



Amélioration de la digestion anaérobie des déchets ménagers (déchets de restaurant) en utilisant un prétraitement physique

M. Djaafri^{#1}, S. Kaloum^{#2}, M. Khelafi^{#3}, A. Tahri^{#4}, F. Salem^{#5}, K. Kaidi^{#6}, O. Barako^{*7}, A. Kadri^{*8}, L. Bensmail^{*9} et A. Amahrouch^{*10}

Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS, Centre de Développement des Energies Renouvelables ; CDER, 01000, Adrar, Algérie; B.P 478, Route de Reggane – Adrar- Algeria

Phone/Fax number: +21349965168,

¹ djaafrimoh@urerms.dz; ² s.kalloum@urerms.dz ; ³ m.khelafi@urerms.dz; ⁴ tahri@urerms.dz

⁵ Salem.fethya@live.fr ; ⁶ Kamel.kaidi@yahoo.fr

* Université de Béchar, faculté des sciences, département de biologie Bechar Algérie

⁷ barakoomar@gmail.com; ⁸ kadriabdelkrim@gmail.com; ⁹ l.bensmail@yahoo.fr;

Résumé : L'objectif de cette étude est d'améliorer la digestion anaérobie en utilisant un prétraitement physique des déchets organiques [1]. Le substrat choisi pour cette étude se compose des déchets organiques facilement biodégradable, riche en sucre et en amidon [2] [3] [4], issus de la résidence universitaire de l'université Africaine de la ville d'Adrar sud-ouest de l'Algérie. Le but de ce travail est d'augmenter le rendement en méthane par l'amélioration de la digestion anaérobie des déchets organiques à l'échelle de laboratoire en vue d'exploiter ces résultats à l'échelle pilote. Durant cette étude, nous avons utilisé un digesteur du type batch, d'une capacité de 1 litre avec une concentration de 30 g/l. Aussi nous avons suivi l'évolution du pH, du volume de biogaz, de la DCO et de la charge microbienne lors de la digestion anaérobie en fonction du temps. La production de biogaz inflammable a commencé par une valeur de 300 ml/jour dès le premier jour, avec un volume total de 773,5 ml, et un rendement de 56,66 ml/g de matière organique. Le taux de dégradation de la matière organique à atteindre 76,33 % pour une courte période de 10 jours. En comparaison avec les résultats de [5] où la production de biogaz inflammables n'a commencé qu'après le 17^{ème} jour, avec un volume du biogaz de 692,8 ml seulement pendant 65 jours d'expérience. Cela nous permet de conclure que le traitement physique ainsi que le choix du substrat facilement biodégradable représente une solution prometteuse pour la mise en marche des nouveaux digesteurs de différents types à l'échelle pilote et Semi pilote.

Mots clés : Digestion Anaérobie, Biogaz, prétraitement, déchet Organiques, Méthanisation

Abstract— The objective of this paper is to enhance the methane yield of anaerobic digestion by using a

mechanical pretreatment to the organic wastes [1]. The substrate chosen for this study consists of readily biodegradable organic waste, rich in sugar and starch [2] [3] [4], issued from campus of Adrar university which located in the southwest of Algeria. The aim of this work is to improve the anaerobic digestion of organic waste in laboratory scale and extrapolate the results found on large-scale digesters. In this study we used a batch-type digester with a capacity of 1 liter and a concentration of 30 g / l, and we followed the pH evolution, biogas volume and the COD variation of anaerobic digestion during the time. Flammable biogas production began with a value of 300 ml / day from the first day, with a total volume of 773.5 ml, and a yield of 56.66 ml / g of organic matter. The organic matter degradation rate Reach 76.33 % for a short period of 10 days. In comparison with the results of [5]. where flammable biogas production has commenced after the 17th day, with only a volume of 692.8 ml biogas during 65 days of experience . This allows us to conclude that the mechanical treatment and the choice of good substrate accelerate the anaerobic digestion and promotes many starting new digesters of different types in pilot scale.

