



Amélioration du potentiel biométhane de la paille de blé au moyen de traitements physico-chimiques

Yasmine Ouahabi^{1,2}, Djalil Ikhadlem¹, Ryanne Boudjemia¹, kenza Bensadok*¹

¹Laboratoire des Science du Génie des Procédés Industriels
Faculté de Génie Mécanique et de Génie des procédés
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene
B.P. 32, El Alia, 16111 Alger, Algérie

²Unité de recherche en analyse et développement technique en environnement (UR-ADTE)/
Centre de recherche scientifique et technique en analyses physico-chimiques
CRAPC Bou ismail. Tipaza. Tel: 024 32 57 74

*Auteur correspondant : kbensadok@gmail.com.

Abstract— Le procédé de méthanisation permet de produire de l'énergie renouvelable tout en mobilisant des déchets issus des exploitations agricoles. Bien qu'ils soient produits en grande quantité, les résidus de culture sont peu exploités car ils sont difficilement biodégradables en raison de leur composition lignocellulosique. L'objectif de cette étude est d'améliorer la production de biométhane, des fractions hémicellulosiques de la paille de blé par un prétraitement couplant un procédé chimique (NaOH ou H₂O₂) aux ultra sons (US). Les résultats ont montré que le prétraitement est optimal avec 4% (W/W) en H₂O₂ et 10 min d'US et conduit à la meilleure production de biogaz (218 mL) et le meilleur rapport méthane /biogaz (62%).

Keywords— Biomasse lignocellulosique, paille de blé, prétraitement, biogas, digestion anaérobie.

I. INTRODUCTION

Le développement industriel et technologique durant le dernier siècle a été accompagné d'une demande accrue en énergie. La plus grande partie de cette énergie est d'origine fossile tels que le pétrole et le gaz naturel. Ces derniers ont des effets néfastes sur l'environnement, comme les émissions des gaz à effet de serre et le réchauffement climatique [1]. C'est pour cette raison que la recherche d'autres alternatives de source d'énergie renouvelable est devenue un enjeu majeur [2]. Parmi celles-ci, le biogaz produit à partir de la digestion anaérobie de la biomasse.

La biomasse lignocellulosique constitue le gisement énergétique le plus prometteur puisqu'il représente une des ressources renouvelables la plus abondante sur terre, et l'une des moins coûteuses.

Durant ces dernières années, le traitement de la biomasse lignocellulosique, par digestion anaérobie, a fait l'objet de plusieurs recherches. Cette biomasse a une structure complexe, composée en majorité de trois fractions polymériques: la cellulose, les hémicelluloses (l'holocellulose étant l'association de ces deux polymères) et la lignine [3]. La paille de blé est riche en lignine qui est peu

biodégradable, par son imperméabilité qui lui donne une résistance aux attaques microbiennes. La matière organique biodégradable n'étant pas accessible aux micro-organismes, elle nécessite un ou plusieurs prétraitements. Il existe 3 grandes classes de prétraitements: physiques, chimiques et biologique. Le but de ces prétraitements est de dégrader la lignine et réduire la cristallinité des composants cellulotiques pour rendre la matière organique biodégradable accessible aux bactéries [4,5]. Dans ce contexte nous nous sommes intéressés au prétraitement de la paille de blé par de la soude, du peroxyde d'hydrogène et des ultra-sons, afin d'améliorer le rendement de biogaz et de biométhane par le procédé de digestion anaérobie.

