



# Procèdes expérimentales sur la production de bioéthanol de deuxième génération à partir des sous- produits des palmiers dattiers

Boulal Ahmed<sup>\*1</sup>, Khelafi Mostefa<sup>1</sup>, Kaidi Kamel<sup>1</sup>

*1Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URER/MS,  
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 01000, Adrar, Alegria.*

*\*a.boulal@urerms.dz*

**Abstract**—The energy recovery of biomass waste from plant sources into biofuel is part of an economic and environmental approach. Bioethanol (biofuel) has long been recognized as the number one biofuel in the world and the bioethanol market has continued to expand rapidly in recent years. The increasing use of bioethanol as an alternative to fossil fuels has been a fact of life for several years in some countries. From another point of view in the Saharan regions, the date palm which constitutes the axis of agriculture, offers a wide range of agricultural by-products, traditionally used for domestic purposes. Estimating the tonnage of by-products that can be used in second-generation bioethanol (date pedicels and dry palms), has shown that they are available with appreciable annual tonnages, in the order of 243 000 tonnes of leaflets dry palms and 15 603 tonnes for date pedicels. The study that was done on the production of bioethanol by anaerobic fermentation using the yeast *Saccharomyces cerevisiae*, after steam cracking and acid hydrolysis of these by-products, gave us results showing that these by-products can be converted into bioethanol 75 ° in concentration with a yield of 10ml per 50g of the substrate.

**Keywords**—Energy recovery- Byproducts- Biofuels- Extraction- Fermentation- *Saccharomyces cerevisiae*.

## I. INTRODUCTION

Les biocarburants sont nés de la recherche d'une alternative à la dépendance au pétrole. Au fil du temps, ils sont aussi devenus une source de préoccupation affectant divers secteurs d'activités économiques, en particulier celui de l'agriculture [1].

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 au Brésil et aux Etats-Unis.

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est la plus importante culture des zones arides et semi-arides. Il joue un rôle important dans la vie économique et social des populations de ces régions [3]. C'est un arbre d'un grand

intérêt en raison de sa productivité élevée, de la qualité nutritive de ses fruits très recherchés et de ses facultés d'adaptation aux régions sahariennes. En plus de ses rôles écologique et social, le palmier dattier contribue essentiellement, dans le revenu agricole des paysans et offre des dattes et une multitude de sous-produits à usages domestique, artisanal et industriel. Cependant la culture de cette espèce, considérée comme un arbre fruitier essentiel dans de nombreux pays n'a pas évolué et n'a pas connu d'amélioration au niveau des techniques phoenicicoles utilisées [3].

En Algérie, la culture du palmier dattier est essentiellement localisée dans les wilayates sahariennes. On estime le nombre à 18 millions de palmiers dattiers [4] dont 76 % productifs donnant une production annuelle d 848 000 tonnes de dattes [5]. Outre sa production de dattes pour l'alimentation humaine, le palmier dattier, offre une large gamme de sous-produits (palme sèche et pédicelle) exploités par la population saharienne, à savoir palmes sèches, utilisées comme clôtures, brises vent, dans la confection de couffins, de chapeau, etc., ils peuvent même servir en industrie de papier [6]; les régimes de dattes, comme balais traditionnels, et comme combustibles; le liffé pour la confection des semelles de sandales; l'alimentation du bétail. Aussi, ces sous-produits peuvent être transformé, par des procédés biotechnologiques en biocarburant, substance énergétique qui peut remplacer le pétrole léger, ou au moins permettre le coupage de l'essence (5 à 10 %) [2].

C'est pour une utilisation rationnelle de ces sous-produits que s'inscrit notre travail, qui consiste en une étude sur les procédés de production de bioéthanol à haute concentration.

