

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Ahmed Draïa Adrar



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Thème :

Contribution à l'étude de la valorisation énergétique
des fruits de *Balanites aegyptiaca* dans la région
d'Adrar

Préparé par :

Mlle. AMMAR Mebarka

Mlle. MESSAOUDI Fatma Zohra

Membres de jury d'évaluation :

M. HARROUZ Abdelkader	Président	MCA	Univ. Adrar
M. BOULAL Ahmed	Encadreur	MCA	Univ. Adrar
M. HADRI Kamel	Co-encadreur	MR	URER/MS. Adrar
Mlle. YAKOUBI Mimouna	Examineur	MAA	Univ. Adrar

Année Universitaire : 2019/2020



Dédicaces



Je remercie tout d'abord ALLAH de m'avoir aidé à réaliser ce travail

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille

A mes amis et mes collègues de la promotion A toute personne qui me connaît

A celui qui m'a encouragé et soutenu dans mes moments les plus difficiles



Mlle: Mebarka A.





Dédicaces



*Je remercie tout d'abord ALLAH de
m'avoir aidé à réaliser ce travail*

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

A mon Père,

A ma Mère (الله والديه) ,

A mes frères et sœur,

A mon fiancée,

A toute ma famille,

A tous mes amis,



Mlle : Fatma Zohra.



Remerciements

Nous remercions le Dieu qui nous a donné courage et la patience jusqu'au bout de nos études.

Ce travail a été réalisé au laboratoire de l'Unité de Recherche en Energie Renouvelables en Milieu Saharien (URER/MS- Adrar) et au niveau du laboratoire de l'université Ahmed Draya-Adrar.

On tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de nos travaux lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous tenons tout particulièrement à témoigner notre profonde gratitude à notre Directeur de mémoire, Dr. **BOULAL Ahmed**, Maitre conférence "A" au Département de Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université Ahmed Draïa- Adrar, qui a dirigé ce travail de mémoire, et pour son aide et ses conseils précieux;

Un grand merci à **Mr. HADRI Kamel**, Attaché de recherche à l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien pour l'encadrement et tous ce qu'il nous a fait.

Mes sincères remerciements vont également aux membres de jury :

Dr. **HARROUZ Abdelkader**, Maitre conférence "A" au Département de des Hydrocarbures et Energies Renouvelables à l'Université Ahmed Draïa- Adrar, comme président,

M^{elle} YAKOUBI Mimouna, Maitre assistant "A" Département des sciences de la Nature et de la vie à l'Université Ahmed Draya- Adrar, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Tous les chercheurs (es) et laborantins (es) de l'URERMS, ainsi que l'équipe de laboratoire de l'université d'Adrar pour leur aide.

Sans oublier, à exprimer nos vifs remerciements à tous les Masters de Génie Chimique « promotion 2020».

MERCI ...

Sommaire

	Page
Dédicace.....	I
Remerciements.....	III
Résumé.....	IV
Abstract	V
Liste des figures.....	XI
Liste des photos.....	XIII
Liste des tableaux.....	XIV
Liste des abréviations.....	XV
Introduction générale.....	1
Chapitre I: <i>Balanites aegyptiaca</i>	
I.1.Définition.....	5
I.2. Généralités sur le <i>Balanites aegyptiaca</i>	5
I.2.1.Description de <i>Balanites aegyptiaca</i>	5
I.2.2.Classification botanique	6
I.2.3. Morphologie	6
I.2.4. Ecologique.....	8
I.2.5.Distribution dans le monde	8
I.2.6.Distribution dans l'Algérie	9
I.3. Le fruit de dattier du désert.....	10
I.3.1.Définition et description du fruit	10
I.3.2. les constituants du fruit de <i>Balanites aegyptiaca</i>	11
I.3.3.Analyse chimique.....	12
I.3.4. Les différentes utilisations.....	12
I.3.4.1 Utilisation en alimentation.....	13
I.3.4.2 Utilisation en médecine traditionnelle.....	13
I.3.4.3.Autres utilisations	13
I.4. Commercialisation des produits de <i>Balanites aegyptiaca</i>	13
Chapitre II: le bioéthanol	
II.1. Définition	15
II.2. Généralités de l'éthanol.....	15

II.2.1. Propriétés physiques.....	15
II.2.2. Propriétés chimiques.....	16
II.2.3. Utilisation de l'éthanol.....	16
II.2.3.1.Éthanol comme carburant.....	17
II.2.3.2. Autres utilisations.....	17
II.2.4. Incendie – Explosion.....	17
II.2.5. Toxicocénitique et Métabolisme.....	18
II.2.6. Surveillance Biologique de l'exposition.....	18
II.2.7. Évolution de la production mondiale d'éthanol.....	18
II.3. Production du bioéthanol	19
II.4. Bioéthanol à partir de sucre / amidon (première génération).....	20
II.4.1. Le bioéthanol de première génération.....	20
II.4.2. Bioéthanol produit à partir de sources lignocellulosiques (deuxième génération).....	20
II.4.3. Bioéthanol à partir des algues (troisième génération)	21
II.5. Les avantages et les inconvénients de l'éthanol sur l'essence.....	21
II.6. La production de la levure.....	23
II.6.1. Données sur <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	23
II.6.1.1 Définition.....	23
II.7. Fermentation.....	24
II.7.1. Définition.....	24
II.7.2. Réaction biochimique de la fermentation	24
II.7.3. Réaction biochimique de la fermentation	25
II.8. Distillation alcoolique.....	25
II.9. Rectification.....	26

Chapitre III: Matériels et Méthodes

III.1. Matériels utilisé.....	29
III.1.1. Appareillages et Verreries	29
III.1.2. Produits Chimiques et réactifs.....	29
III.2. Matériel végétal.....	30
III.2.1. Le choix du substrat.....	30
III.2.2. Lieux de prélèvement.....	30
III.3. Matériel biologique.....	31

III.4. Etapes de production de bioéthanol.....	31
III.4.1. Préparation de moût des fruits de dattier du désert.....	31
III.4.2.Procédé de fermentation.....	33
III.4.3.Distillation alcoolique	33
III.5. Techniques analytiques Physico-chimiques et biochimiques.....	35
III.5.1. Analyse morphologique	35
III.5.2.Taux des sels minéraux	35
III.5.3.La teneur en protéines (Méthode de Kjeldahl)	36
III.5.4. Détermination de la teneur en matière gras par soxhlet	38
III.5.5. Détermination du volume de CO ₂ dégagé.....	38
III.5.6.Détermination du pH.....	39
III.5.7. Détermination de la teneur en sucre méthode du Dubois 1956...	40
III.5.8. Comptage par la cellule de Malassez	42
III.5.9.Détermination du degré alcoolique.....	43
III.6. Caractérisation du produit final issue de dattier du désert.....	44
III.6.1. Paramètre physique.....	44
III.6.1.1. L'indice de réfraction.....	44
III.6.1.2.Détermination de la densité	45
III.6.1.3. Analyse spectroscopique d'absorption IR.....	45
Chapitre IV : Résultats et Discussion	
IV.1. Résultats morphologiques des fruits du dattier de désert.....	47
IV.2. Résultats de l'analyse physico-chimique de la matière première (Fruits de dattier du désert).....	48
IV.3.Résultat des dilutions étudiées.....	49
IV.4. Résultats d'analyse physico-chimique pendant la fermentation alcoolique	49
IV.4.1. Le pH.....	49
IV.4.2.Résultat du volume de CO ₂ dégagé au cours de la fermentation	50
IV.4.3.Taux des sels minéraux.....	51
IV.4.4.La densité.....	51
IV.4.5.L'indice de réfraction.....	52
IV.4.6.Nombre de croissances des cellules de la levure.....	52
IV.4.7.Sucres réducteurs	53

IV.4.8.Degré alcoolique.....	54
IV.5. Résultats de l'analyse physicochimique du produit final.....	54
IV.5.1.Analyses de l'éthanol obtenu par distillation du moût de dattier du désert par spectrophotométrie IR.....	56
IV.6. Rendement pondéral.....	57
Conclusion générale et Perspectives.....	59
Références Bibliographiques.....	62

Liste des figures

	Page
Chapitre I: <i>Balanites aegyptiaca</i>	
Figure I.1	La morphologie du dattier de désert (Timyawine-Bordj Badji Mokhtar-Adrar, 2020)..... 7
Figure I.2	Rameau de <i>Balanite aegyptiaca</i> 7
Figure I.3	Répartition de <i>Balanite aegyptiaca</i> en Afrique en fonction des isohyètes 9
Figure I.4	La situation géographique de la région d'Adrar..... 10
Figure I.5	Fruit de dattier du désert..... 11
Figure I.6	Fréquences d'utilisation des différentes parties de <i>Balanites .aegyptiaca</i> dans la région de l'Ouaddaï..... 12
Chapitre II: Bioéthanol	
Figure II.1	Structure de la molécule d'éthanol..... 15
Figure II.2	Evolution de la production mondiale d'éthanol..... 19
Figure II.3	Production du bioéthanol à partir de la biomasse de première génération..... 20
Figure II.4	Production de bioéthanol à partir des sources lignocellulosiques..... 21
Chapitre III: Matériels et méthodes	
Figure III.1	La situation de la région de Timiawine en Algérie 30
Figure III.2	Courbe d'étalonnage de D(+) Glucose..... 41
Chapitre IV : Résultats et Discussion	
Figure IV.1	Evolution de la composition du fruit(%)..... 48
Figure IV.2	Evolution du pH durant la fermentation 50
Figure IV.3	Evolution du volume de CO ₂ durant la fermentation 50
Figure IV.4	Evolution du taux des sels minéraux durant la fermentation 51
Figure IV.5	Evolution de la densité durant la fermentation 51
Figure IV.6	Évolution de l'indice de réfraction durant la fermentation..... 52
Figure IV.7	Évolution de la croissance de la levure durant la fermentation..... 53
Figure IV.8	Évolution de la teneur en sucre réducteur durant la fermentation..... 53
Figure IV.9	Evolution du degré alcoolique durant la fermentation..... 54
Figure IV.10	Spectre d'Infrarouge du bioéthanol obtenu de <i>Balanites aegyptiaca</i> ... 56

Liste des photos

Chapitre II : Le Bioéthanol

Photo II.1	La souche de levure <i>Sacchromyces cerevisiae</i> au Microscope optique 400x	23
Photo II.2	Préparation de la levure (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>).....	24
Photo II.3	Dispositif de distillation fractionné.....	26

Chapitre III : Matériels et méthodes

Photo III.1	Imbibition des fruits de dattier du désert.....	31
Photo III.2	Dénoyautages des fruits du dattier de désert.....	31
Photo III.3	Les quatre dilutions	32
Photo III.4	Réactivation de la levure <i>Sacchromyces cerevisiae</i>	32
Photo III.5	Fermentation alcoolique	33
Photo III.6	Filtration de moût fermenté.....	34
Photo III.7	Montage de la distillation alcoolique.....	34
Photo III.8	Mesure des fruits à l'aide de Pied à coulisse.....	35
Photo III.9	Calcination dans le four à moufle.....	36
Photo III.10	Minéralisation.....	37
Photo III.11	Distillation Kjeldah.....	37
Photo III.12	Montage de récupération du CO ₂ dégagé O ₂	39
Photo III.13	Mesure de pH à l'aide d'un pH mètre.....	39
Photo III.14	Les échantillons pour les analyses du sucre.....	42
Photo III.15	Microscope optique.....	43
Photo III.16	Détermination de l'indice de réfraction a l'aide d'un réfractomètre..	44

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Photo IV.1	Le produit final (bioéthanol).....	55
Photo IV.2	Ethanol inflammable et volatil.....	55

Liste des tableaux

Chapitre II: Le Bioéthanol

Tableau II.1	Propriétés physiques de l'éthanol.....	16
Tableau II.2	Les avantages et les inconvénients du bioéthanol.....	21

Chapitre III : Matériels et méthodes

Tableau III.1	Propriétés des produits chimiques.....	29
Tableau III.2	Le taux de dilution	32

Chapitre IV: Résultats et discussions

Tableau IV.1	Les résultats moyens des analyses physiques des fruits du dattier de désert étudiés.....	47
Tableau IV.2	Les résultats des analyses physico-chimiques de la pulpe du fruit de dattier du désert.....	48
Tableau IV.3	Degré alcoolique des quatre dilutions	49
Tableau IV.4	Les résultats des analyses physicochimiques du produit final.....	55
Tableau IV.5	Groupements correspondant à la vibration de valence.....	57

Liste des abréviations

CBP: Consolidated Bioprocessing	IR : Infrarouge
cm: Centimètre	pH: Potentiel d'Hydrogène.
Dil: Dilution	P: Poids
(°): Degré d'alcool	T: Température.
d: Densité	t: Temps
EtOH: Ethanol	SCF: Société Chimique de France
FAO: Food Agriculture Organisation.	SHF: Separate Hydrolysis & Fermentation;
G: gramme.	SSF: Simultaneous Saccharification & Fermentation
h: Heure.	SSCF: Simultaneous Saccharification & Co-Fermentation
K: Constant de Balle	V: Volume.
Kg: kilogramme.	%: Pourcentage.
L: Litre.	EMV: Encyclopédie du Monde Végétal
M: Masse	AFNOR: Association de Française
MG: Matière Grasse.	CO₂ : Dioxyde de Carbone.
mL: Millilitre.	°C: Degré Celsius
min: Minute	
N: Normalité.	
INRS: Institut national de recherche et de sécurité	

Introduction

Générale

Introduction Générale

L'augmentation des émissions (polluants générés par la combustion) provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la libération de gaz à effet de serre dans l'atmosphère conduit énormément au réchauffement climatique, ce qui créerait une influence exagérée sur les systèmes écologiques à long terme (Jasmin, 2014; Azad et al, 2015; Dharma et al, 2016). Le CO₂ est principalement causé par la combustion de combustibles fossiles (Gopinath, 2014). En outre, la diversité des sources d'énergie doit être augmentée afin d'atteindre de faibles niveaux d'émission de CO₂ (Ajiskrishnan, 2015). D'un autre côté, le monde est depuis longtemps confronté au risque d'épuisement des combustibles fossiles en raison d'une utilisation inconsciente. En outre, l'épuisement des ressources pétrolières dans un proche avenir et la préoccupation socio-économique accrue concernant l'environnement ont conduit à développer des carburants durables et alternatifs à partir de sources renouvelables bon marché et respectueuses de l'environnement, la production de l'énergie par la biomasse est une technique efficace de conversion des ressources durables en énergie qui respecte le climat. Pour satisfaire à la fois aux problèmes énergétiques et écologiques, les biofuels à savoir le biogaz, le biodiesel, le bioéthanol et leurs dérivés représentent une alternative économique attrayante (Sindhu et al, 2016). Le bioéthanol peut être produit à partir de sources de biomasse, compris les résidus agricoles et forestiers, les vieux papiers et autres divers flux de déchets industriels, et finalement les cultures ligneuses et herbacées cultivées sur des terres sous-utilisées pour soutenir la production de bioéthanol à grande échelle. Une fois ajouté à l'essence, l'éthanol améliore la combustion du carburant, réduisant ainsi les émissions d'échappement de CO et des hydrocarbures non brûlés (Charles, 1996). Le bioéthanol a un taux en énergie inférieure de 35 à 40% par rapport à l'essence et une teneur en oxygène plus élevée de 35% ce qui rend la combustion plus propre et entraîne une faible émission des substances toxiques (Li et al, 2008). Le bioéthanol contribue à la réduction des émissions de CO₂ jusqu'à 80% par rapport à l'utilisation de l'essence, favorisant ainsi un environnement plus propre pour l'avenir (RENE, 2014; Elsanhoty, 2012).

