

Etude de la production de bioéthanol de deuxième génération à partir d'un déchet agroalimentaire

Souhaib Djeddou^{1,2*}, Khalida Boutemak¹, Benamar Chekneane³,
Amel Hadj-Ziane² et Fkair Mohamed Ayoub¹

¹ Laboratoire d'Analyse Fonctionnelle des Procédés Chimiques,
Université de Blida 1, B.P.270, Route de Soumâa, 09000 Blida, Algérie

² Laboratoire de Génie Chimique, Université de Blida 1
B.P.270, Route de Soumâa, 09000 Blida, Algérie

³ Laboratoire de Chimie Physique des Interfaces des Matériaux
Appliqués à l'Environnement, Université de Blida 1, B.P.270, 09000 Blida, Algérie

(reçu le 10 Juillet 2018 - accepté le 25 Septembre 2018)

Résumé - L'objectif de cette étude est la valorisation énergétique d'un déchet agroalimentaire pour produire du bioéthanol de deuxième génération. Il s'agit d'une biomasse lignocellulosique composée d'un déchet pomme de terre. La conversion de la biomasse cellulosique en éthanol à usage carburant a été réalisée en utilisant un prétraitement acide, suivi par l'étape de saccharification en présence de deux enzymes: la cellulase et l'hémicellulase. L'hydrolysate obtenu à la fin est fermenté en utilisant la levure *Saccharomyces cerevisiae* sous les conditions anaérobiques suivantes (pH = 4,7, T = 30 °C, et une vitesse d'agitation de 250 tr/min). La concentration de bioéthanol obtenue après 72 heures de fermentation est de 730 g/l.

Abstract - The objective of this study is the energy recovery of an agro-food waste to produce second-generation bioethanol. It is a lignocellulosic waste consist of potato waste. A chemical pretreatment of biomass with hydrochloric acid was carried out, followed by saccharification in the presence of two types of enzymes: cellulase and hemicellulose. The hydrolyzate obtained was fermented using yeast *Saccharomyces cerevisiae* under anaerobic conditions (pH = 4.7, T = 30 °C, 250 rpm). The concentration of bioethanol that was obtained after 72 hours of fermentation is 730 g/l.

Keywords: Bio éthanol - Potato waste - Lignocellulosic biomass - Saccharification - *Saccharomyces cerevisiae*.

1. INTRODUCTION

A l'heure actuelle et face à la consommation en hausse constante des carburants issus de la pétrochimie a causé un très grand problème lié à la pollution de l'air, le changement climatique et sur la santé humaine. D'autre part, la demande en énergie accroît rapidement en raison de l'expansion humaine, l'augmentation de l'activité industrielle et agricole, ainsi que le développement du secteur de transport.

A cet effet, Il était obligatoirement de trouver des nouvelles sources d'énergie renouvelables et moins polluantes. Dans ce contexte, on peut citer les biocarburants qui sont des énergies alternatives issues de la biomasse. Ce type d'énergie qui peut être considéré comme étant une énergie renouvelable peut concurrencer les hydrocarbures en raison de ses faibles émissions des gaz à effet de serre.

Parmi lesquelles, le bioéthanol de la deuxième génération issus de déchets lignocellulosiques, qui ne sont pas utilisés dans l'alimentation humaine. Cette seconde génération exploite les polysaccharides composant la cellulose et les hémicelluloses de la biomasse, les extrayants en carbohydrates, et les fermentants en éthanol.

* sohaibdjeddou@gmail.com

La biomasse lignocellulosique est composée de structures polymériques de la cellulose, l'hémicellulose, la lignine, d'autres composés organiques et des sels inorganiques [1].

Par la voie de conversion biologique, un processus typique est habituellement nécessaire pour convertir suffisamment les sucres structuraux de la paroi cellulaire végétale en bioéthanol: prétraitement, hydrolyse enzymatique, fermentation et distillation [2].

Le prétraitement permet de séparer et dégrader les différents composés de la biomasse lignocellulosique en séparant la cellulose et l'hémicellulose de la lignine pour faciliter aux enzymes de la dégrader en sucres simples [3]. Le prétraitement à la vapeur, l'hydrolyse acide concentrée, l'hydrolyse acide diluée et le traitement par l'eau chaude sont les prétraitements les plus utilisés pour la biomasse lignocellulosique.

D'autres prétraitements existent comme le traitement alcalin, le traitement assisté aux ondes ultrasons, le traitement assisté aux ondes microondes et le traitement par les solvants organiques.