II. MATERIELS ET METHODES.

A. Substrat et inoculum utilisés.

Les caractéristiques de la paille de blé et de l'inoculum (fumier de bovin) utilisés sont les données respectivement dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1:Caractéristiques physico-chimiques de la paille de blé.

| | |
|-------------|-------|
| AGV (g/L) | 0.048 |
| TAC (g/L) | 0.000 |
| MS % (w/w) | 98.33 |
| MVS % (w/w) | 07.00 |



**Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 5th International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2018

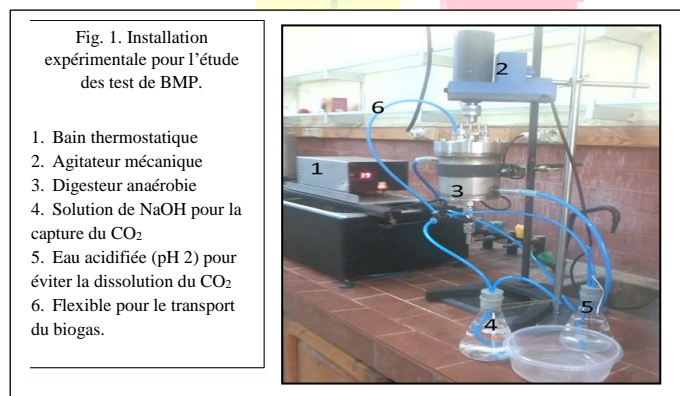


Tableau.2: Caractéristiques physico-chimiques du fumier de bovin.

| | |
|-------------|-------|
| AGV (g/L) | 0.048 |
| TAC (g/L) | 0.000 |
| MS % (w/w) | 98.33 |
| MVS % (w/w) | 07.00 |

B. Tests du potentiel biométhane (BMP).

Les tests du potentiels biométhane (BMP) sont basés sur la mesure de la production de biogaz dans un réacteur fermé contenant une quantité connue de déchet organique mis en présence d'une quantité connue de micro-organismes anaérobies (inoculum). Les incubations se déroulent en chambre thermostatée (37°C) en absence d'oxygène [6]. La mesure des volumes de biogaz et de biométhane produit sont été effectués par la méthode de déplacement du liquide (Fig. 1).



III. RESULTATS ET DISCUSSION.

C. Prétraitement physique (broyage).

Le prétraitement physique a été effectué pour décomposer la structure cellulaire de la biomasse et augmenter sa surface spécifique pour rendre la matière organique plus accessible aux bactéries [8]. La paille de blé a été séchée à l'air libre puis broyée et tamisée. Nous avons utilisé trois tamis, de diamètre de pores 0.25, 0.65 et 1.25mm. De ce fait, trois gammes de particules ont été obtenues. Nous avons utilisé les particules de diamètre compris entre 0.65 et 1,25mm.

D. Prétraitements chimiques : Effet de la concentration de NaOH et H₂O₂.

Le but de ces expériences est d'évaluer l'effet du prétraitement de la paille de blé pour les différentes concentrations de NaOH (0.25, 0.5, 1 et 2%) et de H₂O₂ (2, 4 et 8%). L'évaluation du traitement est mesurée par la quantité de matière organique dissoute dans la solution (DCO). A cet effet, 200 mL d'eau distillée ont été ajoutés à 2g de paille et mis sous agitation modérée (250 rpm) pendant 1h, après addition de la soude ou du peroxyde d'hydrogène, et ce à température ambiante. Les résultats sont reportés sur le graphique de la figure 2.

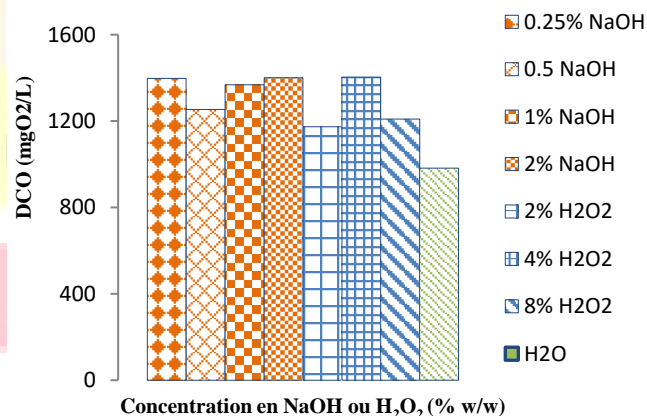


Figure 2: Effet de la concentration de NaOH, et de H₂O₂ sur la décomposition de la paille.