Balanites aegyptiaca est un arbre forestier et fourrager, il a un rôle écologique et surtout médicinale, luttant contre l'érosion des sols, il est l'une des espèces les plus répandues dans la zone sahélienne ainsi qu'en Egypte, au Soudan, en Afrique Orientale, en Arabie saoudite et en Inde, en raison de sa grande plasticité et de sa résistance à la sécheresse. L'espèce appartient à la famille monotypique des Zygophyllacées (Berhaut, 1967; Von Maydell, 1983; Hall et Walker, 1991). Il se trouve dans les vallées, les oasis et dans les zones montagneuses, et c'est un arbre très

Introduction Générale

répandu, on peut le rencontrer jusqu'à 1000m d'altitude et sur les côtes maritimes. Il est très peu exigeant quant au sol, où il est commun sur les sols sableux pierreux, argileux. Ses fruits drupacés sont riches en glucides, l'amande est riche en huile comestible (Hall et Walker, 1991 et Baumer, 1995). Diverses études mettent en exergue les propriétés pharmacologiques et médicinales. Elle constitue un fourrage (feuilles, jeunes rameaux et fruits) apprécié des animaux domestiques et sauvages (Hardman et Sofowora, 1971; Dawidar et al., 1985; Fortin et al., 1997).

Cet arbre forestier existe déjà au sud-ouest Algérien. Malgré son importance dans le domaine Socio-économique et environnementale, à ce jour, cet arbre n'a pas attiré l'attention en termes d'intensification de sa culture et de son exploitation biotechnologique.

Ce travail a pour objet la valorisation de fruits du dattier de désert pour la production de produit à haute valeur ajoutée tel que le bioéthanol par des procédés biotechnologiques en utilisant la levure *Saccharomyces cerevisiae* comme matière biologique qui est responsable à la dégradation du sucre fermentescible en bioéthanol dans les conditions anaérobiques.

Vue le pouvoir de conservation relativement long le *Balanite aegyptiaca* peut constituer un substrat de choix pour produire de nombreuses substances à forte valeur ajoutée tel que le bioéthanol. Ce dernier issu d'un procédé biotechnologique de fermentation anaérobie est d'une importance économique indéniable du fait qu'il est utilisé dans des secteurs variés et vitaux (Ben Brahim, 2012).

Ce travail comporte deux parties contenant 04 chapitres:

La première partie de ce mémoire présente une synthèse bibliographique divisée en deux chapitres distincts.

Le premier chapitre rapporte des données générales sur les dattiers du désert et la caractérisation morphologique, physicochimique des fruits.

Le deuxième chapitre comporte des données sur le bioéthanol, et présente les différents types de bioénergies, leurs voies de production et leur utilisation dans divers domaines.

La deuxième partie est divisée en deux chapitres:

Le troisième chapitre rapporte les matériels et méthodes expérimentales mis en jeu pour la réalisation de ce travail.

Le quatrième chapitre discutant l'ensemble des résultats obtenus.

Ce travail de mémoire est clôturé par une conclusion générale et des perspectives.

Première Partie

Chapitre I

Balanites aegyptiaca

Chapitre I : *Balanites aegyptiaca*

I.1. Définition

Balanites aegyptiaca, arbre a été décrit pour la première fois par **Prosper Alpinus** en 1592 dans la vallée du Nil sous le nom de (*Agihalicl*) (**Hall et Walker, 1991; Luxereau et Tubiana, 1994**). Le nom "*Balanites*" signifie "gland" en grec (allusion faite au fruit) et "*aegyptiaca*" est relatif au lieu de sa première description. (**Hall et Walker, 1991**) pensaient que l'espèce est d'origine tropicale et appartiendrait à la flore du tertiaire. Des documents historiques révèlent que les tribus africaines utilisent et cultivent cette essence forestière depuis plus de quatre mille ans. Ses fruits auraient été trouvés dans des tombes de la douzième dynastie égyptienne (**Von Maydell, 1983; Hall et Walker, 1991; Shanks et Shanks, 1991,1993; Luxereau et Tubiana, 1994**).

Balanites aegyptiaca est une importante essence forestière, à usages multiples, des zones arides et semi-arides de l'Afrique, du Moyen-Orient et de l'Inde. C'est une espèce robuste particulièrement résistante à la sécheresse (**Maire, 1940 ; Ozenda, 1983 ; VonMaydell, 1983 ; Depiène et Gillet, 1991 et Arbonnier, 2000**). Elle est très utilitaire et souvent considéré comme (une vache à lait) dans certaines régions de son aire de répartition.

I.2. Généralités sur le *Balanites aegyptiaca*

Balanites aegyptiaca porte 26 synonymes (**Hall et Walker, 1991**). L'espèce fut d'abord classée parmi les Simaroubaceae (**Berhaut, 1967**), puis parmi les Zygophyllacées (**Maire, 1940; Quezel et Santa, 1963**) et enfin parmi les *Balanitaceae* (**Gaussen et al., 1982; Ozenda, 1983 et Boesewinkel, 1994**).

La famille des Zygophyllacées comporte le seul genre *Balanites* qui comprendrait plusieurs espèces. Sept de ces espèces se répartissent en Afrique et deux autres en Asie (**Gaussen et al., 1982; Booth et Wickens, 1988; Hall et Walker, 1991; Boesewinkel, 1994 et Baumer, 1995**). L'espèce comprend quelques variétés (**Sands, 1983; Hall et Walker, 1991; Boesewinkel, 1994**).

I.2.1. Description de *Balanites aegyptiaca*

Appelé encore dattier du désert, le *Balanites aegyptiaca* est une espèce des zones sahéliennes et soudano-sahéliennes d'Afrique, d'Arabie saoudite et de l'Inde. Il se rencontre sur

une large zone d'Afrique du littoral de la Mauritanie et du Sénégal à la Somalie, et du sud de l'Égypte à la Zambie et au Zimbabwe mais aussi dans les régions chaudes du Congo Démocratique et de l'Angola. C'est un arbuste ou un arbre épineux atteignant 6 à 9 m d'hauteur. Généralement droit et souvent cannelé, le tronc mesure 30 à 35 cm de diamètre. Les branches sont étalées de manière irrégulière et à extrémité légèrement retombante formant parfois une cyme arrondie. L'écorce dure, de couleur gris foncé devient rugueuse et profondément striée avec une couronne arrondie ou ovale (Gnoula *et al.*, 2008).

I.2.2. Classification botanique

(Gausson *et al.*, 1982 ; Hall et Walker 1991; Boesewinkel, 1994) classent l'espèce comme suit:

Règne	Vegetaha
Ordre	Sapindales
Embranchement	Spermaphyta
Sous-embranchement	Angiospermaphyta
Classe	Magnoliopsida
Famille	Zygophyllacees
Genre	<i>Balanites</i>
Espèce	<i>Balanites Aegyptiaca</i> L.

En botanique les espèces sont désignées par leur genre et par leur espèce d'où le nom scientifique (botanique) de l'espèce qui nous intéresse est *Balanites aegyptiaca* (DAO Vincent, 1993).

I.2.3. Morphologie

Le Dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*) est un arbre de 6 à 8 m de hauteur, formant une couronne arrondie très touffue. Il présente un enchevêtrement de branches armées de longues épines. Les épines sont vertes, droites et dirigées vers l'avant.

Le fruit contient une amande. IL résiste aux vents très violents, il a tendance à coloniser les zones de brûlis, les milieux défrichés. Bien implanté avec un fort enracinement, il résiste bien à tous les dommages et fait preuve d'une excellente Persistance. Il a un fort pouvoir de régénération. (Adam Mahamat, 2014)



Figure I.1. La morphologie de dattier du désert (Timyawine -Bordj Badji Mokhtar) Adrar, 2020.

Les feuilles sont alternes paripennées bifoliolées, Elles sont de couleur verte cendrée ou verte glauque mate ou verte grisâtre, Elles sont persistantes ou semi-décidues et ont un court pétiole qui varie de 5 à 20mm selon (Hall et Walker, 1991). Les folioles sont coriacés, Subsessiles et comportent une nervure principale bien visible, Elles ont des formes et des dimensions variables (Fig. I.2) (Von Maydell, 1983; Ozenda, 1983; Hall et Walker, 1991). Les bourgeons sont verts, finement tomenteux et légèrement ovoïdes (Moulay, 2015).

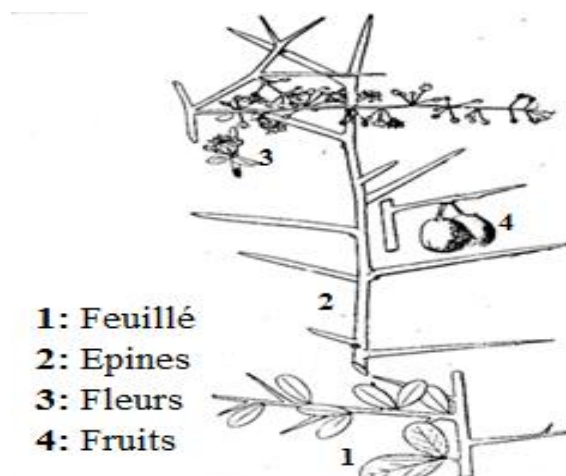


Figure I.2. Rameau de *Balanites aegyptiaca* (Poupon, 1980).

Le dattier du désert est un arbre à croissance plus lente, qui peut vivre plus de 100 ans dont 75 ans de fructification, et dont la production annuelle de fruits est estimée entre 100 et 150 kg (Elamin et Satti, 2013).

I.2.4. Ecologique

Le *Balanites* est d'une importance écologique grâce à sa résistance à la sécheresse (Depierre et Gillet, 1991). Ses zones sont dénudées par le surpâturage et l'agriculture mal conduite, (Lauras, 1990; Shanks et Shanks, 1993; Von Maydell, 1990) parle d'une espèce de très grande amplitude écologique. *Le Balanites aegyptiaca* croît sur divers types de sols car elle est peu exigeante quant au substrat pédologique (Hall, 1992).

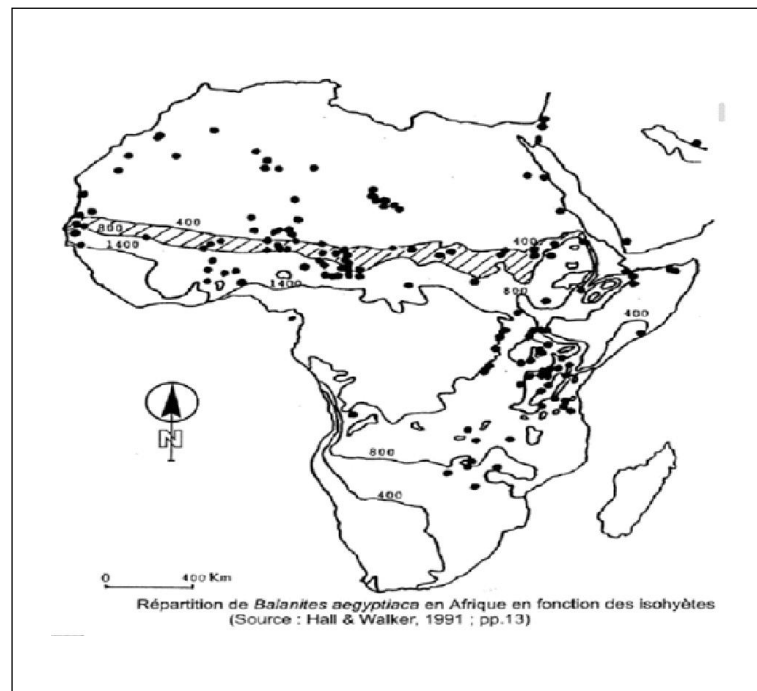
Le Balanites aegyptiaca est présente dans des zones côtières jusqu'à 1500 voire 2000 mètres d'altitude. Dans son aire de prédilection, elle croît de moins de 300 mètres jusqu'à 1500 mètres d'altitude (Booth et Wickens, 1988; Hall et Walker, 1991).

Balanites aegyptiaca résiste bien à diverses adversités (maladies, incendies, pacage et coupes incontrôlées) mais elle exige une protection pendant le jeune âge, jusqu'à 3 ans au moins (Booth et Wickens, 1988; Von Maydell, 1990; Hall et Walker, 1990; Shanks et Shanks, 1993; Roussel, 1995).

