèse n'a pas encore commencé.

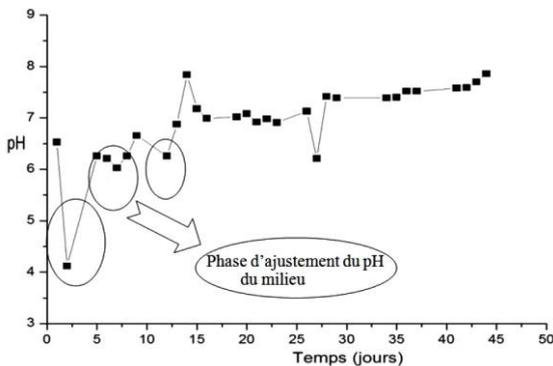


Fig. 3: Evolution du pH en fonction du temps

Deuxième partie

Dans la deuxième partie, on peut remarquer clairement que les valeurs de pH augmentent de façon lente jusqu'au 13^{ème} jour, due à l'ajustement du pH milieu (ajout

de NaOH) à des valeurs de pH pour favoriser le développement et l'activité des bactéries. (pH = 7).

Cette étape est caractérisée par un début de production importante de biogaz en proportions variables, donc c'est la transformation des acides gras volatils en méthane et en gaz carbonique (figure 3).

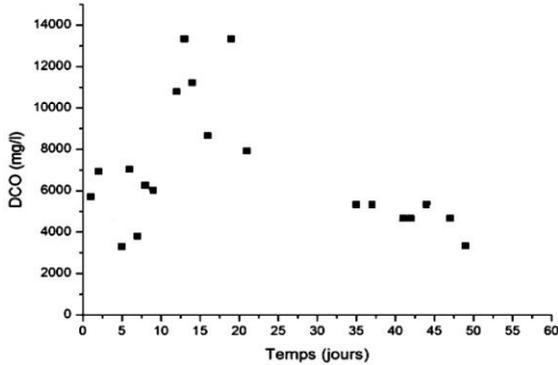


Fig. 4: Variation de la DCO en fonction du temps

Troisième partie

Dans cette partie, à partir du 16^{ème} jour, on peut remarquer qu'il y a une stabilisation des valeurs de pH (entre 7 et 7.86). On peut expliquer cette stabilisation par la stabilité du processus d'une manière générale, c'est-à-dire, qu'il y a simultanément une production des AGV d'une part, et leurs consommations d'autre part.

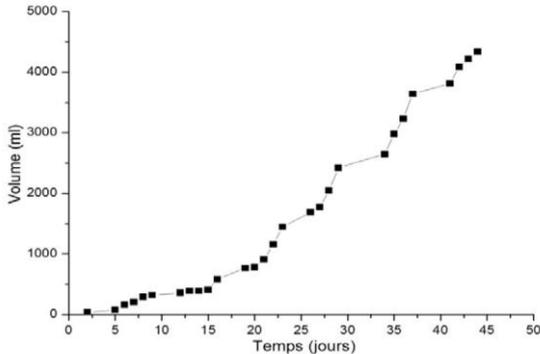


Fig. 5: Cinétique de production cumulée du biogaz

A partir de la figure 4 et après le 42^{ème} jour, on peut noter une très faible production du biogaz. Cette faible production est confirmée par les résultats obtenus relatifs à la DCO et DBO₅ (figure 4 et 6).

Ce phénomène est peut être expliqué par l'épuisement des acides gras volatils dans le milieu indiquant l'épuisement du substrat dans le digesteur ce qui mène à un déséquilibre du milieu de culture

3.2.2 Détermination de différentes phases de la méthanisation

L'évolution des différents paramètres suivis (pH, et volume du biogaz produit), nous a permis de spécifier les trois grandes phases de la méthanisation à savoir , - Hydrolyse-acidogénèse ; acétotogénèse ; Méthanogénèse.