## II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### A. Matériel végétale

On s'est intéressé au sous-produit des palmiers dattiers (palme sèche et pédicelle), en raison de sa richesse en



cellulose qui va se transformer en bioéthanol par un procédé de fermentation anaérobie et de distillation,

a) L'estimation du tonnage de chaque sous-produit est basée sur l'enquête réalisée sur terrain et les données de la

direction de service Agricole d'Adrar (DSA) et les données bibliographiques.

b) Les sous-produits du palmier dattier utilisés, à savoir, palmes sèches et pédicelles de dattes, sont récoltés de l'exploitation agricole de l'INRAA d'Adrar.

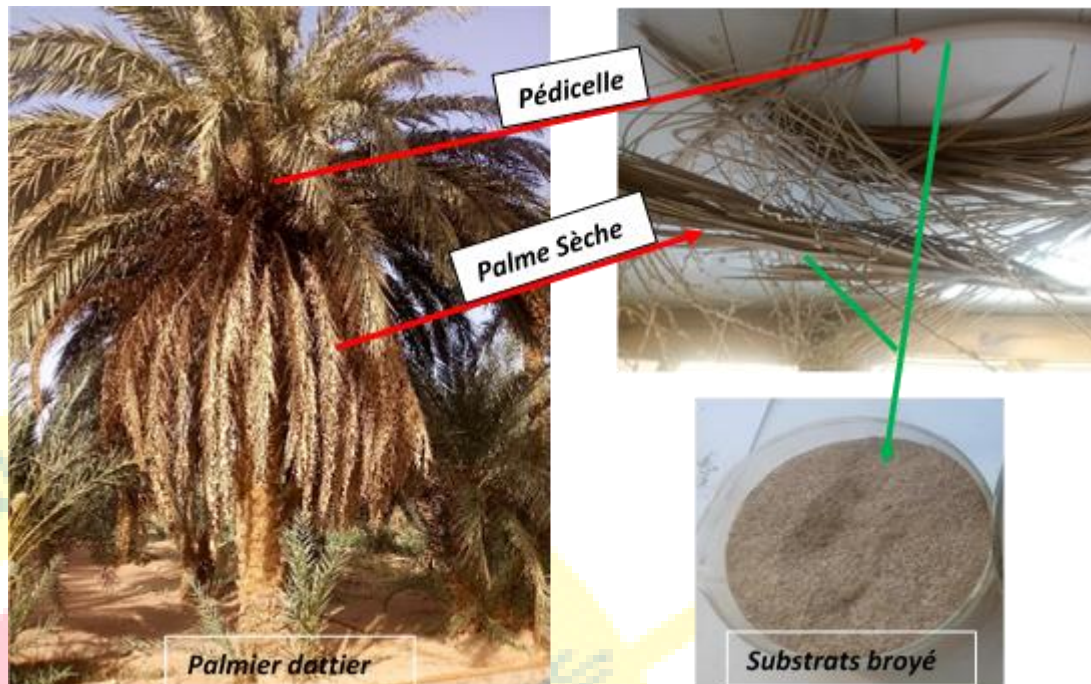


Fig1 : Substrat de fermentation

### B. Matériel biologique

Le micro-organisme utilisé est la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae* industriel.

*Saccharomyces cerevisiae* est une cellule sphérique, ovoïde ou allongée de taille très variable « 3-10µm x 4-14µm » [7].

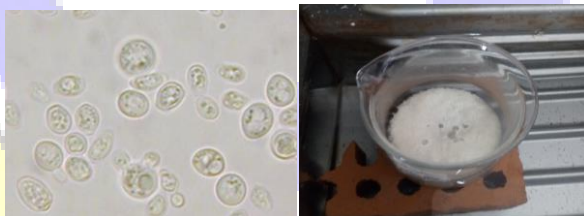


Fig2. Matière biologique de fermentation

### C. Les processus de production de bioéthanol

La fabrication d'éthanol est un procédé connu depuis très longtemps. L'éthanol produit à partir des sous-produits des palmiers dattiers 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, vapocraquage, hydrolyse acide, dilution, fermentation alcoolique et enfin la distillation décrites ci-après sont indispensables quel que soit le substrat considéré [8].

