

Original Article

## Valorisation énergétique de la betterave sucrière

Mimouna YAKOUBI<sup>1,2,\*</sup>, Ahmed BOULAL<sup>1</sup>, Younes BAKACHE<sup>1</sup>, Hafida GAFFOUR<sup>1</sup> & Boudjemaa BENALI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URER MS. Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 01000, Adrar, Algérie.

<sup>2</sup>Bioactive Molecules & Chiral Separation Laboratory/Phytochemistry & Organic Synthesis Laboratory.

\*Auteur correspondant. Email: amounyak@yahoo.fr

Mots clés :

Betterave à sucre  
Bioéthanol  
Fermentation alcoolique  
Distillation  
Biomasse

**Résumé**

La valorisation énergétique des produits et sous-produits des industries agroalimentaires (Biomasse) en biocarburant s'inscrit dans une démarche économique, agroalimentaire et environnementale. Le bioéthanol s'est imposé depuis longtemps comme le biocarburant numéro un dans le monde et le marché du bioéthanol a poursuivi son expansion rapide au cours de ces dernières années. L'utilisation croissante du bioéthanol comme alternative aux carburants fossiles est un fait acquis depuis plusieurs années dans de nombreux pays.

L'éthanol est un composé à usages très variés allant de la chimie à l'agroalimentaire. Cependant, la croissance actuelle du marché se fait essentiellement autour de l'utilisation de l'éthanol en tant que carburant.

Après une recherche bibliographique sur la production du bioéthanol, on a trouvé que la canne à sucre et la betterave sucrière sont les matières premières qui fournissent les meilleurs rendements en éthanol par hectare cultivé dans lequel le bioéthanol produit à partir de betterave sucrière cultivé dans la région d'Adrar fait l'objet de cette étude.

Keywords:

Sugar beet  
Bioethanol  
Alcoholic fermentation  
Distillation  
Biomass

**Abstract**

**Energy recovery of sugar beet.** Energy recovery from products and by-products of the agro-Food Industry (Biomass) into biofuel is part of an economic and environmental approach. Ethanol is a compound with a wide usage range from chemistry to food. However, the current market growth mainly concerns the use of ethanol as fuel. We are interested in the sugar beet, because of his wealth in sugar that is going to transform in bioethanol by a process of anaerobic, alcoholic fermentation, and distillation. As a reminder, the fermentation is the conversion of sugar into ethanol and carbon dioxide.

In a bioreactor (a laboratory fermentor) of 2l was introduced beet wort. The ethanol processing is done through action microorganisms which the best known are yeasts *Saccharomyces cerevisiae* (yeast Baker). The bioreactor is immersed in a water bath where the temperature is fixed at  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ , during a period of 72 hours. The ethanol is produced by the distillation in two times of beet juice fermented. The temperature of distillation is in the order of  $78^\circ\text{C}$ . The content in alcohol of our distillate is measured by the Alcoholmeter.

The analysis of the alcohol constituents was carried out by GC-FID on Perkin Elmer " Clarus 500 " gaz chromatograph of research unit URER/MS (Adrar, Algeria), using the retention time obtained by injection of absolute ethanol etalon (99%) in the same conditions. We managed to produce the bioethanol from sugar beet of the region of Adrar (township of Timmi) and with a degree satisfaisant of 88%. The alcohol produced in the laboratory level has following characteristics: volatile, flammable, limpide and with a pungent odor.

## INTRODUCTION

L'utilisation intensive des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon) depuis 150 ans place aujourd'hui l'homme devant un double défi : l'augmentation de l'effet de serre aux conséquences climatiques catastrophiques, et l'épuisement prévisible de ces sources d'énergie du sous-sol.

L'éthanol fabriqué à partir des sucres fermentescibles contenus dans les végétaux est un biocarburant qui présente un grand potentiel comme substitut à l'essence (CRAAQ, 2008). C'est le composé majoritaire produit par les levures *Saccharomyces cerevisiae* à partir des sucres en C<sub>6</sub> au cours de la fermentation alcoolique (Akin, 2008). À l'heure actuelle, la betterave sucrière fournit environ 26 % de la production mondiale du sucre (Bouzrara *et al.*, 2001 ; Arzate, 2005). Sa richesse moyenne en sucre varie de 15 à 20 % de son poids (Tableau 1).