Le processus de l'hydrolyse acide est basé sur l'hydrolyse des matières premières lignocellulosiques par un acide (généralement l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique) à des faibles températures (40-100°C) afin de dégrader la cellulose et l'hémicellulose [4]. L'inconvénient principal de l'hydrolyse acide est la corrosion des équipements industriels, ainsi que la formation des inhibiteurs comme les composés phénoliques, le furfural et l'hydroxyméthylfurfural, ce qui est nécessaire de corriger le pH après cette étape [4].

Le procédé de l'hydrolyse enzymatique repose sur l'hydrolyse de la cellulose et l'hémicellulose en sucres simples soit par des enzymes et/ou par des champignons. La cellulose est décomposée par l'enzyme cellulase en glucose et en cellobiose, tandis que l'hémicellulose est convertie en xylose et d'autres sucres par l'enzyme hémi cellulase. Les conditions de l'étape de la fermentation sont reliées avec le procédé de l'hydrolyse enzymatique, cela dépend de la méthode utilisée.

Différentes microorganismes sont utilisés dans la fermentation des hexoses et des pentoses. Parmi lesquelles on peut citer: la levure *Saccharomyces cerevisiae*, la bactérie *Escherichia coli* et aussi la bactérie *Zymomonas mobilis*. La saccharification enzymatique de la biomasse traitée réalisée séparément de l'étape de fermentation est appelée hydrolyse et fermentation séparées (SHF), tandis que la saccharification enzymatique de la cellulose est réalisée en présence du microorganisme de fermentation.

L'objectif de ce travail est de produire de bioéthanol de la seconde génération à partir d'un déchet lignocellulosique. Dans notre cas, nous avons utilisé des épluchures de la pomme de terre qui nous a servi à la production de bioéthanol.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matière première

Le déchet de pomme de terre a été obtenu à partir d'un restaurant local. Cette biomasse a été séchée à l'air libre et à l'abri de la lumière, le produit obtenu a été ensuite broyé jusqu'à l'obtention des graines de tailles moyennes fines, et enfin stocké dans un milieu sec jusqu'à son utilisation.

Les taux d'humidité et de cendres de la matière première ont été déterminés selon les normes (NF M 03-002) et (NF U 44-160) et également la teneur en cellulose et hémicellulose. [5]

2.2 Production de bioéthanol

2.2.1 Hydrolyse acide diluée

Une masse de 100 g d'épluchures de *Solanum tuberosum* humides préalablement rincées avec de l'eau distillée [1] ont été introduites respectivement dans une solution acide HCl 0.5M. Par la suite, la solution a été mise sous agitation mécanique à une vitesse de 400 tr/min à l'aide d'un malaxeur de type 'WiseStir HS-30D' à une température comprise entre 90-100°C pendant 30 min. Après refroidissement à l'air libre, le substrat a été récupéré par filtration [6, 7]. Une correction de pH a été effectuée par une solution de NaOH 5M jusqu'à atteindre un pH égal à 5 [8].

2.2.2 Hydrolyse enzymatique

Dans cette étape, deux enzymes ont été utilisées: la cellulase et l'hémicellulase. La saccharification a été effectuée sous les conditions suivantes: T = 45°C, pH = 5 à une vitesse d'agitation égale 250 tr/min pendant une durée de 150 minutes. Ensuite, la solution a été incubée à 45 °C pendant 48 heures. A la fin de saccharification, les enzymes ont été désactivés à une température de 95°C pendant 15 min [6, 9].

2.2.3 Fermentation

Une concentration de 10 g/l de la levure *Saccharomyces cerevisiae* industrielle a été ajoutée à l'hydrolysats (milieu fermentation composé de: 20 g extrait de malt, 0.5 g extrait de levure, 2 g MgSO₄.7H₂O, 6 g de (NH₄)₂SO₄, 0.5 g de KH₂PO₄, 0.1 g CaCl₂, et 0.1 g FeSO₄.7H₂O.

La fermentation a été effectuée sous les conditions opératoires suivantes: la température égale à 30°C, pH égal à 4.7, la vitesse d'agitation égale à 250 tr/min pendant une durée de 72 heures [6, 10]. Le potentiel d'hydrogène a été mesuré par un pH-mètre de type 'Hanna HI 2210'. Les sucres totaux et réducteurs ont été déterminés par les méthodes de Dubois et Miller respectivement [11, 12].

2.2.4 La distillation alcoolique

A la fin de fermentation, l'éthanol est récupéré par distillation, la température de distillation est comprise entre 78 à 80°C.