**Broyage :** pour augmenter sa surface spécifique (surface développée de la poudre par unité de masse).



# Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

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



**Prétraitement à la vapeur / steam explosion:** un procédé thermo-mécanochimique qui hydrolyse la matière lignocellulosique [9].

**Hydrolyse acide :** pour rompre les liaisons osidiques et produire des monomères [9].

**Dilution:** 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 préparé.

L'ajout de levure du genre *Saccharomyces cerevisiae* (la levure boulangère) [10] entraîne la fermentation anaérobie des sucres. Cette réaction se produit pendant une période de l'ordre de 72 heures [11,2]. 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  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  [12].

**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  $78^\circ\text{C}$  [11].

**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 [13].

### III. RESULTATS ET DISCUSSION

#### A. Estimation du tonnage des sous-produits du palmier dattier

##### 1. Les palmes sèches

En se basant sur le fait que :

- une foliole pèse en moyenne 5 g [14.15],
- une palme comporte en moyenne 180 folioles [14.15],
- un palmier dattier donne moyennement 15 palmes par an [14.15],

- On dénombre vers 18 millions de palmiers dattiers en Algérie [4].

On peut estimer le tonnage de la partie consommable des palmes sèches de la façon suivante :

$$05 \times 180 = 900\text{g}; \text{ soit } 0.9 \text{ kg / palme}$$

$$0.9 \times 15 = 13.5 \text{ kg / palmier / an}$$

$$13.5 \times 18\,000\,000 = 243\,000\,000 \text{ kg.}$$

$$\text{Soit : } 243\,000 \text{ tonnes de palmes sèches / an.}$$

##### 2. Les pédicelles de dattes

De la même façon et en se basant sur le fait que :

- un épillet (pédicelle) porte en moyenne 35 dattes [14],
- une datte pèse en moyenne 7 g; donc un pédicelle porte  $7 \times 35 = 245$ ,
- un pédicelle pèse en moyenne 4.5 g [14];
- le poids du pédicelle de 4.5 par rapport au poids de dattes qu'il porte, de 245g, représente 1.84 % de pédicelles pour un kg de dattes.

En sachant que la production algérienne de dattes est estimée à 848 000 tonnes par an [5], on peut estimer le tonnage des pédicelles de dattes comme suit :

$$848\,000 \times 0.0184 \% = 15\,603 \text{ tonnes}$$

$$\text{Soit : } 15\,603 \text{ tonnes de pédicelles / an.}$$

#### B. Suivie de transformation de cellulose

TABLE 1. LE TAUX DE CELLULOSE AVANT L'HYDROLYSE

N° d'Echantillon	% Cellulose avant l'hydrolyse	% Cellulose après hydrolyse
01	27.21	6.96
02	30.65	4.09
03	28.54	8.90
Moyenne	28.80	6.65



Fig 3. Dispositif expérimental de la fermentation alcoolique

**Dosage de la cellulose:** Insoluble cellulosique (WEENDE, NF-V-03-040).

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

**La teneur en alcool :** La teneur en alcool de notre distillat est mesurée par un alcoomètre ( $0-100^\circ$ ).



**Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

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



*D. 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.

*D. Le rendement*

Le rendement du bioéthanol est le rapport entre la masse de substrat introduite dans le réacteur de fermentation par le volume de bioéthanol produit. Le rendement moyen en alcool est de 20% avec un degré de (75°).

*E. Caractérisations physico-chimiques du produit fini*

Les résultats obtenus 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, il possède la même odeur.

TABLE 3. CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DE PRODUIT FINI.