I.2.5. Distribution dans le monde

Le dattier du désert est une espèce tropicale largement répandue en Afrique, en Asie et en Arabie saoudite (Maire, 1940; Quezel et Santa, 1962, 1963; Berhaut, 1967; Ozenda, 1983). Selon (Hall et Walker, 1991), l'espèce s'étend approximativement entre 19° sud et 35°- 25° nord de latitude, et entre 16°30' ouest et 53° est de longitude. Selon divers auteurs *le Balanites aegyptiacase* se trouve à l'état naturel au Sahel, en Afrique du Nord, en Afrique orientale et centrale (fig. I.3).

Elle s'étend aussi en Asie (Booth et Wichens, 1988; Jaouen, 1984, 1987; Parkan, 1990; Von Maydell, 1990; Malgas, 1992; Arbonnier, 2000). L'espèce a été introduite dans certains pays comme la République Dominicaine ou le Porto Rico (Booth et Wickens, 1988). D'après ces mêmes auteurs, l'espèce s'étend de l'Océan Atlantique jusqu'à la Mer Rouge, et atteint la péninsule arabique, l'Océan Indien et la Birmanie. Au Sahel, l'espèce semble trouver son aire de prédilection (Hall et Walker, 1991). IL joue un rôle écologique et socio-économique important (Lauras, 1990).






-  Présence de *Balanites aegyptiaca*.
-  Aire de prédilection de *Balanites aegyptiaca*.
-  Isohyète.

Figure I.3. Répartition de *Balanites aegyptiaca* en Afrique en fonction des isohyètes (**Brama, 2001**).

I.2.6. Distribution dans l'Algérie

En Algérie, le *Balanites aegyptiaca* se trouve dans la région sud du pays, notamment à la wilaya de Tamanrasset (**Brama, 2001**), Bordj BadjiMoukhtar et la wilaya d'Adrar (**Molay, 2015**).



Figure I.4. Situation géographique de la région d'Adrar.

I.3. La fruit de dattier du désert

I.3.1. Définition et description du fruit

Les fruits sont allongés et en forme ovoïde (Fig. I.5). Ce sont des drupes avec un noyau légèrement pentagonal d'une dureté ligneuse. La pulpe du mésocarpe que mangent les autochtones présente une saveur sucrée et un goût acre et amer ([Tayeauet *al*, 1955](#)).

Le fruit est constitué de quatre parties:

- 1^{ère} partie épicarpe;
- 2^{ème} partie mésocarpe;
- 3^{ème} partie endocarpe;
- 4^{ème} partie graine oléagineuse.

Le fruit mesure de 2,5 à 4 cm de long, de 1 à 2,5 cm de diamètre et pèse de 6 à 15 grammes, La graine formée de deux cotylédons condupliqués, ovoïde, jaune et pouvant mesurer 15mm de long. Un tégument entoure et adhère aux cotylédons, un trempage prolongé des graines dans de l'eau permet de l'isoler. La graine constitue environ 10% du poids du fruit et est riche en huile (50% environ) et en protéines (20-30%) ([Von Maydell, 1990](#); [Boesewinkel, 1994](#)).

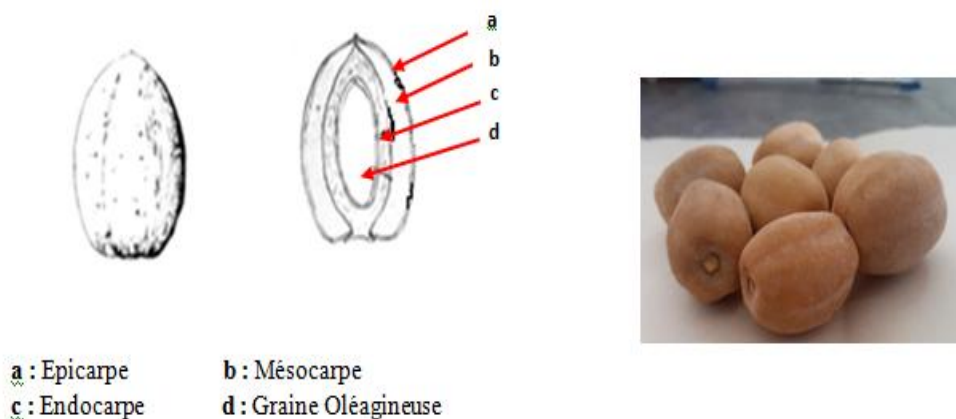


Figure I.5. Fruit de dattier du désert (Tayeau *et al*, 1955).

I.3.2. Les constituants du fruit de *Balanites aegyptiaca*

- Les diverses parties du fruit (fig. I.5) représentent le pourcentage suivant du fruit total (Tayeau *et al*, 1955)

Epicarpe	1 à 1.5 %
Mésocarpe (pulpe)	43 à 53 %
Endocarpe.....	45 à 48 %
Graine.....	9 à 11 %

- La composition de la pulpe, seule partie du fruit habituellement consommé, est la suivante: (Tayeau *et al*, 1955)

Glucides réducteurs.....	40.3 %
Saponifie.....	7.2 %
Cellulose, gommés, pectines.....	52.5 %

I.3.3. Analyse chimique

Pulpe du fruit (mésocarpe) (Schunck de Goldfiem 1942).

Sucres totaux	38 %
Acides	15%
Matières organiques (hydratées)	45.6%
Matières minérales	1.4%

I.3.4. Les différentes utilisations

Les utilisations des différents organes de *Balanites aegyptiaca* sont multiples, tant au point de vue alimentaire que du point de vue thérapeutique ou domestique (Creac, 1940; Daziel, 1937; Berhaut, 1971, 1979; Busson, 1960 et 1965; Giffard, 1974; Paquot, 1962), ce qui justifie les nombreux travaux effectués sur cette plante (Ano, 1920; Berger, 1938).

Les utilisations de l'arbre par les populations locales sont multiples : alimentaires, médicinales, fourragères et socioculturelles. Cependant, le taux d'utilisation varie selon les organes. Ainsi, 100% des personnes enquêtées affirment utiliser le fruit de *Balanite. aegyptiaca* contre 98,23% pour les feuilles, 78,87% pour le bois, 11,32% pour les racines, 10,23% pour les écorces et seulement 1,15% pour les épines (Fig. I.6) (J. Appl. Biosci 2017).

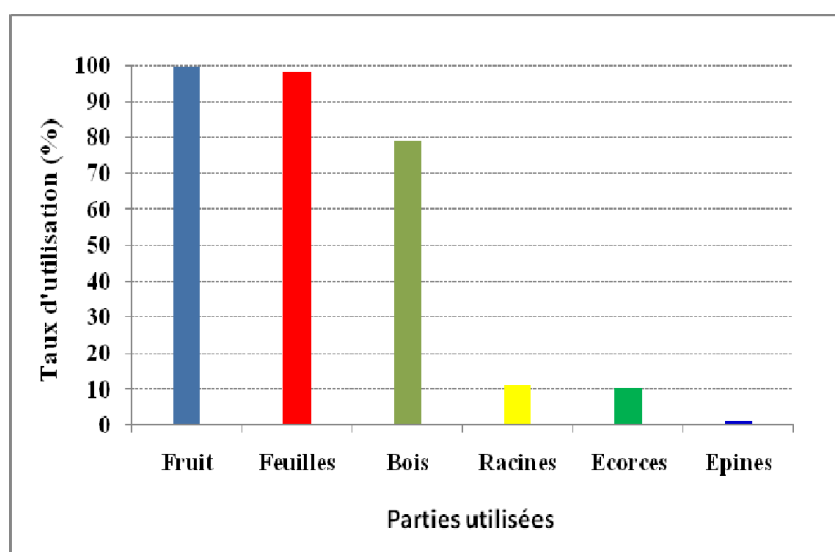


Figure I.6. Fréquences d'utilisation des différentes parties de *Balanites aegyptiaca* dans la Région de l'Ouaddaï (J. Appl. Biosci 2017).

I.3.4.1. Utilisation en alimentation

Malgré son goût amer, la pulpe contient des sucres. Elle est consommée sous forme de bonbons par les enfants et les adultes. Fraîche ou sèche, ce mésocarpe brun foncé, charnu représente 43% du poids du fruit (état frais) et contient 40% de sucres réducteurs. Elle permet la préparation d'une boisson alcoolisée. Quand elle est mélangée avec de la gomme, elle constitue une friandise appréciée (Fatou, 1997).

I.3.4.2. Utilisation en médecine traditionnelle

En médecine, le macéré d'écorce de tige et de racine aide à soulager les coliques et les ictères. Leur solution est aussi employée comme antivenimeuse et vermifuge.

En médecine vétérinaire, la solution est utilisée dans la préparation d'un. Produit servant à effectuer des lavements pour les chevaux (EMV, 1964).

Le macéré d'écorce de tige est utilisé aussi dans le traitement de maux de ventre et sert à combattre la stérilité, la pulpe du fruit riche en saponosides donne une embrocation antirhumatismale (usage externe) (Fatou, 1997).

I.3.4.3. Autres utilisations

En raison de ces utilisations multiples, le bois de *Balanites aegyptiaca* constitue une importante source de revenus pour les populations locales et l'arbre se trouve ainsi soumis à une très forte pression anthropique. Dans les marchés locaux, le prix du bois varie selon la saison (J. Appl.Biosci 2017).

Le bois de tige sert à la confection de matériel artisanal. Ce bois est droit et dur, très compact, à grain fin, facile à travailler et résiste à l'attaque d'insectes. Il sert de matière première pour la fabrication d'ustensiles ménagers (cuillères, écuelles, battoirs etc.), d'outils (manches d'hilaires, de mobiliers, lits, bancs etc.). Il est employé aussi comme bois de chauffage et est transformé en charbon de bois (Fatou, 1997).

I.4. Commercialisation des produits de *Balanites aegyptiaca*

Les activités socio-économiques observées autour des produits de l'arbre concernent la commercialisation des fruits et du bois (69,89 et 68, 72% respectivement) suivi par celle des graines (57%). Le commerce des feuilles de *Balanites aegyptiaca* par les différents groupes ethniques est faiblement pratiqué (8,71%). Toutefois, les graines sont beaucoup plus commercialisées par les Mimi (60,94%) alors que les premiers vendeurs du bois de *Balanite. aegyptiaca* sont les Mimi (80,48%) et les Massalit (77,50%) (J. Appl.Biosci 2017).

Chpiter II

Bioéthanol

Chapitre II : Le bioéthanol

II.1. Définition

Le bioéthanol est un alcool très pur obtenu par la fermentation de matières agricoles riches en sucres provenant de plantes saccharifères (betterave, canne à sucre...), amylacées ou ligno-cellulosiques. Il peut être employé de deux façons, en addition à l'essence sous la forme d'un alcool anhydre qui ne modifie pas les performances des moteurs ou comme carburant unique dans des moteurs adaptés, en général à injection (**Jean-Michel, 2004**).

La fermentation alcoolique s'effectue à partir de sucres simples. Pour les plantes amylacées il faut donc au préalable transformer l'amidon en glucose.

En ce qui concerne les cultures énergétiques, matières premières des biocarburants, pour l'Algérie, il n'est pas possible d'avoir recours à des cultures destinées à l'alimentation humaine ou encore animale, pour la production de carburants propres. Il serait alors plus judicieux de se retourner vers les biocarburants de deuxième génération produits à partir de cellulose et de déchets (**Jean-Michel, 2004**).

II.2. Généralités de l'éthanol

L'éthanol (EtOH), ou encore alcool éthylique, molécule de formule développée C_2H_5OH comporte deux atomes de carbone liés (C), l'un portant trois atomes d'hydrogène (H), l'autre deux atomes d'hydrogène et une fonction hydroxyle (OH) (**SCF, 2017; Bounoua, 2017**).

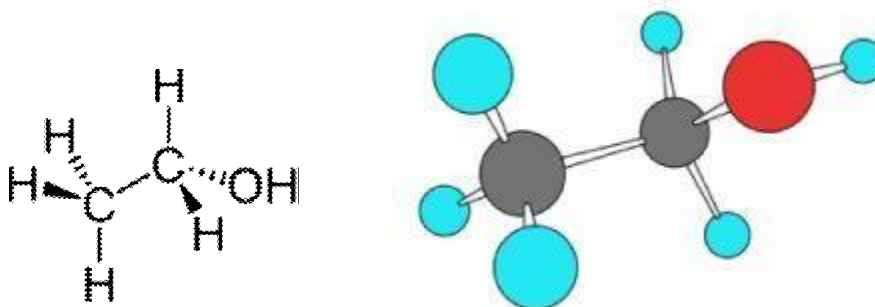


Figure II.1. Structure de la molécule d'éthanol (**ACS, 2018**).

II.2.1. Propriétés physiques

L'éthanol est un liquide mobile, incolore, volatil, d'odeur plutôt agréable, décelable dès 84 ppm. L'éthanol est miscible à l'eau, le mélange se faisant avec dégagement de chaleur et contraction du liquide (**INRS, 2019; Bounoua, 2017**).

Tableau II.1. Propriétés physiques de l'éthanol (Mertens et Roiz, 2010)

La masse molaire	46,0684 ± 0,0023 g/mol
Formule chimique	CH ₃ CH ₂ OH
Température d'ébullition	79 °C
Point de fusion	-117 °C
Pression de vapeur	5,8 kpa : à 20 °C
Pouvoir calorifique inférieur (MJ/L)	21.06
Pouvoir calorifique inférieur (MJ/kg)	26.7
Densité (kg/L)	0.794
Nombre de Cétane	<100
Nombre d'Octane	0.40-045
Type de moteur	A combustion (Essence)

II.2.2. Propriétés chimiques

Dans les conditions normales, l'éthanol est un produit stable. Il possède les propriétés générales des alcools primaires (réactions d'oxydation, déshydrogénation, déshydratation et estérification).

Il peut réagir vivement avec les oxydants puissants : acide nitrique, acide perchlorique, perchlorates, peroxydes, permanganates, trioxyde de chrome (tableau II .1).

La réaction avec les métaux alcalins conduit à la formation d'éthylate et à un dégagement d'hydrogène ; elle peut être brutale sauf si elle est réalisée en l'absence d'air pour éviter la formation de mélanges explosifs air-hydrogène. Le magnésium et l'aluminium peuvent également former des éthylates, la plupart des autres métaux usuels étant insensibles à l'éthanol (Bounoua, 2017).