2.2.5 Caractérisation du bioéthanol

La densité a été mesuré à l'aide d'un densimètre électronique de type 'Mettler Toledo 30PX'. Chaque mesure a été répétée trois fois. L'analyse qualitative et quantitative a été réalisée à l'aide d'un chromatographe 'Shimadzu GC-17A' muni d'un lecteur 'Shimadzu C-R8A' et d'un densimètre électronique qui permet de mesurée dans le mélange eau-éthanol [13].

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Caractérisation de la matière première

Le tableau suivant présente la caractérisation de la biomasse utilisée.

Tableau 1: Caractérisation de la biomasse

Paramètre	Taux (%)
Humidité	14.00
Cendre	15.18
Cellulose	42.80
Hémicelluloses	8.80

3.2 Evolution de pH

Le pH est un bon indicateur de l'activité de la levure au cours de la fermentation. Selon la figure 1, on observe que le pH diminue au cours de la fermentation de 4.7 jusqu'à 3.5 après 72 heures de fermentation. Cette diminution est due à la formation du CO_2 produit par la *Saccharomyces cerevisiae* suivie par la formation de bioéthanol [14].

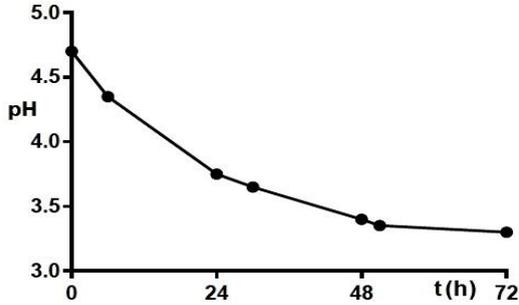


Fig. 1: Cinétique de pH

3.3 Dosage des sucres totaux et des sucres réducteurs

La courbe des sucres totaux a montré qu'il y'a eu une consommation des sucres fermentescibles par la levure qui a été multipliée pour produire de bioéthanol durant les 72 heures de fermentation.

La concentration des sucres totaux finale est de 0.94 g/l. Cela montre que la majorité des carbohydrates ont été consommés par la levure durant la fermentation. Les conditions opératoires et les étapes de chaque procédé ont permis à la levure d'avoir des sucres simples fermentescibles comme une source de carbone afin de produire le bioéthanol.

Conclusion, au cours de la fermentation, la levure se multiplie, les sucres fermentescibles sont consommés et la concentration de bioéthanol est en accroissement [14, 15].

L'examen de la figure montre que la concentration des sucres réducteurs diminue en fonction du temps, au cours de la fermentation. Cela signifie que les sucres réducteurs ont été consommés complètement par la levure pour produire et synthétiser le bioéthanol jusqu'à atteindre une concentration finale égale à 0.12 g/l après 72 heures de fermentation.

Cela montre que la majorité des sucres contenant dans les deux biomasses lignocellulosiques libérés au cours de l'étape d'hydrolyse enzymatique sont des sucres réducteurs fermentescibles (hexoses) par la levure *Saccharomyces cerevisiae* [15].

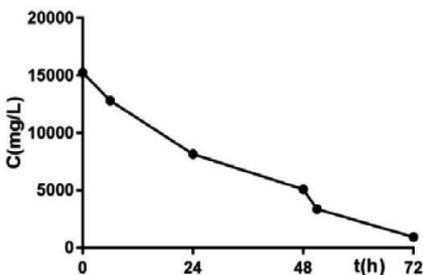


Fig. 2: Cinétique de sucres totaux

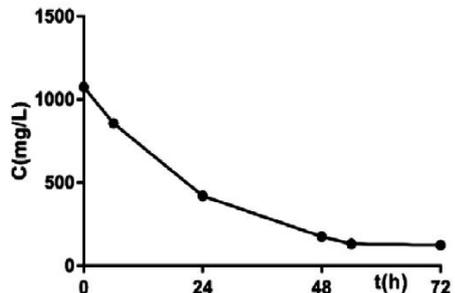


Fig. 3: Cinétique de sucres réducteurs

3.4 Mesure de la densité

Les résultats obtenus montrent que la densité de bioéthanol après une deuxième distillation est égale à 0.854. Cette valeur est proche de la densité de l'éthanol 96 % ($d = 0.801$).