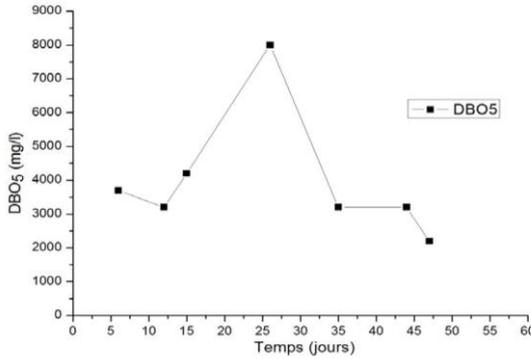


Fig. 6: Variation de la DBO₅ en fonction du temps

Selon les résultats affichés dans la figure 7, on peut observer de façon très claire que la méthanisation de la fraction organique des déchets solides de la ville de Blida se fait selon ces trois phases bien distinctes.

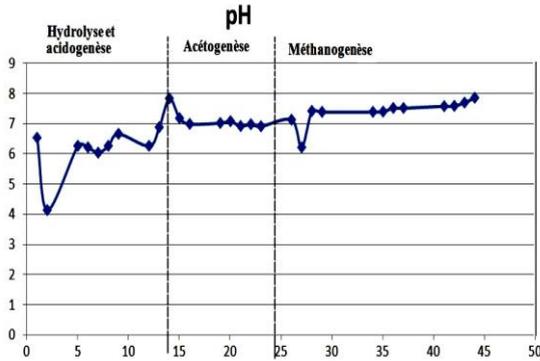


Fig. 7: Détermination des différentes phases de la méthanisation

4. CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la bio méthanisation des déchets urbains de la ville de Blida est très influencée par certains paramètres, à savoir, le pH du milieu, la température, etc.... Concernant les paramètres de la dépollution, il a été constaté un abattement notable de la charge organique en terme de la DCO et la DBO₅ à des pourcentages de 76.33 % et 48 % respectivement. Cette réduction est accompagnée d'une production du biogaz inflammable avec un volume total qui a dépassé les 4000 ml et riche en méthane.

REFERENCES

- [1] K.B. Cantrell, T. Ducey, K.S. Ro and P.G. Hunt, '*Livestock Waste-to-Bio energy Generation Opportunities*', Bioresource Technology, Vol. 99, pp. 7941 - 7953, 2008.
- [2] A. Demibras, '*Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals*', Energy Conversion and Management Vol. 42, pp. 1357 - 1378, 2001.

- [3] L.E. Marache, '*La Méthanisation des Effluents et Déchets Organiques: Etat des Connaissances sur le Devenir Pathogène*', Thèse de Doctorat, Université Paul-Sabatier de Toulouse, France, 2001.
- [4] F. Vedrenne, '*Etude des Processus de Dégradation Anaérobie et de Production de Méthane au Cours du Stockage des Lisiers*', Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, 2007.
- [5] A. Mottet, '*Recherche d'Indicateurs de Biodégradabilité Anaérobie et Modélisation de la Digestion Anaérobie Thermophile: Application aux Boues Secondaires d'Épuration non Traitées et Prétraitées Thermiquement*', Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 2009.
- [6] D. Rivière, '*Comparaison des Populations Microbiennes de Digesteurs Anaérobies Traitant des Boues de Station d'Épuration: Analyse Moléculaire de la Diversité et de l'Activité*', Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale des Génomes aux Organismes, Versailles, 2008.
- [7] M. Djaafri, S. Kaloum, M. Khelafi, A. Tahri, F. Salem, K. Kaidi, L. Bensmail, O. Barako, A. Kadri et A. Amrouche, '*Méthanisation des Déchets Organiques Issus de la Résidence Universitaire de l'Université Africaine de la Ville d'Adrar, Sud-Ouest de l'Algérie*', Journal of Materials and Environmental Science, Vol. 5, (S2), pp. 2484 - 2488, 2014.