II.2.3. Utilisation de l'éthanol

Les utilisations de l'éthanol sont nombreuses, il peut être utilisé comme carburant pour le transport ou la production d'énergie, ou encore comme fourniture pour les industries chimiques (Bougherda et Kebir, 2013).

II.2.3.1. Éthanol comme carburant

Bien que l'éthanol puisse être utilisé à l'état pur comme carburant substitut à l'essence dérivée du pétrole, il est généralement utilisé en mélange à des niveaux de concentrations variables. Les mélanges d'éthanol et d'essence sont identifiés par l'abréviation « Exx », où « xx » qui indique le pourcentage d'éthanol inclus dans le mélange. Un carburant E20 contient donc 20 % d'éthanol et 80 % d'essence alors qu'un carburant E100 correspond à de l'éthanol pur. Plusieurs types de mélange sont commercialisés dont les plus fréquents sont le E5, le E10, le E85 et le E100 (Brodeur et al, 2008).

II.2.3.2. Autres utilisations

Aujourd'hui, les applications industrielles utilisant l'éthanol sont nombreuses. Au-delà du fait que l'éthanol serve à l'éclairage et au chauffage, il constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées, il entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures, les vernis, les encres, les matières plastiques, les adhésifs, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. Réputé pour ses qualités de solvant, il est également utilisé dans l'industrie du nettoyage contre les graisses et les matières plastiques. L'éthanol est également utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides. En pharmacologie, il est utilisé pour ses propriétés de désinfectant et d'agent antiseptique (Kacimi, 2008).

II.2.4. Incendie – Explosion

L'éthanol est un liquide très inflammable (point d'éclair en coupelle fermée = 13 °C) dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air dans les limites de 3,3 à 27,7 % en volume. Les solutions aqueuses d'éthanol, même faiblement concentrées, peuvent également s'enflammer aisément (point d'éclair d'une solution à 70 % est de 21 °C, celui d'une solution à 10 % est de 49 °C).

En cas d'incendie impliquant l'éthanol, les agents d'extinction préconisés sont les poudres chimiques ou l'eau avec additif ou sous forme de mousse (adjonction d'un émulseur spécial compatible avec les produits polaires) voire le dioxyde de carbone (INRS, 2019).

En général, l'eau n'est pas recommandée car elle peut favoriser la propagation de l'incendie. On pourra toutefois l'utiliser sous forme pulvérisée pour éteindre un feu peu important ou pour refroidir les récipients exposés au feu et disperser les vapeurs.

En raison des fumées émises lors de la combustion de cette substance (contenant essentiellement des oxydes de carbone), les personnes chargées de la lutte contre l'incendie seront équipées d'appareils de protection respiratoire autonomes isolants (INRS, 2019).

II.2.5. Toxicocénitique et Métabolisme

L'éthanol est rapidement absorbé par voie orale et respiratoire et peu par contact cutané. Il est distribué dans tous les tissus et fluides de l'organisme, notamment le cerveau et le foie, et est principalement éliminé par une métabolisation oxydative dans le foie produisant transitoirement de l'aldéhyde puis de l'acide acétique.

L'éthanol absorbé diffuse rapidement et presque uniformément dans tout l'organisme en raison de sa grande solubilité dans l'eau. La distribution est très rapide dans les organes fortement vascularisés comme le cerveau, les poumons, le foie ; et la concentration est maximale dans le liquide céphalo-rachidien et l'urine où elle atteint 1,3 fois la concentration plasmatique, elle-même légèrement supérieure (1,1 fois) à la concentration moyenne dans les organes. L'éthanol traverse librement le placenta et des concentrations similaires sont retrouvées dans le sang maternel et fœtal. Signalons que chez le rat et le cobaye, l'éthanol s'accumule dans le liquide amniotique qui peut servir de réservoir (INRS, 2019).

En dehors de ce processus de détoxification oxydante, une faible partie de l'éthanol absorbé (2 à 5 %) est éliminée sous forme inchangée dans l'air expiré et dans l'urine. Il peut également être excrété dans le lait maternel à une concentration comparable à celle du sang maternel (INRS, 2019).

II.2.6. Surveillance Biologique de l'exposition

- **Le dosage d'éthanol sanguin :** en début et à la fin de l'exposition a été proposé mais il est d'une utilité limitée pour apprécier l'intensité de l'exposition en milieu professionnel. Les résultats ne sont interprétables que si l'on connaît précisément l'absorption d'éthanol d'origine alimentaire du sujet (INRS, 2019).
- **Le dosage d'éthanol dans les urines :** de fin de poste a été proposé mais la corrélation avec l'intensité de l'exposition professionnelle n'a pas été démontrée.

Pour ces deux paramètres, il n'existe pas de valeur biologique d'interprétation pour la population professionnellement exposée (INRS, 2019).

II.2.7. Évolution de la production mondiale d'éthanol

En 2006, c'est 51 milliards de litres qui étaient produits, soit 11 % de plus qu'en 2005. Le Brésil qui jusqu'en 2004 dominait la production est supplanté par les États-Unis qui ont été responsables de 39 % de la production d'éthanol en 2006 (voir Fig. II.2).

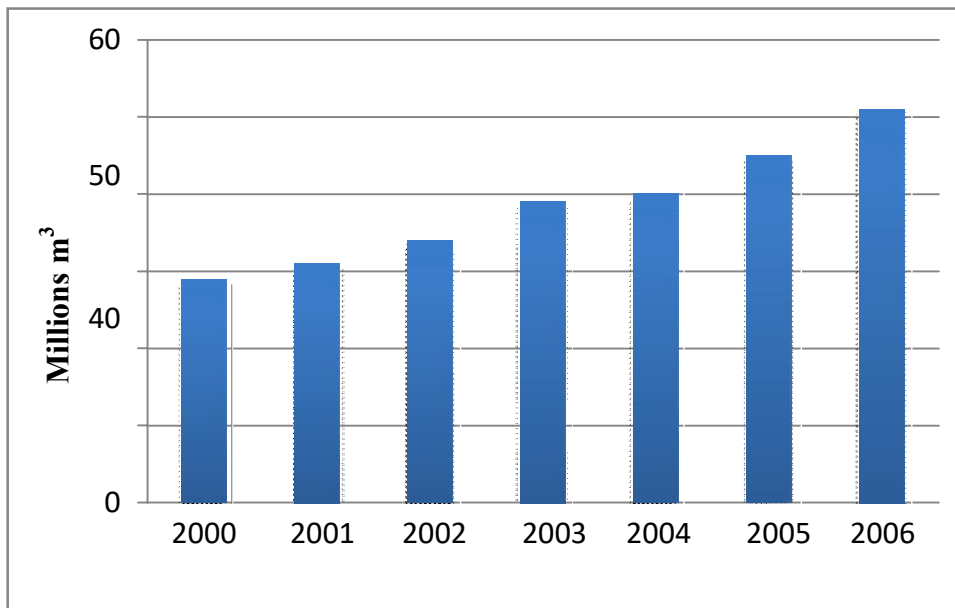


Figure II.2. Évolution de la production mondiale d'éthanol (Bougherda et Kebir, 2013).

Le Brésil vient en deuxième position avec 33 % de la production, suivi de la Chine (8%), de l'Inde (4 %) et de la France (2,0 %). Ce marché de la production est très concentré puisque 5 pays contrôlent plus de 80 % de la production et deux pays (États-Unis et Brésil) contrôlent eux seuls environ 70 % de la production. Le Canada est un petit producteur avec 1,1 % (153 millions de litres) de la production mondiale en 2006 (Coulibaly, 2007).

II.3. Production du bioéthanol

Le bioéthanol peut être produit à partir (Bounoua, 2017):

- De substrats riches en sucrose (canne à sucre, betterave sucrière, etc.), en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.),
- De substrats cellulosiques tels que les résidus agricoles (la paille ou les cannes de maïs), les résidus forestiers, cultures énergétiques (le panic érigé ou des arbres à courte rotation),
- Des algues.

II.4. Le Bioéthanol produit à partir de sucre / amidon (première génération)

II.4.1. Le bioéthanol de première génération

Il est un produit à partir de maïs et de canne à sucre en utilisant une technologie bien établie (Sims *et al*, 2008). Les étapes de la production d'éthanol provenant des cultures riches en sucre et amidon sont présentées dans la Fig. II.3.

Les récoltes de sucre comme la canne à sucre, la betterave à sucre et le sorgho doux se composent principalement de glucose, de fructose et du saccharose comme composants principaux (Bai *et al*, 2008). Ces sucres fermentescibles sont extraits par broyage ou concassage puis fermentation en éthanol. En outre, l'éthanol est séparé du flux de produits par distillation puis déshydratation.

La rentabilité de la production d'éthanol à partir de matières premières alimentaires et les impacts sur les changements dans l'utilisation des terres a été critiquée (Rathmann *et al*, 2010).

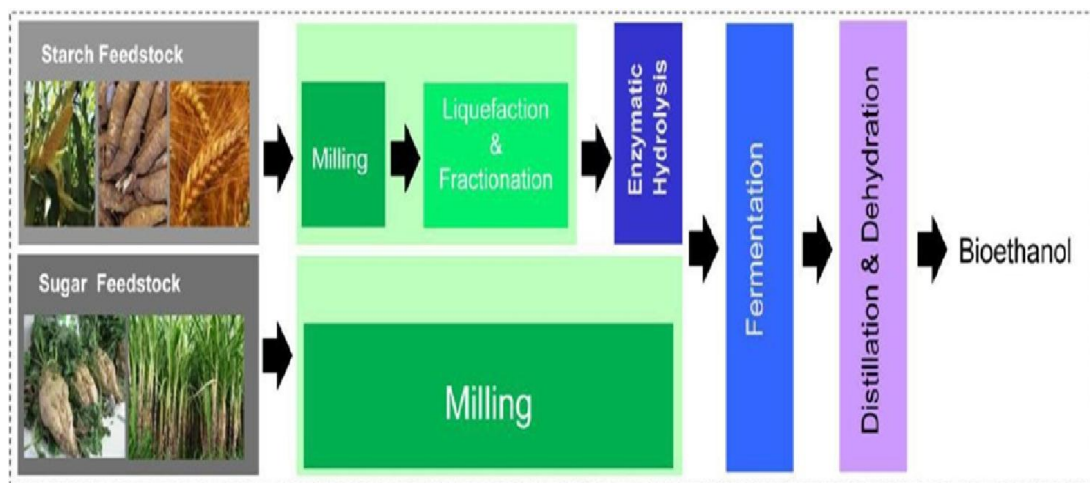


Figure II.3. Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération (Sim *et al*, 2008).

II.4.2. Bioéthanol produit à partir de sources lignocellulosiques (deuxième génération)

La matière première non alimentaire utilisée pour la production d'éthanol de deuxième génération comprend la biomasse cellulosique, telles que les cultures énergétiques (Les arachides, les miscanthus), les résidus agricoles et le bois (Copeaux de bois, bagasse à la canne à sucre et sciure de bois). La biomasse cellulosique est principalement constituée de polymères de cellulose, d'hémicellulose et de lignine liés entre eux dans une matrice hétérogène.

Le bioéthanol de deuxième génération à partir de matières premières cellulosiques a été démontré avec succès dans une usine à échelle pilote (Bounoua, 2017).

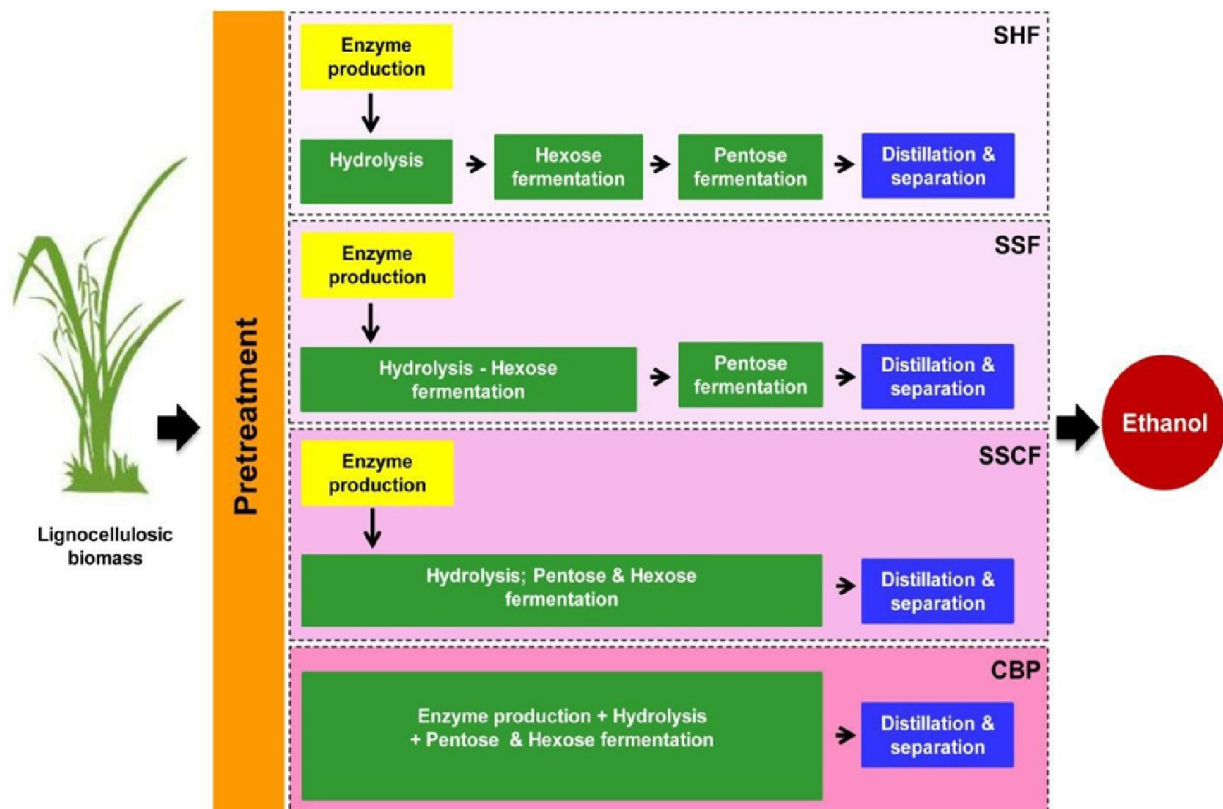


Figure II.4. Production de bioéthanol à partir de sources lignocellulosiques (Hamelinck et al, 2005).