**Tableau 1.** Rendement de l'éthanol en fonction de la matière première (Tiré de Worldwatch Institute).

Culture	Rendement (l/h)
Canne à sucre	6000
Betterave à sucre	5000
Maïs-Grain	3000
Blé	2500
Orge	1000

La betterave à sucre est une plante dicotylédone qui appartient à la famille des *Chénopodiacées* (Arzate, 2005 ; Gentil, 2009). C'est une plante bisannuelle qui emmagasine des réserves de saccharose (fabriqué au niveau des feuilles via la photosynthèse) dans sa racine durant la première année de croissance végétative et s'en sert pour passer l'hiver et assurer sa floraison la deuxième année. La racine est presque entièrement enfouie dans le sol et mesure entre 15 et 35 cm de long. Elle est conique, parcourue par deux sillons, et possède un collet plat (Roggo, 2003 ; Gentil, 2009). Tel qu'indiqué au Tableau 2, la betterave récemment récoltée contient 75,9 % d'eau, 2,6 % de composants non-sucrés, 16,0 % de sucre et 5,5 % de pulpe. La pulpe est composée de cellulose insoluble, d'hémicellulose et de pectine (Pennington *et al.*, 1990 ; Arzate, 2005).

**Tableau 2.** Composition moyenne de la betterave sucrière.

Composants	Teneur (%)
Eau	75.9
Non sucrés	2.6
Sucres	16.0
Pulpe Totale	5.5

## MATERIEL ET METHODES

### Matériel végétal

On s'est intéressé à la betterave sucrière, en raison de sa richesse en sucre qui va se transformer en bioéthanol par un procédé de fermentation anaérobie et de distillation. Les échantillons de betteraves sont prélevés de la commune d'Ouled Ahmed Timmi (Le territoire de la commune se situe au centre-ouest de la wilaya d'Adrar, sud-ouest algérien).

### Le processus de fabrication

La fabrication d'éthanol est un procédé connu depuis très longtemps. L'éthanol produit à partir de betterave peut être issu de différents substrats tels que le jus vert, la mélasse ou même les eaux usées d'une fabrique de sucre. Cette étude se concentre, sur la production d'éthanol à partir de jus sucré. Les étapes de broyage, dilution, fermentation alcoolique et enfin la distillation décrites ci-après sont indispensables quel que soit le substrat considéré (Fromentin *et al.*, 2000).

**Lavage :** Le lavage à l'eau est nécessaire afin de les débarrasser des corps étrangers.

**Broyage et dilution:** Les betteraves, une fois nettoyées, sont broyées à l'aide d'un broyeur et diluées afin de produire un jus sucré (la dilution a l'objet de créer un milieu favorable pour la croissance des microorganismes).

**Fermentation :** Dans un bioréacteur (un fermenteur de laboratoire), on a introduit le moût de betterave. L'ajout de levure du genre *Saccharomyces cerevisiae* (la levure boulangère) (Ould el hadj *et al.*, 2006) entraîne la fermentation anaérobie des sucres. Cette réaction se produit pendant une période de l'ordre de 72 heures (Boulal *et al.*, 2010; Chniti *et al.*, 2014). Les produits résultant de cette réaction sont l'éthanol et le dioxyde de carbone. Le bioréacteur est immergé dans un bain-marie où la température est fixée à 30 ± 2°C (Mehani *et al.*, 2013).

**Distillation :** La liqueur fermentée contient entre 8 et 15 % d'éthanol. Ce dernier est séparé de la liqueur par un système de distillation à plusieurs colonnes qui fournit un éthanol plus purifié. La température de distillation est de l'ordre de 78°C (Boulal *et al.*, 2010).