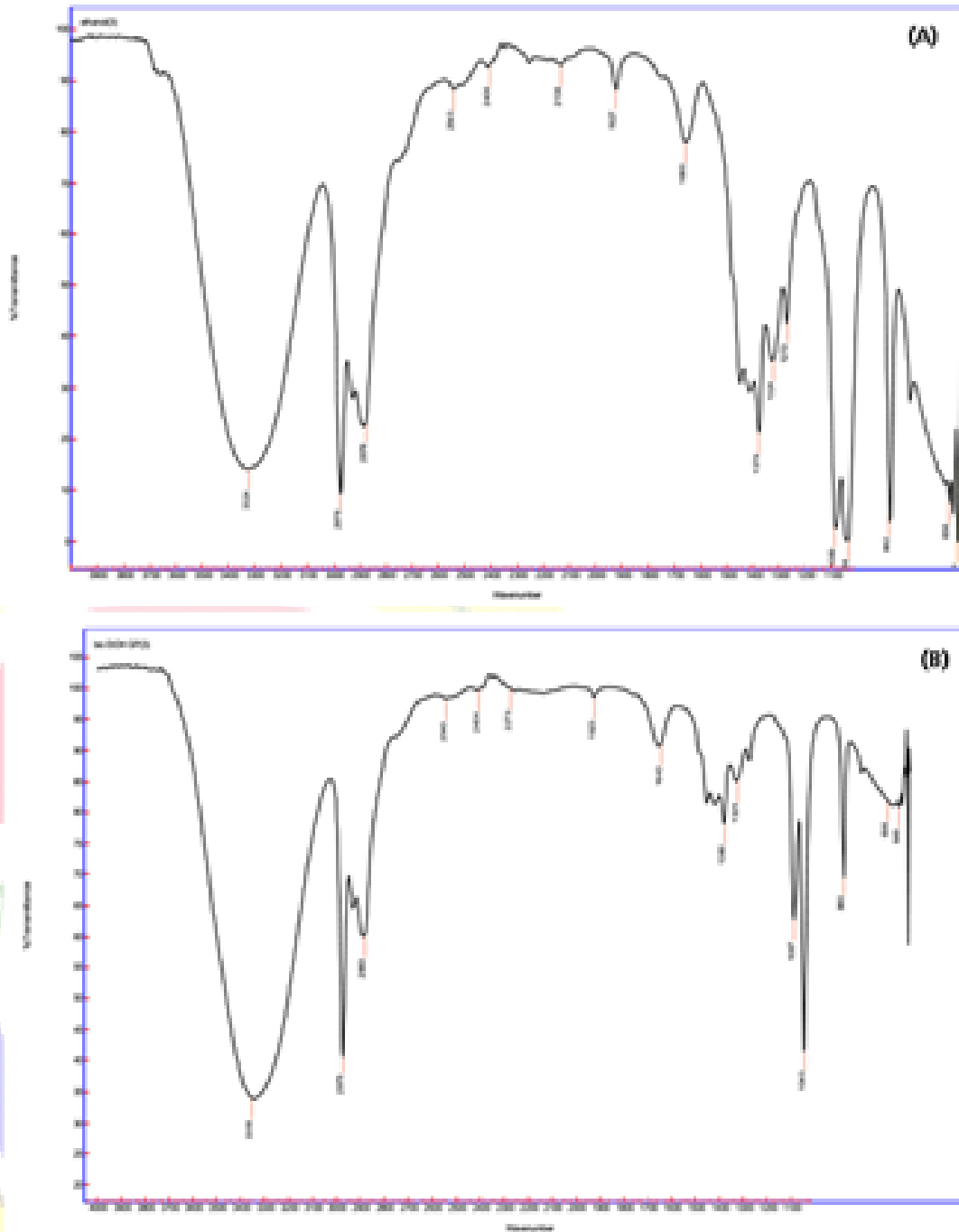
Paramètre	Bioéthanol	Ethanol commerciale 96°
pH	6.2	Neutre
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	0.834	0789
Indice de Réfraction (20°C)	1.367	1.3611
Degré de pureté (%)	75	96

*F. Spectre Infra Rouge du produit final* On remarque les vibrations des bandes suivantes:

- 2990 cm<sup>-1</sup>: Vibration de valence correspondant au groupement C-H d'un alcane;
- 3300 cm<sup>-1</sup>: Vibration de valence correspondant O-H spécifique d'un alcool;
- 2990 cm<sup>-1</sup>: Vibration de valence correspondant au groupement C-O d'un alcool.