II.4.3. Bioéthanol produit à partir des algues (troisième génération)

La biomasse des algues peut être utilisée pour produire une variété de biocarburants tels que l'hydrogène, le diesel, l'isobutène et l'éthanol (Bounoua, 2017).

Plusieurs études ont rapporté la production de bioéthanol à partir de la biomasse micro et macro algique (Jung et al, 2014).

II.5. Les avantages et les inconvénients de l'éthanol sur l'essence

Les Avantages et les inconvénients du bioéthanol peuvent être résumés dans le (tableau II.2).

Tableau II.2. Les avantages et les inconvénients du bioéthanol (**BenChaaban, 2006; Riess, 2012**).

Avantages	Inconvénients
Moins d'émissions de dioxyde de carbone (CO ₂) fossile que les carburants conventionnels.	Les véhicules utilisant le carburant E85 produisent des émissions plus élevées d'oxyde d'azote, d'éthylène et d'acétaldéhyde que les véhicules à essence.
Haut indice d'octane permettant un fonctionnement plus efficace des moteurs à allumage par étincelle.	Indice de cétane faible ne permettant pas son utilisation dans les moteurs à combustion interne sans l'ajout d'un accélérateur d'allumage.
Diminution des émissions de particules, de soufre, de benzène et de butadiène1-3 par rapport à l'essence.	Augmentation des émissions d'hydrocarbures par évaporation ; ce qui requiert un réglage de la pression de vapeur de l'essence de base à laquelle l'éthanol est ajouté.
Risque moins élevé de formation d'ozone que l'essence et le diesel.	La combustion de l'éthanol pur produit une flamme invisible qui peut provoquer des problèmes de sécurité.
Biodégradable.	Prix encore élevé.
Moins toxique que le méthanol et le biométhanol.	Problèmes de stabilité de phase dans le mélange d'essence en cas de présence d'eau (Démiscibilité).
Diminution de la dépendance au pays producteurs de pétrole.	Sa combustion entraîne une formation accrue d'acétaldéhyde, mais les émissions de formaldéhyde formique sont moindres par Rapport à l'essence.
Utilisation flexible de 0 à 100 %.	Corrosion des pièces en contact avec l'éthanol.

II.6. La production de la levure

II.6.1. Données sur *Saccharomyces cerevisiae*

II.6.1.1 Définition

Saccharomyces cerevisiae vient du mot saccharose qui signifie «sucre», myces «champignon », tandis que *cerevisiae* fait référence à «cervoise», c'est un terme scientifique, nom qu'on donnait autrefois à la bière, c'est un terme utilisé pour désigner le petit champignon microscopique qui compose les différentes sortes de levures qu'on utilise pour la fermentation. Elle est littéralement connue comme levure du sucre (Khalil k et al, 2002).

Saccharomyces cerevisiae est une cellule sphérique, ovoïde ou allongée de taille très variable (3-10 µm, 4 - 14 µm). Certaines cellules sont cylindriques et de grande taille, jusqu'à 20µm de long ou plus (Ben brahim, 2001).

Les rebuts de dattes peuvent être valorisés par des procédés biotechnologiques au lieu de leur utilisation dans l'alimentation de bétail.

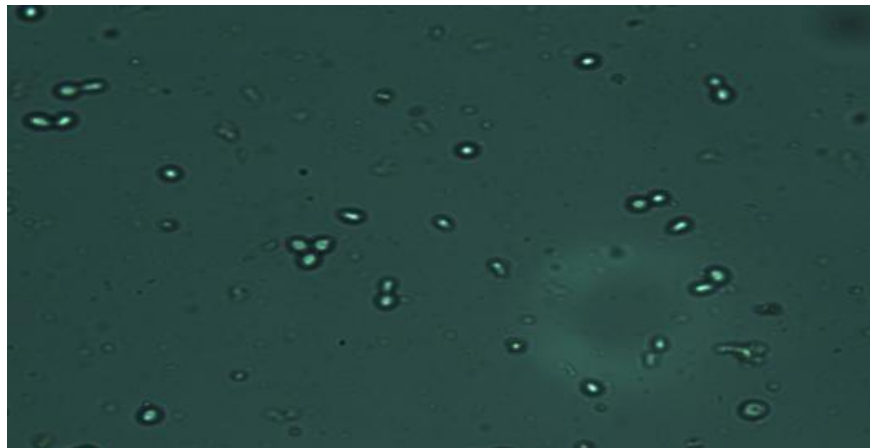


Photo II.1. La souche de levure *Sacchromyces cerevisiae* au Microscope optique 400x.

Le moût élaboré à partir de rebuts de dattes est un milieu riche en sucres, convenant à la culture des levures de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* pour la production de levure boulangère. La possibilité d'une substitution des dattes à la mélasse de canne en vue de produire de la levure s'avère possible. Les résultats obtenus ont montré que le moût enrichi est plus intéressant que le moût non enrichi. La concentration 2% de sucres totaux sur milieu enrichi paraît la meilleure du point de vue rendement et temps de production, car pour une meilleure production d'organismes unicellulaires, il est toujours recherché un temps record de production avec un prix de revient bas (Bourat, 1992).



Photo II.2. Préparation de la levure (*Saccharomyces cerevisiae*).

II.7. Fermentation

II.7.1. Définition

Le terme de fermentation est apparu au 16^{ème} siècle il vient du latin « Ferver = bouillir » (dégagement des bulles de CO₂ dans un mout de vinification). La fermentation est tout processus métabolique au cours duquel est utilisé un micro-organisme spécifique pour la libération de l'énergie. (**Gaillard, 1995**).

D'après (**Tortora et al 2003**), on peut définir la fermentation comme un processus qui:

- Libère de l'énergie par la dégradation de sucres ou d'autres molécules organiques;
- Ne nécessite pas d'oxygène (O₂), mais peut parfois se poursuivre en sa présence,
- Ne nécessite pas l'utilisation du cycle de Krebs ni d'une chaîne de transport d'électrons,
- Utilise une molécule organique comme accepteur d'électron final (**Ben Brahim, 2012**).

II.7.2. Réaction biochimique de la fermentation

L'éthanol ou l'alcool éthylique C₂H₅OH, est obtenue à partir de manière classique par la fermentation du glucose extrait de matières sucrières (betterave, canne à sucre...) ou encore par hydrolyse de matière amylacées (blé, orge, mais...).

La réaction de conversion du sucre en éthanol est comme suite :

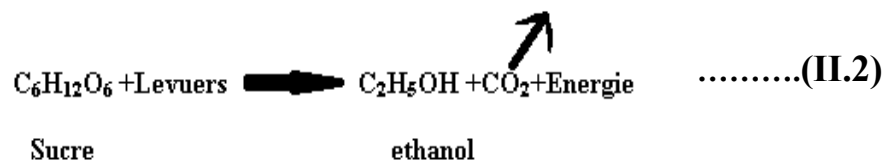


En beaucoup de procédés de fermentation, les réactions impliquées oxydent un sucre simple dans des conditions anaérobies impliquent deux phases:

Oxydation de glucose et métabolisme de pyruvate (**Ben Brahim, 2012**).

II.7.3. Réaction biochimique de la fermentation

C'est par catabolisme des sucres simples que les levures fermentaires produisent en conditions anaérobies, de l'éthanol et du gaz carbonique (**Ben Brahim, 2012**).



II.8. Distillation alcoolique

Le principe de la distillation est de récupérer des vapeurs plus riches en constituants les plus volatils du mélange, de départ. Le mélange de départ n'est pas un binaire eau-éthanol, même s'il récupère l'essentiel, mais un mélange complexe ou viennent s'ajouter des produits secondaires issus eux aussi de la fermentation comme des aldéhydes, des esters, du méthanol ou encore des alcools dits supérieurs possédant plus de deux carbones (**Bourgeois et al, 1991**).

La présence de ces produits secondaires est réglementée pour l'alcool carburant par la norme NF15376. Cependant, l'alcool carburant doit respecter cette norme (**Riess, 2012**).

Les distillats, appelés bruts, obtenus par cette distillation contiennent généralement des quantités d'eau de produits secondaires et des ions indésirables, supérieures à la réglementation, il est donc nécessaire de purifier l'alcool. La distillation, qui était au départ une étape coûteuse, a aussi été fortement améliorée (**Wyman, 2001**).

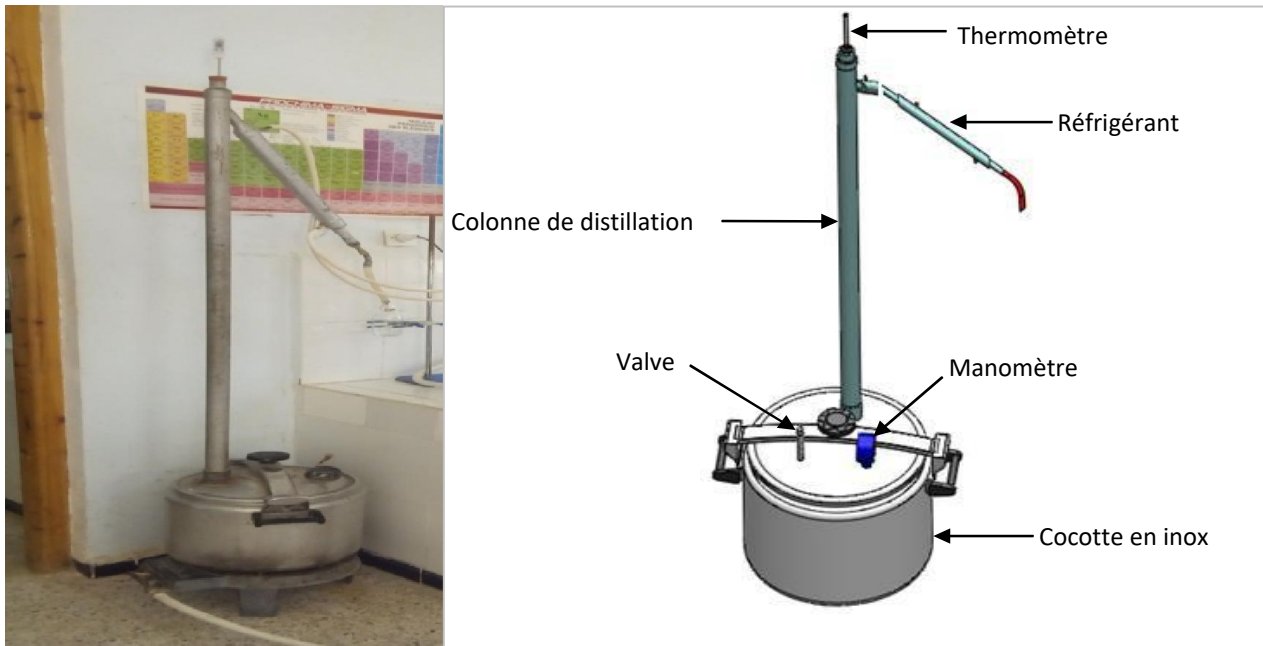


Photo II.3. Dispositif de la distillation fractionnée (Boulal et al, 2010).

II.9. Rectification

Pour obtenir de l'éthanol pur, dit absolu, deux étapes sont nécessaires après la distillation. La première étape a pour but de purifier l'alcool contenu dans les bruts en éliminant les impuretés. Ce procédé consiste en une succession de distillations à des températures allant de 85 à 102 °C. La première partie de ce procédé est destinée à extraire les produits de tête (aldéhydes, acétate d'éthyle...). La seconde partie, est destinée à concentrer l'alcool et à éliminer les impuretés de queue (alcools supérieurs). Enfin la dernière partie élimine le méthanol contenu dans l'alcool (Brodeur et al, 2008).

L'alcool ainsi produit peut alors directement servir de carburant. Mais si celui-ci doit être mélangé à l'essence, il est nécessaire d'ajouter une étape de déshydratation pour obtenir l'alcool anhydre (Bougherda et Kebir, 2013).

Deuxième Partie

Chapitre III

Matériels et Méthodes

Chapitre III: Matériels et Méthodes

III.1. Matériels utilisés

III.1.1.Appareillages et Verreries

- . Agitateur magnétique ;
- . Ampoule à décanter de 250 ml;
- . Alcomomètre (gradué de 0 à 100°);
- . Balance de précision (OHAUS);
- . Bain marie;
- . Bioréacteur en verre et en polymère ;
- . Distillateur semi automatique (VELP) ;
- . Etuve de marque (MEMMERT UE-400) ;
- . Four à moufle ;
- . pH-mètre ;
- . Pompe à vide ;
- . Pycnomètre ;
- . Spectrophotomètre UTRA-VIS 80 DV;
- . Spectrophotomètre IR;
- . Flacon de (250 _ 1000) ml;
- . Pissette;
- . Plaque chauffante (BIBYSTUART);
- . Réfrigérant;
- . Thermomètre;
- . Tubes à essais;
- . Ballon conique ;
- . Entonnoir;
- . Eprouvette graduée de (10 -200) ml;
- . Fiole jaugé de (50-100) ml;
- . Dessiccateur.

III.1.2. Produits Chimiques et réactifs

Tableau III.1. Propriétés des produits chimiques.