### Le rendement

Le rendement de bioéthanol produit a été calculé en tenant compte du volume de moût de betterave introduit dans le bioréacteur.

### La teneur en alcool

La teneur en alcool de notre distillat est mesurée par un alcoomètre.

**Le test de dichromate**

En milieu acide, l'éthanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) est oxydé par le dichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) pour donner une coloration verte.

**Analyses par Chromatographie en phase gazeuse**

L'analyse des échantillons de bioéthanol est faite à l'aide d'un Chromatographe Perkin Elmer "Clarus 500" équipé d'une colonne capillaire apolaire (Rtx-1, 30 m ; 0,25 mm et la taille des particules de la colonne est de 0,25  $\mu\text{m}$ ).

La température a été programmée pour une élévation de 60 à 140 °C, à raison de 3 °C/min, suivie par un palier de 10 min à 240 °C. L'injecteur et le détecteur à ionisation de flamme (FID) étaient respectivement à 220 °C et 240 °C ; le gaz vecteur utilisé était l'azote. L'injection se fait par mode Split.

La quantité de bioéthanol injectée était de 5  $\mu\text{l}$ .

La confirmation et l'identification du produit fini est basé sur la comparaison avec le chromatogramme d'éthanol absolu injecté dans les mêmes conditions.

**RÉSULTATS ET DISCUSSION****Aspect**

L'éthanol produit au niveau du laboratoire a les caractéristiques suivantes: volatil, inflammable, limpide et possédant une odeur piquante. Le test de dichromate confirme la présence d'éthanol dans la solution.

**Le rendement**

Le rendement du bioéthanol est le rapport entre la masse de betterave sucrière introduite dans le réacteur de fermentation par le volume de bioéthanol produit. Le rendement moyen en alcool est de 0.28%.

**Caractérisations physico-chimiques du produit fini**

Les résultats sont très acceptables. Ils sont représentés dans le Tableau 3. D'après les comparaisons effectuées, nous pouvons dire que le bioéthanol est un carburant très proche de l'éthanol absolu, tant au niveau des caractéristiques physicochimique qu'au degré de pureté. De plus, ils possèdent la même odeur.

**Tableau 3.** Caractérisations physico-chimiques de produit fini.

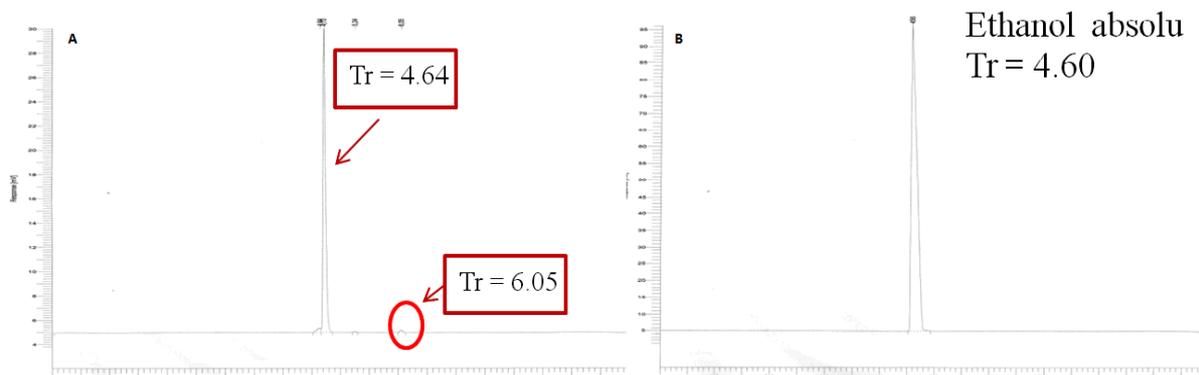
Paramètre	Bioéthanol	Ethanol Absolu
PH	6,2	Neutre
Densité ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0,834	0,789
Indice de réfraction (à 20°C)	1,367	1,3611
Degré de pureté (%)	88	99

**Composition chimique de produit fini (CPG)**

L'analyse chromatographique du liquide issu de betterave a permis de le classer selon son temps de rétention, dans la catégorie des produits volatils. L'objectif est de déterminer la composition du mélange par sa comparaison avec l'éthanol absolu injecté dans les mêmes conditions ; les

chromatogrammes sont présentés dans les Figures 1.