Keywords— Anaerobic Digestion, Biogas, pre-treatment, Organiques waste, Methanisation.

I. I. NOMENCLATURE

DA : Digestion Anaérobie.

C / N: Carbone-Azote.

DT : Digesteur Témoin.

DE : Digesteurs Ensemencés.

MS : Matière Sèche.

MO : Matière organique

UFC: (Unité Formant une colonie)



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



1. INTRODUCTION

Grâce à la digestion anaérobie, les déchets deviennent une source de richesses. Cette technologie devient essentielle dans le processus de réduction des volumes de déchets et la production de biogaz, qui est une source d'énergie renouvelable pouvant être utilisée dans la production d'électricité et de la chaleur.

Durant le processus de digestion anaérobie, seule une partie de la matière organique est complètement dégradée, le reste est un excellent agent de fertilisation des terres agricoles et qui peut être utilisé en tant que tel.

La digestion anaérobie (DA) transforme les déchets organiques en biogaz via un consortium microbien dans des conditions exemptes d'oxygène, rendant la DA l'une des rares technologies qui, à la fois produit de l'énergie et traite les déchets produits par les activités humaine. Il est possible de distinguer trois grandes étapes dans ce phénomène : une étape hydrolytique, une étape d'acétogénèse et une étape de méthanogénèse, chaque étape étant réalisée par différentes catégories de microorganismes qui ont été réparties selon quatre groupes trophiques :

- des bactéries hydrolytiques qui hydrolysent les lipides, les protéines et les glucides (la cellulose principalement) et les transforment en molécules simples.

- des bactéries fermentaires acidogènes produisant de l'hydrogène et de l'acétate

- des bactéries acétogènes dites homoacétogènes, catabolisent les composés monocarbonés et multicarbonés en acide acétique.

- des bactéries méthanogènes. Elles réalisent la dernière étape en métabolisant des composés monocarbonés ou de l'acétate, en méthane [6] et [7]. Ainsi, très actifs consortiums microbiens et leur fonctionnement concerté contribuent directement à un système efficace du processus de DA. L'équilibre des nutriments est également critique dans le processus de DA. Un rapport (C / N) carbone-azote de 20 à 30 représente un optimum pour la production du biogaz, tandis que l'excès de sources d'azote ou de carbone peut conduire à l'inhibition [8].

Plusieurs travaux ont été effectués pour améliorer la méthanisation par l'application de différentes techniques.

Le présent travail consiste en l'étude de l'amélioration des conditions de la digestion anaérobie et l'accélération de méthanisation des déchets organiques à l'échelle de laboratoire. Cela a pour but d'exploiter ces résultats à l'échelle pilote et surtout pour la mise en marche de nouveaux digesteurs. Durant cette étude nous avons choisi un substrat facilement biodégradable, aussi nous avons appliquées un prétraitement physique a ce substrat afin d'accélérer la méthanisation. Pour cela nous avons suivi l'évolution du pH, de la DCO et du volume de biogaz produit.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 substrat utilisé :

Le substrat utilisé dans cette étude, est constitué des déchets organiques issus de la résidence universitaire de l'université Africaine de la ville d'Adrar. Ce substrat a été bien choisi et il est composé principalement des déchets de cuisine facilement biodégradable (fig. 1), tels que les épluchures des légumes sucrés (la betterave et la carotte) [2] et des aliments cuits qui contient beaucoup d'amidon (principalement le riz et la pomme de terre) [3] et [4]. Le broyage du substrat a été effectué on utilisant un broyeur de type GAM International.



Fig. 1. Photo du substrat avant le broyage

Le pH a été mesuré on utilisant un pH-mètre de type METR TOLLEDO. L'ajustement du pH se fait à l'aide d'une solution de NaOH 0,5 N [9]. Le surnageant obtenu, après centrifugation des échantillons, a été utilisé pour mesurer la DCO, ce paramètre a été déterminé on utilisant la méthode décrite par [10] et [11]. Le volume du biogaz produit est déterminé par la méthode du liquide déplacé [12] la matière organique (MO) a été mesurée par méthode standard [13].