Nous observons que par rapport à l'hydrolyse seule, le prétraitement augmente la dissolution de la matière organique. L'efficacité de la décomposition des structures à haut poids moléculaire augmente avec la concentration croissante de NaOH et H₂O₂, jusqu'à une certaine valeur. De trop fortes concentrations en H₂O₂ influencent négativement le processus de décomposition car les composés plus simples formés par la dépolimérisation de la biomasse ont été minéralisés, ce qui peut diminuer la production du biogaz. Le NaOH et le H₂O₂ résiduels ont probablement oxydé les structures désirables comme les sucres, les AGV et les alcools [3].

E. Effet du couplage des ultrasons (US) au traitement chimique

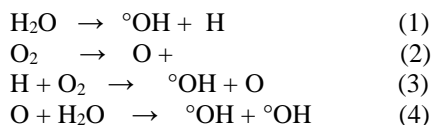
Les résultats du couplage du traitement chimique aux US pendant 30 min sont reportés sur la figure 3. Nous constatons que par rapport au traitement chimique seul, la soumission du substrat aux US, augmente significativement sa décomposition pour les faibles concentrations en NaOH et H₂O₂. En effet les US ont différents effets sur la matière organique :

1. Effets mécaniques
2. Pyrolyse des molécules vaporisées
3. Créations de radicaux libres dont le pouvoir oxydant est très élevé (Eqs. 1-4).

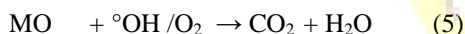


**Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 5th International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2018



Aussi, l'attaque de la lignocellulose de blé au peroxyde d'hydrogène semble meilleure que celle avec la soude. Cependant, pour les fortes concentrations, l'ajout d'US diminue cette décomposition, du fait que la matière organique solubilisée est minéralisée par les radicaux hydroxyyles produits (Eq. 5).



Ainsi, une concentration massique de 4% en H_2O_2 apparaît comme la valeur optimale pour ce traitement physico-chimique.

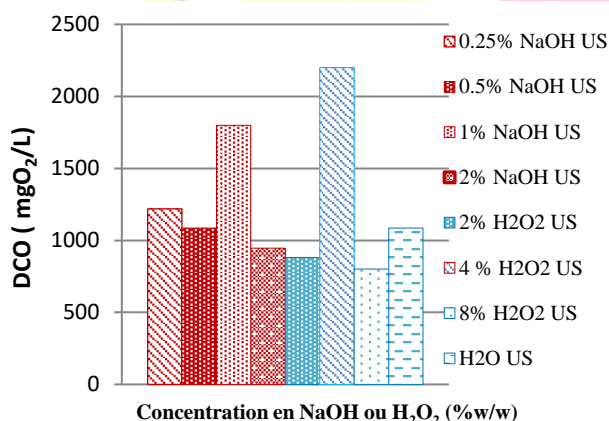


Figure 3: Effet du couplage des US à NaOH et H₂O₂.

F. Effet du temps de la sonolyse

Le dernier paramètre que nous avons investigué pour la dégradation de la paille est le temps de traitement. Pour cela nous avons utilisés notre optimum trouvé précédemment (4% H₂O₂ couplé aux US) en faisant varier le temps de traitement de 5 à 45 min. Les résultats de cette étude sont reportés sur le graphique 3.

Nous constatons que la matière organique contenu dans le substrat se solubilise en soumettant se dernier aux US couplé au H₂O₂ et cela en fonction de la variation du temps de prétraitement. L'optimum se trouve à 10 min de traitement seulement, ce qui implique que les décharges imposées au substrat sont puissantes et dégradent rapidement la biomasse lignocellulosique. Cependant au-delà de 10 min de traitement la matière organique libéré va être consommée ce qui est traduit par une diminution de la DCO.