Il est à noter que l'alcool préparé se confond avec un alcool éthylique C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, (Fig.4).





bioéthanol obtenu;  
(B) Spectre d'éthanol commercial.

Fig 4. Spectre IR  
de l'éthanol (A)  
Spectre du



**Le 5<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 5<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

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



#### IV. CONCLUSION

Le bioéthanol est à ce jour la seule énergie renouvelable immédiatement disponible pour remplacer partiellement l'essence et participe 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 disponible avec un tonnage très important riche en sucre complexe (lignocellulosique), le bioéthanol obtenu possède un degré de pureté satisfaisant. Cependant, nous allons optimiser les paramètres du procédé de fermentation pour avoir des résultats meilleurs à l'avenir.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. Quadu. Biocarburants, territoires et agriculture. Sous la direction scientifique de T. Bréchet. CPDT (Conférence Permanente du Développement Territoriale), N°45. October 2014.
- [2] S. Chniti, H. Djelal, I. Bentahar, M. Hassouna et A. Amrane. Optimisation de l'extraction des jus de sous-produits de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) et valorisation par production de bioéthanol. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 17 N°4 (2014) 529 – 540
- [3] H. Sedra My. Le Bayoud du palmier dattier en Afrique du Nord. (2003), FAO, RNE/SNEA-Tunis. Editions FAO sur la protection des plantes. Imprimerie Signes, Tunis, Tunisie 2003, 125p
- [4] (Statistiques de la FAO, Ghobri et al., 2012). FAO Statistics (2015). Food, and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat3.fao.org/home/index.html>
- [5] CACI. (2015). Analyse Statistique du Marche Mondial de la Datte et Place de l'Algérie.
- [6] T. Kachmoula. Etude du Papier Fabriqué des Palmes de Dattier selon la Méthode de Polysulfide. 1<sup>ier</sup> Symposium sur le Palmier Dattier, Univ. El hassa, Arabie Saoudite, 23-25 mars 1982.
- [7] Y. Sanchez Gonzalez. Etude de l'adaptation et de la gestion de l'activité cellulaire dans un bioréacteur biétagé : intensification de la production d'éthanol. These du doctorat de l'Université de Toulouse 2008. Pp 25.
- [8] A. Fromentin, F. Biollay, A. Dauriat, H. Lucas-porta, J.D. Marchand, D. Sarlos. 2000. Caractérisation de filières de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. Office fédéral de l'énergie, Rapport final. Lausanne (Suisse). 120 p.
- [9] N. Eloutassi, B. Louaste, L. Boudine 2 et A. Remmal. Valorisation de la biomasse lignocellulosique pour la production de bioéthanol de deuxième génération. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 17 N°4 (2014) 600 – 609
- [10] M. D. Ould el hadj, Z. Bitour., O. Siboukeur. Etude de la production de levure boulangère (*Saccharomyces cerevisiae*) cultivée sur mout de rebuts de dattes. *Courrier du Savoir*. 7 :13-18. 2006.
- [11] A. Boulal, B. Benali., M. Moulai, A. Touzi. Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. *Revue des Energies Renouvelables*. 13: 455-463. 2010.
- [12] I. Mehani, A. Boulal, Bouchekima. BioFuel Production from Waste of Starting Dates in South Algeria. *World Academy of science Engineering and technology*. 80: 1039-1041. 2013.
- [13] M. YAKOUBI, A. BOULAL, Y. BAKACHE, H. GAFFOUR & B. BENALI. Valorisation énergétique de la betterave sucrière. ISSN 2490-4392, *Journal of Bioresources Valorization*, 2016 Vol. 1 (1), pp (52-55), <http://www.biolival.com/index.php/revue/archives-jvb>
- [14] A. Chehma 1 et HF. Longo2001. Valorisation des Sous-Produits du palmier dattier chez les ovins. *Recherche Agronomique (2CKh3, 7, 7.15 INRAA*