3.5 Mesure de la concentration massique et la fraction volumique

Les résultats obtenus montrent que la concentration massique du bioéthanol produit à partir du déchet est égale à 730 g/l et la fraction volumique est égale à 79.6 %. Cependant, la fraction massique de l'éthanol absolu (100 %) représente 99.5 % et la fraction volumique est égale à 99.7 %.

3.6 Analyse qualitative par chromatographie en phase gazeuse

Les résultats de l'analyse chromatographique CPG de l'éthanol sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 2: Mesure de temps de rétention

Echantillon	t_R
Bioéthanol	2.297
Ethanol (témoin)	2.283

L'identification du bioéthanol s'effectue en comparant l'indice de rétention du chromatogramme de l'éthanol témoin dans les mêmes conditions d'analyse. L'observation des chromatogrammes montre que le temps de rétention de l'éthanol témoin est égal à 2.283 quasi proche du bioéthanol synthétisé à partir de la biomasse lignocellulosique des épluchures de la pomme de terre (2.303).

4. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de produire un bioéthanol de deuxième génération à partir d'une biomasse lignocellulosique 'épluchures de la pomme de terre' en utilisant le procédé de la saccharification et la fermentation séparée (SHF). L'exploitation de la biomasse lignocellulosique pour la production de bioéthanol présente des aspects environnementaux positifs et l'incorporation de bioéthanol dans l'essence permet globalement une diminution des rejets de nombreux composés polluants.

En effet, la combustion de bioéthanol engendre moins de rejets de gaz à effet de serre, de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures gazeux que celle de l'essence. Cette étude nous a permis d'une part la valorisation de ce déchet et d'autre part l'ajouter une valeur socio-économique.

REFERENCES

- [1] Luque, R., J. Campelo, et al. (2011). Handbook of biofuels production : processes and technologies. Oxford ; Philadelphia, Woodhead Publishing.
- [2] Xu, Y., J. Li, et al. (2018). "Modified simultaneous saccharification and fermentation to enhance bioethanol titers and yields." Fuel **215**: 647-654.
- [3] Bajpai, P. (2013). Global Production of Bioethanol. Advances in Bioethanol, Springer: 79-88.
- [4] Pandey, A. (2008). Handbook of plant-based biofuels, CRC Press.

- [5] El Zerey-Belaskri, A., H. Benhassaini, et al. (2013). "Cellulosic and hemicellulosic fractions dosage of *Pistacia atlantica* Desf. subsp. *atlantica* leaves in western Algeria." *Natural product research* **27**(19): 1757-1763.
- [6] Arapoglou, D., T. Varzakas, et al., "Ethanol production from potato peel waste (PPW)", *Waste Management* Vol30 N°10 pp. 1898 - 1902, 2010.
- [7] F. Talebnia, D. Karakashev, et al., "*Production of bioethanol from wheat straw: an overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation*", *Bioresource technology*, Vol. 101, N°13, pp. 4744 - 4753, 2011.
- [8] Tasić, M. B., B. V. Konstantinović, et al. (2009). "The acid hydrolysis of potato tuber mash in bioethanol production." *Biochemical engineering journal* **43**(2): 208-211.
- [9] Dewan, A., Z. Li, et al. (2013). "Saccharification and fermentation of waste sweet potato for bioethanol production." *Journal of Food Process Engineering* **36**(6): 739-747.
- [10] G. Izmirlioglu, and A. Demirci, "*Enhanced bio-ethanol production from industrial potato waste by statistical medium optimization*", *International journal of molecular sciences*, Vol. 16, N°10, pp. 24490 - 24505, 2015.
- [11] M. Dubois, K.A. Gilles, et al., "*Colorimetric method for determination of sugars and related substances*", *Analytical chemistry*, Vol. 28, N°3, pp. 350 - 356, 1956.
- [12] G.L. Miller, "*Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar*", *Analytical chemistry* Vol. 31, N°3, pp. 426 - 428, 1959.
- [13] S. Nikolić, L. Mojović, et al. '*Utilization of microwave and ultrasound pretreatments in the production of bioethanol from corn*', *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 13, N°4, pp. 587 - 594, 2011.
- [14] A. Mansouri, R. Rihani, A.N. Laoufi and M. Özk, '*Production of bioethanol from a mixture of agricultural feedstocks: Biofuels characterization*', *Fuel*, Vol. 185, pp. 612- 621, 2016.
- [15] L. Zhang, L., H. Zhao, et al., "*Application of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from viscosity reducing of raw sweet potato for bioethanol production at laboratory, pilot and industrial scales*", *Bioresource technology*, Vol. 102, N°6): pp. 4573-4579, 2011.