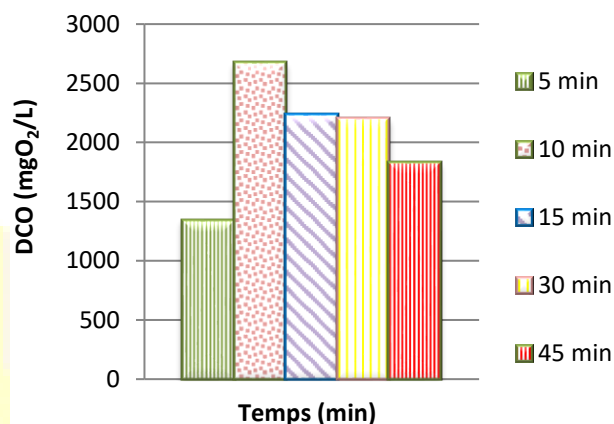


Figure 2: Effet du temps.

G. Tests de potentiel biométhane (BMP)

Nous avons effectué des d'expériences de biométhanisation de type mésophile à une température de 37°C. Le but de ces expériences est d'étudier l'effet du prétraitement de la paille de blé sur la biométhanisation. Les expériences sont effectuées selon les compositions des digesteurs suivants:

| | Digesteur I F.B | Digesteur II F.B+paille non prétraité. | Digesteur III F.B+ paille prétraitée |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Inoculum | Fumier de bovin 100 g | Fumier de bovin 100 g | Fumier de bovin 100 g |
| Substrat | / | 5 g de paille non prétraité | 5 g de paille prétraité avec 4% de H ₂ O ₂ et 10 min d'US. |

Les volumes du biogaz et du méthane produits sont données dans les figures 3 et 4 et résumés dans le tableau 3.

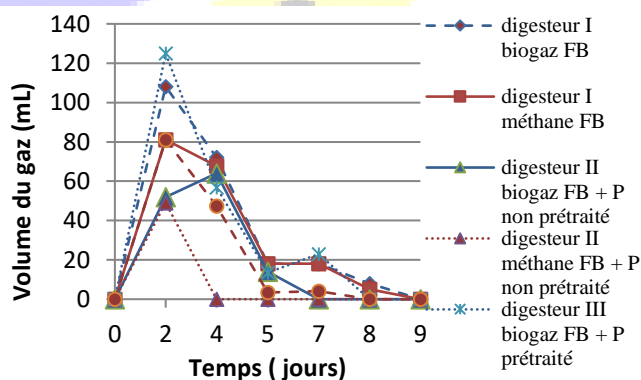


Figure 3: Volume journalier du biogaz et du méthane.



**Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 5th International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2018



Nous constatons une forte production de biogaz et de méthane durant les deux premiers jours dans le digesteur III F.B+ p. prétraité par rapport aux autres digesteurs. Ceci se traduit par la phase de croissance dans laquelle se réalisent les différentes phases de la méthanisation (hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse et méthanogénèse). Pour le digesteur II (F.B+p.non prétraitée) la phase de croissance prend plus de temps car notre substrat n'a pas subi de prétraitement. Cela explique que le prétraitement chimique avec du peroxyde d'oxygène augmente la vitesse de production.

Après cela, on remarque une phase de déclin qui s'étale sur les 5 derniers jours et qui se traduit par la diminution et la mort des bactéries qui est causée par la diminution des nutriments.