N°	Désignation	Formule chimique	Etat physique
01	Acide sulfurique (98%)	H ₂ SO ₄	Liquide
02	Acide chlorhydrique (37%)	HCl	Liquide
03	Acide borique (25%)	H ₂ Br ₂	Solide
04	Oxalate de potassium (100g)	K ₂ C ₂ O ₄ .H ₂ O	Solide
05	La soude (100%)	NaOH	Solide
06	Sulfate de potassium	K ₂ SO ₄	Solide
07	Glucose (100%)	C ₆ H ₁₂ O ₆	Solide
08	Phenol (98%)	C ₆ H ₅ -OH	Liquide
09	Sulfate de cuivre	CuSO ₄	Solide
10	Hydroxide de potassium	KOH	Liquide
11	Hexane	C ₆ H ₁₄	Liquide

III.2. Matériel végétal

III.2.1. Le choix du substrat

Nous avons choisi des fruits de dattier du désert pour cette étude par ce que ces fruits sont riche en sucres simples facilement fermentescible, leur disponibilité et puisqu'ils n'ont pas été exploités auparavant en biotechnologie.

III.2.2. Lieux de prélèvement

Le prélèvement d'échantillon est effectué au niveau de la région de Timyawin située au sud d'Adrar, à l'extrême-sud de l'Algérie dans le Sahara Algérien, à l'est du Tanezrouft, exactement elle s'éloigne de 150 km au sud-ouest de Bordj Badji Mokhtar, 1820 Km au sud d'Alger, 465 km au sud-ouest de Tamanrasset et 950 km au sud-est d'Adrar, cette région est un producteur important du dattier du désert.



Figure III.1. La situation géographique de la région de Timyawine en Algérie.

III.3. Matériel biologique

Nous avons utilisé La levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae*. Elle est conservée dans un endroit frais et sec. Cette souche est utilisée pour la production d'éthanol (Boulal et al, 2016; 2017a).

III.4. Etapes de production de bioéthanol

III.4.1. Préparation de moût des fruits de dattier du désert

a. **L'imbibition** : Immergée les fruits séchés dans un cristalliseur contenant 500 ml d'eau chaude (90°C) pendant 24 heures.



Photo III.1. Imbibition des fruits de dattier du désert.

b. **Dénoyautage** : La séparation pulpe- noyau est réalisée manuellement.



Photo III.2. Dénoyautages des fruits de dattier de désert.

c. préparations des dilutions

Nous avons préparé quatre (04) différentes dilutions selon le tableau suivant :

Tableau III.2. Le taux de dilution (Fruits/eau).

La dilution	Le taux (g/mL)
Dil1	(1/4)
Dil2	(1/4.4)
Dil3	(1/4.8)
Dil4	(1/5.2)



Photo III.3. Les quatre dilutions.

d. Réactivation de la levure

Réactivation de la levure sèche est une étape très importante pour faciliter la dégradation des sucres pendant la fermentation et diminution du temps d'adaptation.

Réactivé la levure sèche commerciale 12% de glucose dans de l'eau.



Photo III.4. Réactivation de la levure *Sacchromyces cerevisiae*.

III.4.2. Procédé de fermentation

Avant l'inoculum de la levure réactivée nous ajustons le pH de cette moût préparée entre 4.3 et 4.7 par l'ajout d'acide sulfurique (H_2SO_4 , 1N). Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération de levures (Boulal, 2017b).

Après avoir inoculé chaque bioréacteur par la levure de boulangerie réactiver (*Saccharomyces cerevisiae*) (1g/L) (Fabienne, 1991), les bioréacteurs sont plongés dans un bain-marie où la température est maintenue à $30 \pm 2^\circ C$. La fermentation est conduite en anaérobie pendant 72 heures.

Toutefois, la fermentation est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO_2 dégagées. Pour suivre l'évolution de la fermentation, on procède chaque 24 heures à des prélèvements pour effectuer les analyses physico-chimiques par alcoomètre et détecter l'odeur de l'alcool dans le mout. Après 72 heures, la fermentation est arrêtée.

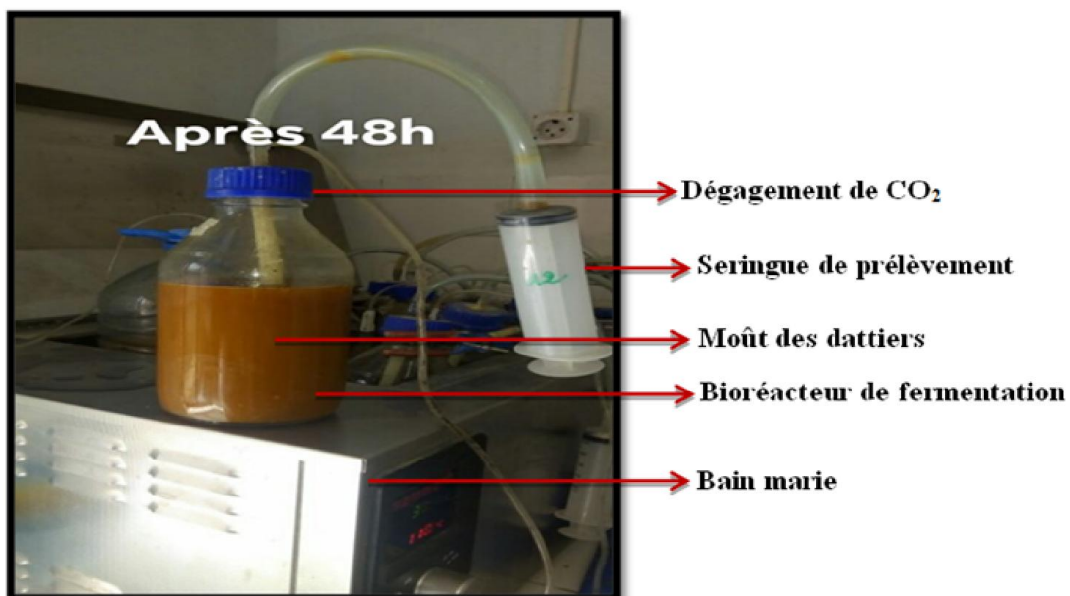


Photo III.5. Fermentation alcoolique.

III.4.3. Distillation alcoolique

A la fin de la fermentation alcoolique on filtre le substrat fermenté pour faciliter la distillation alcoolique.

La température de distillation est de l'ordre de $78^\circ C$ (Boulal, 2016).



filtration

substrat(filtrant)

Photo III.6. Filtration de moût fermenté.



Photo III.7. Montage de la distillation alcoolique.

Note importante

Nous avons lancé quatre dilutions différentes pour la fermentation alcoolique, après la fermentation et la distillation, nous avons contrôlé le degré alcoolique de chaque dilution afin de choisir la meilleure dilution qui donne un meilleur degré alcoolique.

III.5. Techniques analytiques Physico-chimiques et biochimiques

III.5.1. Analyse morphologique

Les analyses réalisées sur 20 dattiers du désert avec un choix au hasard sont :

La couleur a été appréciée visuellement,

Les dimensions (longueur et largeur) sont déterminées par le biais d'un pied à coulisse,

Le poids (du dattier du désert entière, de la pulpe et du noyau) est déterminé à l'aide d'une balance analytique de type : SCALTEC (SBA 62 Max 4200g ; P = ± 0,0001).

Les indices suivants ont été déterminés :

- Rapport pulpe/fruit (%) = poids de la pulpe (g) / poids de la datte entière(g) ;
- Rapport noyau (grain)/fruit (%) = poids du noyau (g) / poids de la datte entière (g) ;
- Rapport Amand /noyau (grain) (%) = poids de la pulpe (g) / poids du noyau (g).



Photo III.8. Mesure des fruits à l'aide de Pied à coulisse.

III.5.2. Taux des sels minéraux

La détermination du taux des sels minéraux est effectuée par une dessiccation de la biomasse dans une étuve jusqu'à une masse pratiquement constante.

❖ Mode opératoire

La teneur en cendres est déterminée par incinération. Un étuvage à 105 °C pendant 24 heures des échantillons, est suivi par une calcination au four à moufle à 600 °C jusqu'à l'obtention d'une couleur gris clair ou blanchâtre (Acourene et Tama, 1997).

Le calculé du taux des sels minéraux est déterminer par la relation suivante :

Poids d'une matière sèche = $M_2 - M_1$

✚ Toux de sel minéraux = $M_3 - M_1$

Avec :

M_1 : poids du creusé vide ;

M_2 : poids du creusé constant après l'étuve ;

M_3 : poids du creusé après calcination.



Photo III.9. Calcination dans four à moufle.

III.5.3. La teneur en protéines (Méthode Kjeldahl)

Le principe de la méthode est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation et titrage de l'ammoniac libéré (Gavrilovic et al, 1996).

❖ Mode opératoire

Nous introduisons dans un matras de minéralisation 2 g de pulpe de dattier du désert (ou 2 mL du moût) et une pincée de catalyseur (sulfate de cuivre et de potassium), puis nous ajoutons 15 mL d'acide sulfurique pur en présence de quelques pierres pensés ; nous appliquons un chauffage à 420 °C pendant 4 à 5 heures, quand la solution devient limpide, elle est refroidie et complétée à 100 mL avec de l'eau distillée.

Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions. La distillation est réalisée dans un distillateur semi-automatique (VELP) :

- On met le tube de digestion contenant l'échantillon dans le distillateur Kjeldahl;
- On règle le volume de soude (35 %) à 20mL ;
- On règle le volume de l'acide borique (25 %) à 25mL ;
- On met quelques gouttes d'indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et du rouge de méthyle) dans le bécher de récupération du distillat ;
- On lance ensuite la distillation jusqu'à l'obtention de 100 mL de distillat de couleur verte (Gavrilovic et al, 1996).



Matras dans un minéralisateur



Les échantillons après la minéralisation

Photo III.10. Matras dans un minéralisateur.

Le dosage est effectué par l'acide sulfurique 0,05 N jusqu'à l'obtention de la couleur rose. Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions.

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$N(\%) = \frac{V}{V'} \cdot \frac{(N - N') \cdot 0.05 \cdot 1.4}{P} \dots\dots(III.1)$$

Avec

V : Volume de la solution minéralisée (mL) ;

V' : Volume de la solution de soude ajoutée (mL) ;

N : Volume d'acide sulfurique lue après titrage (mL) par l'acide sulfurique (0,05 N) ;

N' : Volume d'acide sulfurique utilisé dans le titrage du témoin (mL) ;

P : Poids de la prise d'essai (g).

La teneur en protéines est calculée en multipliant le taux d'azote total en (%) par le coefficient 6,25 (Gavrilovic et al, 1996).



La dilution de la solution



l'appareil d'un distillateur semi-automatique

Photo III.11. Distillation Kjeldah.

III.5.4. Détermination de la teneur en matière gras par soxhlet (ISO 659-1988)

L'extraction par solvant organique spécifique apolaire (n-hexane) pour la détermination du taux de la matière grasse est réalisée dans un appareil de type Soxhlet. Cette technique assure une extraction à chaud des matières grasses contenues dans un échantillon végétale solide placé dans une cartouche de cellulose et imbibée continuellement par les vapeurs d'un solvant choisi en fonction de la polarité des principes actifs lipidiques à extraire. Environ 10g d'échantillon broyé de granulométrie inférieur à 0,5 mm sont pesés dans la cartouche en cellulose fermé par du coton cardé, et introduit dans le Soxhlet à 3 postes de capacité 250 ml chaque poste. L'extraction est réalisée par du n-hexane (300ml) porté à reflux à 70°C pendant 6 heures, Une fois l'extraction terminée, l'hexane est éliminé par évaporation à l'aide d'un rota-vapeur à 65°C.

Taux de matière grasse

Le taux de matière grasse est calculé par la méthode suivante :

$$MG(\%) = \frac{P_2 - P_1}{M} \times 100 \dots\dots\dots(III.2)$$

Soit :

MG : Taux de matière grasse ;

P1 : Poids du ballon vide ;

P2 : Poids du ballon après évaporation ;

M : Masse de la prise d'essai.

III.5.5.Détermination du volume de CO₂ dégagé

La conversion biologique a été suivie par la mesure du CO₂ dégagé lors de la fermentation suite à la dégradation des sucres ; La production de CO₂ a été mesurée par déplacement d'eau. Le réacteur était connecté via un tube à un ballon rempli d'eau. Ce dernier était relié par un deuxième tube vide. Le CO₂ produit dans le réacteur pénètre dans le ballon en exerçant une pression qui expulsera une quantité d'eau proportionnelle à cette pression. Cette quantité d'eau récupérée dans le deuxième récipient a un volume équivalent à la pression de CO₂ sera mesurée.



Photo III.12. Montage de récupération du CO₂ dégagé .

III.5.6. Détermination du pH

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Le pH-mètre est un voltmètre qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de fortes résistances présentées par l'électrode de mesure (Odier, 2005).

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre sous agitation type HANNA instruments PH210 (NF V 05-108,1970) (AFNOR, 1982).

❖ Mode opératoire

La détermination du pH, est essentielle pour le contrôle de la fermentation. Sa variation nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure au cours de la transformation des sucres en alcool. La détermination du pH s'effectue par une lecture directe du pH-mètre.



Photo III.13. Mesure de pH à l'aide d'un pH mètre.

III.5.7. Détermination de la teneur en sucre, méthode du Dubois 1956

La méthode de Dubois permet de mesurer le taux de sucre en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En présence des réactifs, les sucres donnent une couleur jaune crème, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des sucres totaux. La Densité Optique (D.O) est déterminée à 490 nm (Ould El Hadj, 2001).

➤ Teneur en sucre réducteur

Les sucres réducteurs sont dosés par titrimétrie par la liqueur de Fehling. Le principe de la méthode consiste à faire réagir un excès de solution cupro-alcaline sur les sucres. Ces derniers sont séparés par décantation de l'oxyde cuivreux, puis traités par une solution de sulfate ferrique (0.02N). Le titrage se fait à l'aide d'une solution de permanganate de potassium (0.015N). Un tableau donne la correspondance entre le volume de permanganate de potassium versé et la masse de glucose (Audigie et al, 1980).