2.2 Caractérisation du substrat

Tableau 1. Caractérisation du substrat avant la méthanisation.

Paramètre	valeur
Matière sèche (MS%)	24
Matière Organique (MO%)	95
pH	6,9
Le taux des lipides	73 %
Le taux des sucres	22.3 %
Taux des protéines	4 %



Tableau 2. La Charge microbienne initiale du substrat

GERMES	Nombre (germe/ml)
GAMT	127.10^6
Coliforme	6.10^4
Streptocoques	11.10^4
Staphylocoques	10^4
Clostridiiums	4.10^3
levures	12.10^6

2.3 Dispositif expérimental.

Les essais ont été réalisés dans des réacteurs de type discontinu (batch) ; il s'agit d'une bouteille d'un litre. Le réacteur est muni de deux trous, le premier pour le prélèvement des échantillons liquides à l'aide d'une seringue, et l'autre pour la récupération et la mesure du volume de biogaz produit (fig. 2). Les digesteurs utilisés sont alimentés avec les déchets ménagers, la concentration est de l'ordre de 30 g MS/L [14].

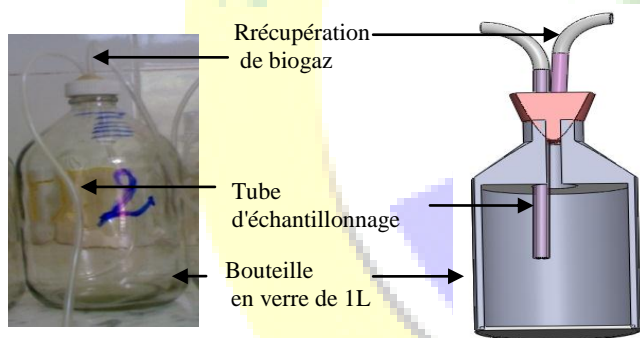


Fig. 2. Photo du digesteur

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Evolution du pH en fonction du temps

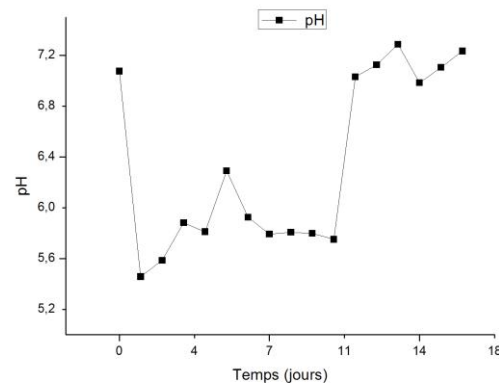


Fig. 3. Evolution du pH en fonction du temps.

Le pH est un indicateur très intéressant dans la stabilisation et le bon déroulement de la digestion anaérobie. Les procédés de digestion anaérobies sont fortement influencés par le pH. La digestion anaérobie se déroule de façon optimale au voisinage de la neutralité pH = 7 avec une valeur optimal entre 6,5 et 7,5 [15].

D'après la figure 3, on peut remarquer que le pH varie au cours de la méthanisation. La courbe d'évolution du pH peut être divisée en quatre intervalle ;

1^{ère} partie : durant les deux premiers jours nous remarquons qu'il y a une chute rapide du pH d'une valeur de 7,07 à 5,45. Cette diminution est due à la décomposition de substrat et la formation des acides gras comme l'acide lactate, butyrate, propionate...etc et leurs accumulations dans le milieu.

2^{ème} partie : dès le troisième jour jusqu'au cinquième, le pH est légèrement augmenté (auto-ajustement), cette augmentation peut être expliquée par la production de l'éthanol, mais il reste loin de la valeur optimale.

3^{ème} partie A partir du cinquième jour nous avons ajusté le pH avec une solution d'hydroxyde de sodium afin de rendre sa valeur proche de 7 (valeur optimale pour la digestion anaérobie), après l'ajustement, le pH diminue et reste au voisinage de 6 jusqu'au onzième jour, cela est dû à la continuité de la production des acides [9].