Les résultats de la chromatographie des deux produits montrent que le produit fini contient de l'éthanol comme produit majoritaire (96.83%) et quelques traces d'autres produits non identifiés (0.21 et 0.75 %).



**Figure 1.** (A) Chromatogramme du bioéthanol issu de betterave sucrière ; (B) Chromatogramme d'éthanol absolu.

## CONCLUSION

Le bioéthanol est à ce jour la seule énergie renouvelable immédiatement disponible pour remplacer partiellement l'essence et participer activement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les transports.

Le travail présenté répond à l'objectif fixé. Il a montré qu'on peut produire le bioéthanol à partir d'une matière première locale telle que la betterave sucrière de la région d'Adrar et avec un degré de pureté satisfaisant. Cependant, nous allons reformuler les paramètres pour avoir des résultats meilleurs à l'avenir.

## REFERENCES

- Akin M.H. 2008. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de moûts de raisins : modélisation et interprétation métabolique. Thèse de doctorat. INP Toulouse. 136 p.
- Arzate A. 2005. Extraction du sucre de betterave. Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture (Le Centre ACER Inc.), Saint-Norbert, (Québec). 40 p.
- Ballerini D., Alazard-toux N. 2006. Les Biocarburants: état des lieux, perspectives et enjeux du développement (Éd., THECHNIP) France. 348 p.
- Boulal A., Benali B., Moulai M., Touzi A. 2010. Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. *Revue des Energies Renouvelables*. 13: 455-463.
- Bouzzara H., Vorobiev E. 2001. Non-thermal Pressing and Washing of Fresh Sugar beet Cossettes Combined with a Pulsed Electrical Field. *Zuckerindustrie*. 126: 463-466.
- Chniti S., Djelali H., Bentahar I., Hassouna M., Amrane A. 2014. Optimisation de l'extraction des jus de sous-produits de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) et valorisation par production de bioéthanol. *Revue des Energies Renouvelables*. 17: 529 – 540.
- CRAAQ. 2008. La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales. Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Publication n° EVC 029. 15 p.
- CRAAQ. 2008. La production d'éthanol à partir de matière lignocellulosique. Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. Publication N° EVC. 030. 22 p.
- Fromentin A., Biollay F., Dauriat A., Lucas-porta H., Marchand J.D., Sarlos D. 2000. Caractérisation de filières de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. Office fédéral de l'énergie, Rapport final. Lausanne (Suisse). 120 p.
- Gentil M.V. 2009. Contrôle épigénétique du risque de montaison chez une plante de grande culture : la betterave sucrière. Mise au point d'une stratégie de caractérisation d'épiallèles associés à la sensibilité à la montaison en vue de l'élaboration d'un test de sélection. Thèse de doctorat. Université d'Orléans. 296 p.
- Mehani I., Boulal A., Bouchekima B. 2013. BioFuel Production from Waste of Starting Dates in South Algeria. *World Academy of science, Engineering and technology*. 80: 1039-1041.
- Ould el hadj M.D., Bitour Z., Siboukeur O. 2006. Etude de la production de levure boulangère (*Saccharomyces cerevisiae*) cultivée sur mout de rebuts de dattes. *Courrier du Savoir*. 7 :13-18.
- Pennington N.L., Baker C.W. 1990. Sugar : A User's Guide to Sucrose. AVI Book. USA. 331 p.
- Riess J. 2012. Intensification de la brique "fermentation alcoolique" de substrats betteraviers (et autres substrats) pour la production d'éthanol. Thèse de doctorat. INP Toulouse. 178 p.
- Roggo Y. 2003. Détermination de la qualité de la betterave sucrière par spectroscopie proche infrarouge et chimométrie. Thèse de doctorat. Université des Sciences et Technologies de Lille. 192 p.