❖ Mode opératoire

- 1g de produit est mélangé avec 1ml de phénol (5%) et 5 ml d'acide sulfurique (98%) dans un 1^{er} tube essai ;
- 1 g de produit est mélangé avec 9 ml d'eau distillée dans un 2^{ème} tube à essai et après on réalise la dilution (4 fois) ;
- Pour chaque dilution on prend 1 ml d'échantillon, qu'on met dans un tubes essai et on ajout pour chaque tube 1 ml de phénol et 5 ml d'acide sulfurique, les tubes sont maintenus pendant 5 minutes à 105 °C dans l'étuve après un séjour de 30 minutes à l'obscurité. Les densités optiques du témoin et des échantillons ont été relevées par spectrophotomètre UV-VIS à 490 nm.

Les concentrations en sucre sont déterminées en g/L à partir d'une courbe d'étalonnage

Préparation de l'étalon

Pour chaque série, une gamme d'étalonnage est nécessaire, une solution mère (SM) de α D+ Glucose de concentration 100 μ g/ml est préparée comme suite :

- Préparer une solution de glucose de 1g /100ml (100 μ g/ml) ;
25 A partir de cette solution mère préparée on prépare des solutions filles de différentes concentrations ; 25 μ g /ml, 60 μ g/ml, 75 μ g /ml, 100 μ g /ml.
- Prendre 1ml de chaque concentration (2 essais pour chaque concentration) et on ajoute 1ml de phénol à 98% à l'aide d'une burette et 5ml d'acide sulfurique, les tubes sont maintenus pendant 5 minutes à 490 nm, puis on trace la courbe d'étalonnage (fig. III.2).

$$DO = f(c) \text{ avec } DO = \epsilon \cdot c$$

.....(III.3)

A partir des densités optiques de la courbe d'étalonnage, on peut obtenir la teneur en sucres d'échantillon à analyser.

ϵ : la pente.

C : la concentration de D+Glucose en $\mu\text{g/ml}$.

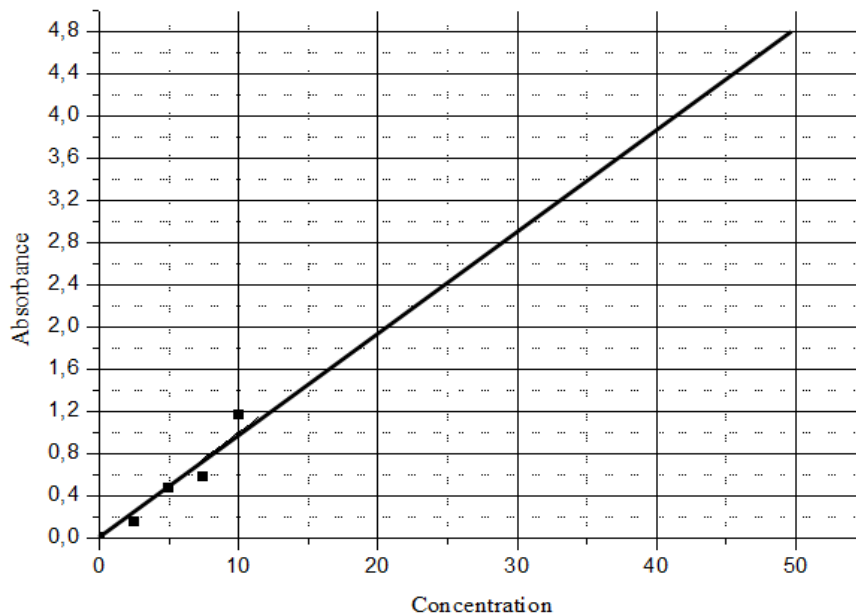


Figure III.2. Courbe d'étalonnage de D(+) Glucose.

➤ Teneur en sucres totaux

Principe- Un milieu acide permet l'hydrolyser du saccharose en sucres réducteurs, dont l'analyse est plus facile, cette hydrolyse est activée par l'utilisation du chauffage.

Leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 490 nm ([Linden et Lorient, 1994](#)).

❖ Mode opératoire

- On prend 5 ml d'échantillon auquel on ajoute 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl 2N).
- On met le mélange dans l'étuve 105°C pendant 30 min ensuite on le laisse se refroidir.
- On prend 1 ml de cet extrait et on procède au dosage des sucres contenu, comme pour les sucres réducteurs. le résultat obtenue représente la quantité des sucres réducteurs déjà représente ainsi que les sucres réducteurs obtenus par hydrolyse du saccharose ; donc se sont les sucres totaux.

➤ **Teneur en saccharose**

La teneur en saccharose est obtenue par la différence entre la teneur en sucres totaux et la teneur en sucres réducteurs présents dans l'échantillon

$$\text{Saccharose \%} = \text{Sucres totaux \%} - \text{Sucres réducteurs \%}$$

..... (III.4)



Photo III.14. Echantillons pour les analyses du sucre.

III.5.8. Comptage par la cellule de Malassez (Jeulin - Support Technique, Notice- 713 441-FR)

Méthode

- Passé la culture au vortex pour dissocier les amas cellulaires ;
 - Repérer à l'œil nu le quadrillage sur le centre de la lame ;
 - Recouvrir avec la lamelle ; astuce : humecter les plateformes latérales pour faire adhérer la lamelle ; appuyer sur cette lamelle en effectuant des mouvements de va et vient jusqu'à perception d'une résistance et apparition de franges irisées.
 - Remplir le quadrillage par capillarité :
 - Déposer la culture à l'aide d'une pipette pasteurisée (une goutte).
- Appliquer l'extrémité de la pipette légèrement inclinée sur la plate-forme centrale près de la lamelle. Le liquide s'étend par capillarité et l'exacte quantité vient remplir le quadrillage. Le remplissage doit être rapide et réalisé en une fois, sans débordement dans les rigoles et sans bulles d'air.
- Laisser les cellules sédimenter 1 à 2 min avant l'observation ;
 - Observer au microscope :

-Objectif $\times 10$ ou 20 pour avoir une vue d'ensemble du quadrillage ;

Vérifier la répartition homogène (si elle est hétérogène, recommencer la mise en cellule) ;

-Objectif $\times 40$ repérer un rectangle de Malassez (RM), compter les levures présentes dans ce RM (lui-même subdivisé en 20 petits carrés élémentaires) en déplaçant éventuellement la platine.

Pour chaque rectangle, compter toutes les cellules présentes carrées après carré :

Remarque

- Choisir une convention pour compter celles qui sont présentes sur les bords (ex. compter celles présentes sur le bord supérieur et sur le bord gauche) pour éviter de les compter 2 fois.

Compter les cellules dans 4 rectangles RM au minimum et faire la moyenne de ce résultat.

-Le volume du rectangle RM est de $1/100 \text{ mm}^3$

Calcul

Dans un rectangle : si Y est le nombre de cellules comptées (moyenne des 4 rectangles), alors

$Y \times 100 = \text{nombre de cellule /mm}^3$ (à multiplier par le coefficient de dilution)



Photo III.15. Microscope optique.

III.5.9. Détermination du degré alcoolique (Boulal, 2016)

Le dosage de l'alcool au cours de la fermentation est effectué par aérométrie. La méthode consiste à distiller le jus alcoolisé, puis mesurer, à la température ambiante, le degré du distillat à l'aide d'une courbe $d^\circ = f(d)$

Avec :

d : La densité d'un alcool et calculé par le densimètre

III.6. Caractérisation du produit final issue du dattier de désert

Les caractéristiques du produit final examiné sont : l'indice de réfraction, densité, la viscosité, Spectroscopie d'absorption IR.

III.6.1. Paramètre physique

III.6.1.1. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction d'un milieu transparent et homogène est le rapport de la vitesse de la lumière du vide sur la vitesse de la lumière dans le milieu étudié.

1. Principe

Les mesures sont effectuées au réfractomètre d'ABBE, à une température de 20°C, puis de 40°C. La méthode suivie est celle décrite dans la norme AFNOR T60-212.

2. Mode opératoire

- Après nettoyage de l'appareil, placer 2 ou 3 gouttes d'alcool au milieu du prisme;
- Regarder dans l'oculaire et mesurer en utilisant les boutons de réglage
- L'indice de réfraction a pour but d'amener les zones sombres et éclairées au centre du réticule ;
- Finalement, noter la valeur de l'indice et la température de mesure.



Photo III.16. Détermination de l'indice de réfraction à l'aide du réfractomètre.

III.6.1.2. Détermination de la densité

C'est le rapport du poids d'un certain volume d'un corps déterminé à celui du même volume d'eau pure dans les mêmes conditions de température (OIV-MA-AS2-01A : R2012).

La densité est obtenue comme étant le rapport entre la masse d'un volume sur le même volume de jus de dattier du désert.

Nous avons pris 10 ml de jus de dattier du désert et nous l'avons pesé à l'aide d'une balance électronique de précision. Pour prendre son poids nous avons répété l'opération plusieurs fois, le rapport masse /volume (m/v) est noté, la moyenne est pris comme résultat final.

$$d = m/v$$

.....(III.5)

Où :

d : La densité en g/ml.

m : La masse d'échantillon en g - masse de pycnomètre en g.

v : Le volume de pycnomètre (10 ml).

Avec Le volume de pycnomètre (10 ml).

III.6.1.3. Analyse spectroscopique d'absorption IR

1. Principe

La spectroscopie IR est une analyse spectrale qui permettra la détermination de type de liaison dans un échantillon donnée, Cette analyse est basée sur l'absorption d'énergie dans le domaine spectral infrarouge qui s'étend de 4000 à 400 cm^{-1} (Idir, 2016).

2. Mode opératoire

- Mettre sur une pastille quelque microlitre d'alcool de dattier du désert ;
- Introduire la pastille dans le compartiment d'échantillonnage du spectromètre infrarouge

Chapitre IV

Résultats et Discussion

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.1. Résultats morphologiques des fruits du dattier de désert

Les caractéristiques morphologiques étudiées des fruits de dattier du désert sont présentés dans le **Tableau IV.1**. Les résultats exprimés pour chaque critère représentent la moyenne des analyses effectuées sur 20 fruits.

Tableau IV.1. Les résultats moyens des analyses physiques des fruits de dattier du désert étudié.

Caractéristique	Valeur moyenne
Poids de fruit (g)	7.33
Poids de la pulpe (g)	4.14
Poids de la graine (g)	3.19
Poids de l'Amand (g)	0.78
Longueur du petit axe du fruit (cm)	2.29
Longueurs du grand axe du fruit (cm)	2.83
Rapport pulpe/fruit (%)	56.48
Rapport graine/fruit (%)	43.51
Rapport amande/fruit (%)	9.54
La couleur	Marron

D'après les résultats donnés par le tableau ci-dessus le fruit du dattier de désert est caractérisée par sa forme ovoïdes, sa longueur moyenne du grand axe de l'ordre de **2.83 cm** et une longueur moyenne du petit axe au environ de **2.299 cm**. Sa couleur est brun rougeâtre ou marron claire, pesant en moyenne **7.33** grammes. Ces résultats obtenus sont différents à ce qu'il a été mentionné par **Jean Schunck 2014**. La différence des caractéristiques peut être expliquée par l'influence des facteurs climatiques et géographiques du milieu de dattier du désert.

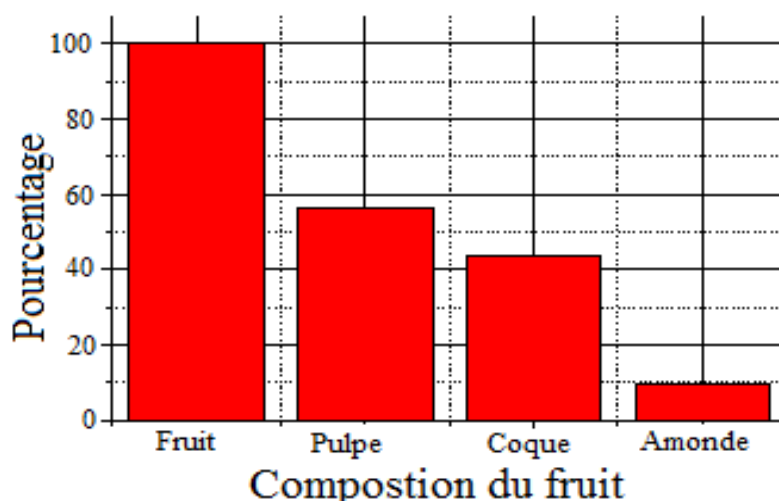


Figure IV.1. Evolution de la composition du fruit(%).

La pulpe du fruit est sucrée et légèrement aigrelette (la partie essentielle dans cette étude), contrairement de la graine qui a une saveur douce.

Pratiquement, au cours d'utilisation industrielle, on pourrait retirer la pulpe représentant **56.48 %** du fruit, pour l'utiliser dans le processus de fermentation pour produire de l'alcool.

IV.2. Résultats de l'analyse physico-chimique de la matière première (Fruits de dattier du désert)

Les résultats trouvés sont donnés dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2. Résultats des analyses physico-chimiques de la pulpe de fruits de dattiers du désert.

Paramètres	Résultats
pH	4,3 ±4,55
Taux d'humidité	40,2
Le taux du sel minéraux (%)	0,033
Teneurs en protéines (%)	3
Teneur en sucres totaux(%)	59,47
Teneur en sucres réducteurs (%)	32,04
Teneur en saccharose(%)	27,43

- Le pH moyen de la variété *Balanites aegyptiaca* varie entre 4.3 et 4.55 cette valeur est comparée par le pH de quelques variétés de dattes tunisiennes (Deglet-Nour, Alliget Kentichi) donnés par (Besbes et al, 2008) où leur pH se situe entre 5,63 et 5,79.
- Il en ressort que le taux de protéines est de l'ordre de 3%, Ces résultats sont comparables aux résultats bibliographiques qui situent le taux de protéines dans la fourchette de 0.9 - 4 % du poids frais de la Datte, Nixon et al, 1978 ; Sawaya et al, 1983, Al Hooti et al, 1997 signalent des valeurs qui se situent entre 2 et 2.5 %.

IV.3. Résultat des dilutions étudiées

Après la 1^{ère} distillation on a obtenue les résultats suivants :

Tableau IV.3. Propriété de l'alcool

N° de dilution	Densité à 20°C	Degré alcoolique (%)
Dil1	0.884	11.55
Dil2	0.857	14.82
Dil3	0.895	12.61
Dil4	0.913	13.64

Selon le **Tableau IV.3**, nous ne concluons que la deuxième dilution Dil2 (1/4) qui nous a donné le meilleur degré. Par conséquent, notre étude est concentrée sur le suivi des résultats de cette dilution choisie.