4^{ème} partie: Après le onzième jour, un deuxième ajustement du pH a été effectué, mais cette fois-ci le pH reste stable après l'ajustement au voisinage de 7 jusqu'à la fin de l'expérience, cela peut être expliqué par la consommation des Acides Gras Volatile (AGV) et l'épuisement de la matière organique.

3.2. Evolution du volume de biogaz en fonction du temps

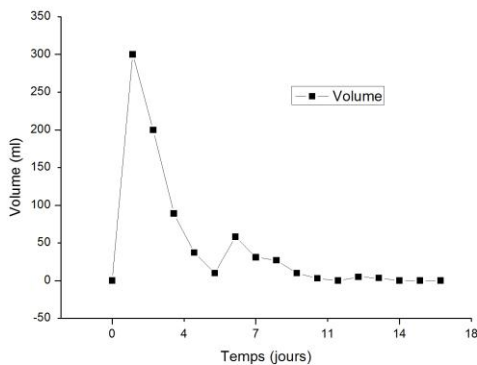


Fig.4. Evolution du volume de biogaz en fonction du temps

Sur la figure 4 On remarque que la majorité du volume de biogaz est produite durant les cinq premiers jours avec un maximum de 300 ml enregistré au premier jour.

Cette production importante et rapide peut être expliquée par le fait que le substrat utilisé est constitué majoritairement des déchets sucrés et des aliments cuits (substrat prétraité et facilement biodégradable).

A partir de 7^{ème} jour jusqu'à la fin de l'expérience au 17^{ème} jour, nous enregistrant une diminution continue du volume de biogaz qui devenu nul au dernier jour. Cela est éventuellement expliqué par l'épuisement de la matière organique et par conséquence l'épuisement des AGV dans le milieu ainsi que le déséquilibre du milieu de culture (absence des nutriments). Ces résultats se ressemblent à celles obtenus par [14] et [5].

3.3 Evolution de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) durant la digestion anaérobie :

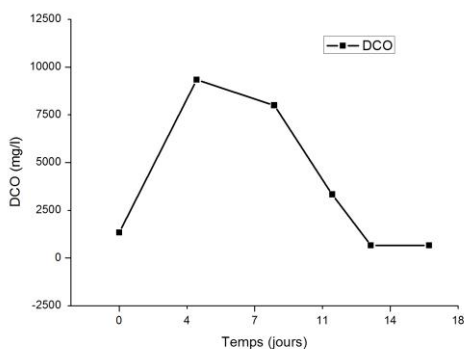


Fig.5. Evolution du DCO en fonction du temps

La figure 5 représente la variation de la DCO en fonction du temps. Durant les premiers jours de la digestion anaérobie, la DCO est faible, c'est le début de la dégradation de substrat qui est constitué majoritairement par des macromolécules

(phase d'hydrolyse et acidogénèse). Au cinquième jour la DCO atteint son maximum (8000 mg/l), celle-ci est expliquée par la dégradation de la majorité de substrat. Après le cinquième jour la DCO commence à diminuer jusqu'à ce qu'elle atteigne sa valeur minimale qui est de l'ordre de 400 mg/l à la fin de la digestion. Le taux de dégradation de la charge organique est de 76,33 %. Ce résultat est en bon accord avec la littérature [16].

3.4 Evolution de la charge microbienne durant la digestion anaérobie,

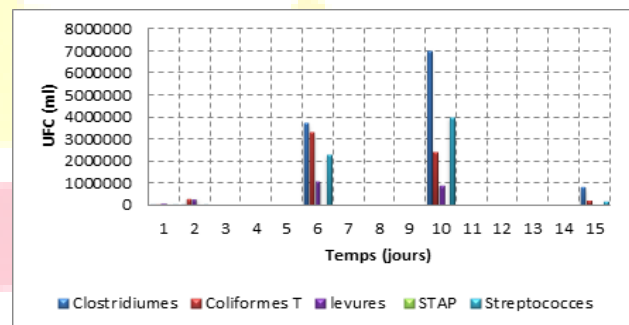


Fig.6. Evolution de la charge microbienne en fonction du temps

Les micro-organismes étudiés appartiennent aux genres des Coliformes totaux, Staphylocoques, Streptocoques, Clostridium et les levures.