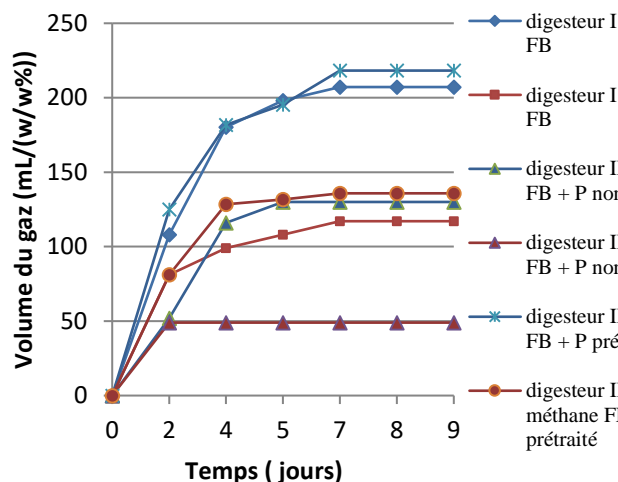


Figure 4: Volume journalier du biogaz et du méthane

Nous constatons une production de biogaz et de méthane importante dans le digesteur III F.B+ p. prétraité ou elle atteint 218 mL de biogaz et 135 mL de méthane contrairement aux autres digesteurs pour lesquels la production est moins importante. Ceci est dû à l'efficacité du prétraitement qui permet de libérer la matière organique contenu dans la paille en la rendant plus accessible et plus facilement digérable par les microorganismes.

Tableau.3: Volume du biogaz et du méthane.

| Paramètres | P.non prétraitée | P. prétraité | F.B |
|--------------|------------------|--------------|--------|
| Biogaz (mL) | 130 | 218.24 | 207.18 |
| Méthane (mL) | 49 | 135.81 | 117.09 |
| Méthane (%) | 37.70 | 62.23 | 56.51 |

Conclusion.

Il ressort de cette étude que le prétraitement de la paille avec 4% de H₂O₂ d'ultrasons est le plus efficace. Le

couplage des ultrasons au prétraitement chimique augmente la dégradation de la cellulose par rapport au traitement chimique seul. Le temps de traitement par les US a son importance; 10 min se sont avérés les plus efficaces avec une dégradation optimale de la biomasse lignocellulosique qui est traduite par une DCO libérée de 2200 mgO₂/L, une augmentation du potentiel biométhane des déchets considérés ainsi qu'un meilleur rapport Biométhane/biogaz (62.23%).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] C. Sawatdeenarunat, K.C. Surendra, D. Takara, H. Oechsner, S.K. Khanal, Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities, *Bioresour Technol.* 178 (2015) 178-186.
- [2] Yao .Y., He.M, Ren.Y, Ma.L, Luo. Y, Sheng.H, Xiang.Y, Zhang.H, Li.Q, An.,L Anaerobic digestion of poplar processing residues for methane production after alkaline treatment. *Bioresour Technol* 134 (2013) 347-352.
- [3] Vincent Nordmann, Ecole Doctorale des Sciences Chimiques, Caractérisation et impact des différentes fractions d'une biomasse lignocellulosique pour améliorer les prétraitements favorisant sa méthanisation: utilisation de la paille de blé comme biomasse lignocellulosique d'étude, 19 May 2014
- [4] Peyman Salehian, Keikhosro Karimi, Hamid Zilouei, Azam Jeihanipour, Improvement of biogas production from pine wood by alkali pretreatment. *Fuel* 106 (2013) 484-489.
- [5] Sameh S. Ali and Jianzhong Sun., Physico-chemical pretreatment and fungal biotreatment for park wastes and cattle dung for biogas production. *Springer Plus* (2015) 4:712. DOI 10.1186/s40064-015-1466-9.
- [6] J. Bournigal. IRSTEA. "Quelle énergie durable pour demain". 2012.
- [7]. S. Borowski, P. Kubacki, "Co-digestion of pig slaughterhouse waste with sewage sludge". *Waste Management* 40 -2015, 119-126.
- [8] Sameh S. Ali and Jianzhong Sun., Physico-chemical pretreatment and fungal biotreatment for park wastes and cattle dung for biogas production. *Springer Plus* (2015) 4:712.