Durant les deux premiers jours de la digestion anaérobie les différents genres existent dans le digesteur avec une majorité des Coliformes 3.4×10^4 UFC dans grâce à leur forte présence dans le substrat, grâce aussi à la vitesse de multiplication très rapide.

La concentration des autres micro-organismes est variable. Cette charge pourrait être responsable de la dégradation des macromolécules donc les sucres complexe sont hydrolysés en sucres simple grâce à des enzymes hydrolytiques. C'est le cas de la cellulase secrété par les Clostridium tandis que l'amidon est transformé en glucose et en maltose par l'amylase des Clostridium et la glucoamylase des levures. Le saccharose est aussi hydrolysé en glucose et en fructose par l'intervention des levures, des Clostridium, et des Streptococcus.

En ce qui concerne les lipides, ces derniers sont hydrolysés en acides gras et glycérol grâce à des lipases et/ou à des estérases moins spécifiques. Ces enzymes se retrouvent chez les levures, les Staphylococcus et généralement chez certains espèces de Coliformes (Serratia).

Notant que les Clostridium et les Streptococcus provoquant la dégradation des protéines grâce à leur peptidase.

Au cours de 6^{ème} jour, il y a une croissance accrue de l'ensemble des groupes microbien excepté les Staphylocoques



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



qui sont presque absent sous l'influence du pH acide pH =5.4 c'est le cas des Stap. blanche. La croissance est très importante avec [4.3x10⁶ UFC de Clostridiiums, et 8.3x10⁶ UFC de Coliformes, 4.1x10⁶ UFC de Streptocoques, 8.56x10⁵ UFC de Levures]. Cette croissance est dû à la consommation des produits de l'hydrolyse des macromolécules, elle est accompagnée par la production d'acides en particulier l'acide pyruvique, l'acide butyrique, l'acide acétique aboutissant à la diminution du pH. La production de ces acides est réalisé par différents genres bactériens et différents voie métabolique à partir de l'acide pyruvique.

Au cours du 10^{ème} jour, les Clostridiiums et les Streptocoques continuent leurs croissances dans le digesteur avec [0.7x10⁷ UFC et 0.4x10⁷ UFC, successivement grâce à leur activité catabolique des lipides et des protéines. Par contre la charge des Coliformes et des Levures décroît [2.4x10⁶ UFC et 4.9x10⁵ UFC] grâce à la diminution du taux des sucres dans le milieu et leur faible activité catabolique vis à vis des lipides et des protéines.

Au 15^{ème} jour, la charge de tous les groupes microbiens est faible dans les digesteurs car le substrat organique est épuisé dans le milieu.

3.5 Caractérisation du substrat après la digestion

Tableau 2. Caractérisation du substrat après la méthanisation.

Paramètre	valeur
Matière sèche	2.15 %
Matière Organique	45%
pH	7
Le taux des lipides	/
Le taux des sucres	0.8 %
Taux des protéines	1%

La masse transformée correspond à 15 g de MO. Sachant que Le volume de biogaz total produit durant la méthanisation est égale à 773.5 ml, on aboutit à un rendement de 56.66 ml/g de MO, cette valeur est considérable en comparaison avec les résultats trouvés par [17].

GERMES	Nombre (germe/ml)
GAMT	/
Coliforme	0.2.10 ⁴
Streptocoques	0.18.10 ⁴

Staphylocoques	0
Clostridiiums	0.8.10 ⁵
levures	3.10 ⁴

4. CONCLUSION

Cette étude nous a permet de conclure que le prétraitement physique des déchets organiques facilement biodégradable (riches en sucre et en amidon), accélère la digestion anaérobie et représente une solution prometteuse pour la mise en marche des nouveaux digesteurs de différents types à l'échelle pilote et Semi pilote. Cela est bien évident par la dégradation rapide de la matière organique selon les résultats que nous avons obtenus :

- La production du méthane à bien commencée depuis le premier jour de la digestion anaérobie avec une valeur de 300 ml/jour ;
- La grande quantité de biogaz a été produite durant les cinq premiers jours (640 ml) avec un volume totale de 850 ml;
- Le rendement en biogaz produit est de 56.66 ml/g de matière organique;
- Le taux de dégradation de la matière organique à atteindre 76,33 %.

REFERENCES

- [1] J. Lindmark et al, 'Effects of mechanical pre-treatment on the biogas yield from ley crop silage', *Applied Energy* 97 498-502, 2012.
- [2] C. Fang, K. Boe, I. Angelidaki" *Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure*" *Water Research*, **45**, 3473-3480, 2011.
- [3] V. Kryvoruchko et al " *Anaerobic digestion of by-products of sugar beet and starch potato processing*" *Biomass and Bioenergy*, **33**, 620-627, 2009.
- [4] W Parawira, M Murto, R Zvauya, B Mattiasso" *Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves*" *Renewable Energy*, **29**, 1811-1823, 2004.
- [5] M. Djaâfri, M. Khelifi, S. Kalloum, A. Tahri, K. Kaidi, A. Touzi, " *Effet de l'ensemencement sur la digestion anaérobie des déchets ménagers de la ville d'Adrar, Algérie*", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol.**12**, N°3, pp.369-374, Septembre 2009.
- [6] B. Ollivier, " *Fermentation Méthanique par des cultures mixtes défini de bactéries Thermophiles*". Thèse de doctorat, Université de Provence AIX-Marseille, France, 1987.
- [7] R. Moletta " *Méthanisation de la biomasse*" *Techniques de l'Ingénieur, Procédés chimie - bio - agro*, bio**5100**, 2012.
- [8] Z. Wang et al " *Effects of total ammonia nitrogen concentration on solid-state anaerobic digestion of corn stover*", *Bioresource Technology*, **144**, 281-287, (2013).
- [9] S. Kalloum , M. Khelafi, M. Djaâfri, 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.
- [10] F. Raposo, R. Borja, M.A. Martín, A. Martín, M.A. de la Rubia, B. Rincón " *Influence of inoculum-substrate ratio on the anaerobic digestion of*



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 13 et 14 Octobre 2014



sunflower oil cake in batch mode: process stability and kinetic evaluation",
Chemical Engineering Journal; **149**, 70-77, 2009.

[11] E Salminen, J Rintala, J Härkönen, M Kuitunen, H Högmänder, A Oikari, "Anaerobically digested poultry slaughterhouse wastes as fertiliser in agriculture", Bioresource Technology **78**, 81-88. 2001

[12] F. Charnay. "Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost", Thèse de doctorat, Université de Limoges, France, 2005.

[13] APHA, Standard Methods for the Examination and Water and Wastewater, twenty first ed. American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington DC. 2005.

[14] I. Boutouta et al. "Valorisation énergétique des déchets solides urbains de la ville de Blida". Mémoire de master. Université de Blida, Blida, Algérie, 2012.

[15] R. Gourdon. "Traitement biologique des déchets" dossier : Techniques de l'Ingénieur, l'expertise technique et scientifique de référence, g 2060. Novembre 2012.

[16] L. Bal, B. Chabot, "Les énergies renouvelables : État de l'art et perspectives de développement", 2001.

[17] L. Marouani, H. Bouallagui, R. Ben Cheikh and M. Hamdi, "Biomethanation of green wastes of wholesale market of Tunis", International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management, p.318-323, 2002.

[18] Intissar Limam and Al J Soc. Chim. Tunisia, 12, 63-70, 2010.