IV.4. Résultats d'analyse physico-chimique durant la fermentation.

Les résultats des analyses physico-chimiques de moût des fruits de dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*) au cours de la fermentation, sont présentés comme suit :

IV.4.1. Le pH

La détermination du pH est essentielle pour le contrôle de l'activité biologique. On remarque sur la fig. IV.2 une diminution du pH durant la fermentation ; le pH varie de 4.15 à 4.55. Ceci est tout à fait attendu car l'activité métabolique des levures fait baisser le pH et rend le milieu plus acide (la libération des acides organiques issue de la dégradation des sucre (Boulal, 2020).

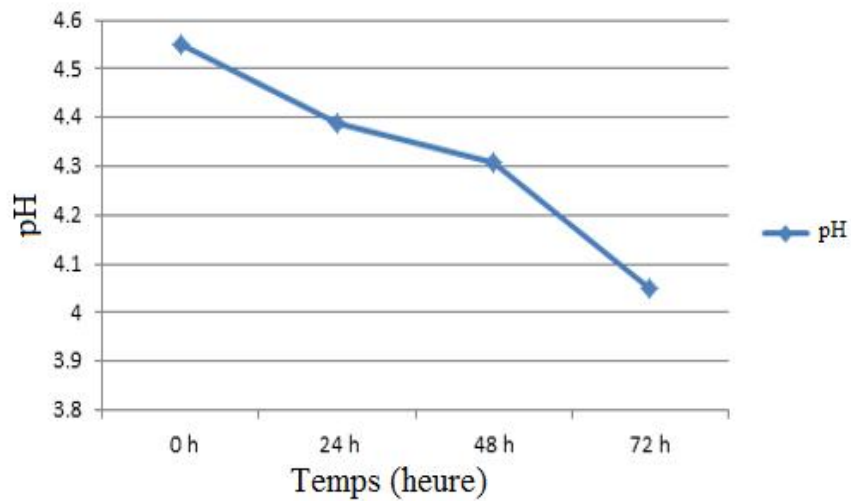


Figure IV.2. Evolution du pH durant la fermentation.

Les moûts de dattier du désert ont un pH acide. Ce caractère acide est le plus souvent lié à la présence d'acides organiques. La concentration de ces éléments va alors définir le degré d'acidité du moût. Au cours de la fermentation, certains composés subissent très peu ou pas de changement. D'autres composés comprenant des acides organiques et des alcools sont produits par la levure.

IV.4.2. Résultat du volume de CO₂ dégagé au cours de la fermentation

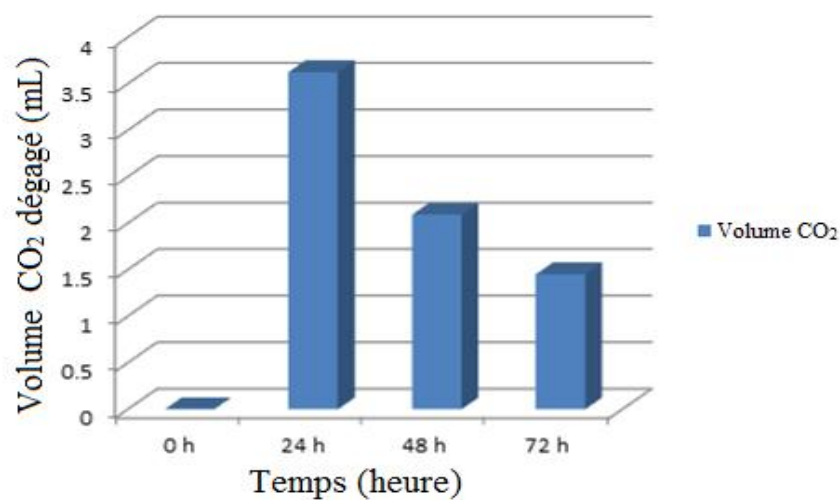


Figure IV.3 . Evolution du volume de CO₂ durant la fermentation.

On observe dans la fig. IV.3, un volume élevé lors des premières 24 heures de fermentation et qui diminue au cours des 48 heures suivantes, ce qui indique qu'il y a une bonne dégradation métabolique pendant les première 24heures. les transformations des sucres en bioéthanol plus le dégagement du CO₂ ([Alhadj, 2001](#); [Boulal et al, 2016 et 2017a](#)).

IV.4.3. Taux des sels minéraux

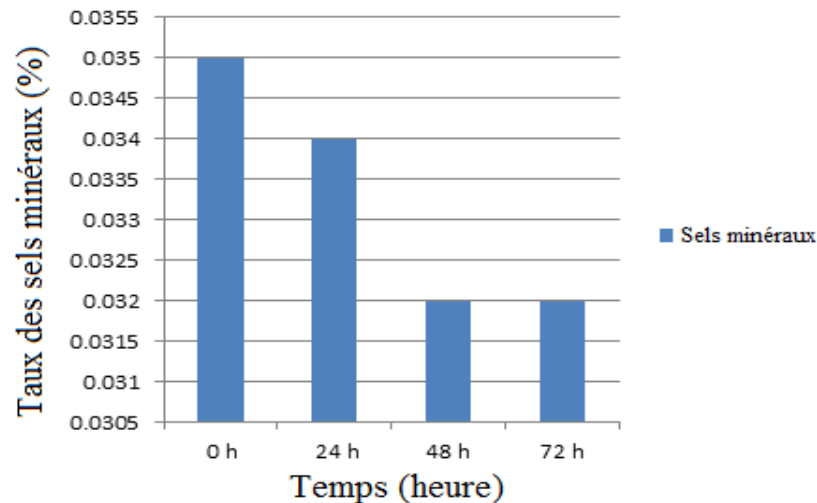


Figure IV.4. Evolution du taux des sels minéraux durant la fermentation.

Les valeurs des sels minéraux présentées sur la fig. IV.4 montrent une diminution remarquable durant la fermentation, ce qui explique leur consommation par la levure pendant la fermentation, ils sont des facteurs très importants pour l'assurer ([Boulal, 2020](#)).

IV.4.4.La densité

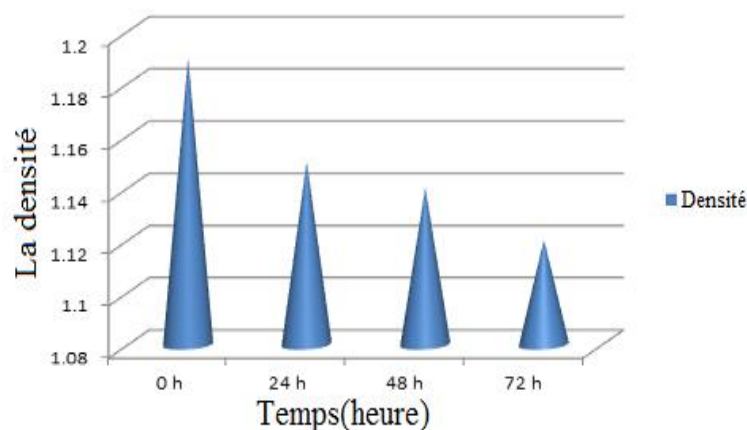


Figure IV.5. Evolution de la densité durant la fermentation.

La fig. IV.5, présente une diminution remarquable des valeurs de la densité de moût au cours de la fermentation, qui peut être expliquée par la transformation du glucose en alcool et la perte de masse sous forme de CO₂ (Boulal et al, 2016, 2017a).

IV.4.5.L'indice de réfraction

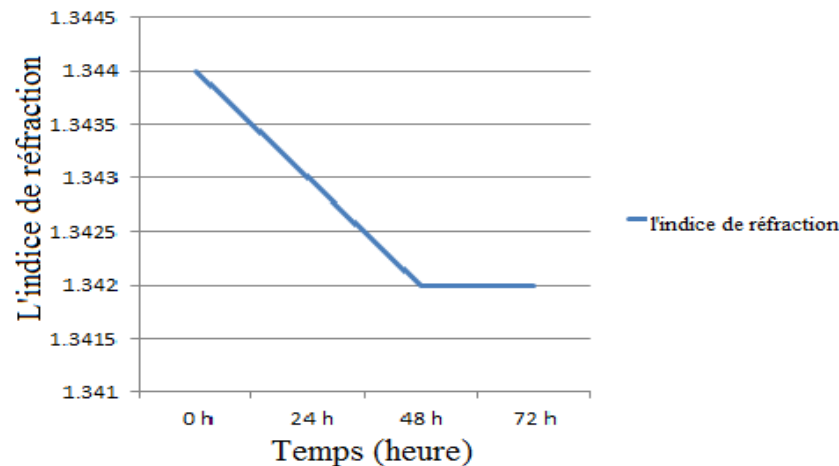


Figure IV.6. Évolution de l'indice de réfraction durant la fermentation.

Une diminution continue de l'indice de réfraction jusqu'à l'arrêt de la fermentation est bien lisible dans la fig. IV. Cela confirme qu'il existe une corrélation directe entre la densité et l'indice de réfraction.

IV.4.6. Nombre de croissances des cellules de la levure

L'évolution du nombre des cellules de la levure au cours de la fermentation est présentée par la (Figure IV.7), où la levure *Saccharomyces cerevisiae*, montre une cinétique de croissance microbienne par les 3 phases suivantes :

- 1. Phase de croissance** : elle s'étend sur les premières 24 heures pour le dattier du désert, cette phase est caractérisée par un rythme de croissance rapide et progressif, où la population levurienne atteint une valeur maximale de $2,12 \times 10^9$ cellules/ μ L pour la *Balanites aegyptiaca*, cette croissance est due à la multiplication cellulaire. La construction de nouvelles cellules est basée sur la consommation des sucres, d'azote et des sels minéraux ;
- 2. Phase stationnaire** : l'azote qui est nécessaire à la construction de nouvelles cellules atteint sa valeur minimale, due à l'arrêt de croissance de la levure ;
- 3. Phase de décroissance** : au cours du troisième jour (après 72 h), la concentration cellulaire viable diminue du fait de la lyse cellulaire causée par les conditions qui deviennent défavorables dans le milieu.

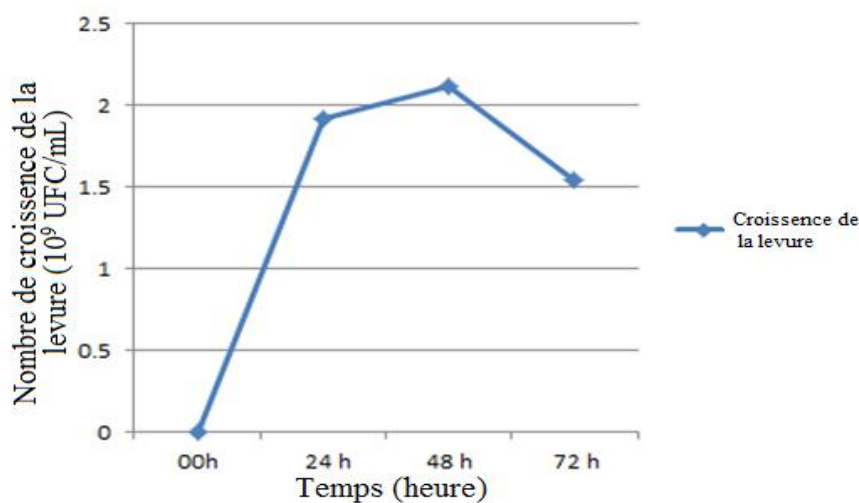


Figure IV.7. Évolution de la croissance de la levure durant la fermentation.

IV.4.7. Sucres réducteurs

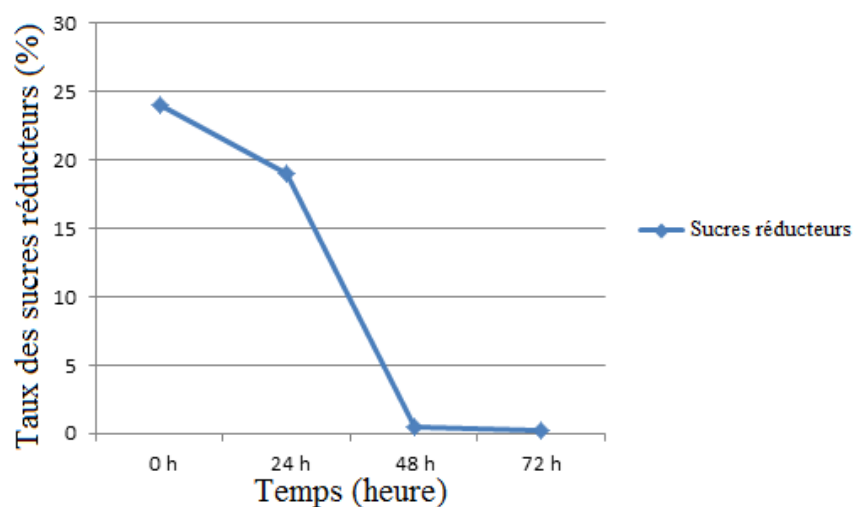


Figure IV.8. Évolution de la teneur en sucres réducteurs durant la fermentation.

La figure IV.8 montre une diminution très significative de la teneur en sucres réducteurs au cours des premières 48 heures de fermentation, et cette réduction des sucres réducteurs peut s'expliquer par la conversion du sucre fermenté en éthanol, puis la production d'éthanol diminue progressivement en raison de la diminution des taux de sucre et de l'accumulation de composés toxiques. Nous observons après 72 heures que les sucres n'ont pas été consommés totalement par la levure, cela peut être dû à l'arrêt de la croissance de *Saccharomyces cerevisiae* par

accumulation des substances toxiques (Boulal et al, 2010), ce qui indique que les acides gras formés par la levure deviennent toxiques pour cette dernière, aussi l'effet de l'alcool dans le milieu devient inhibiteur.

IV.4.8. Degré alcoolique

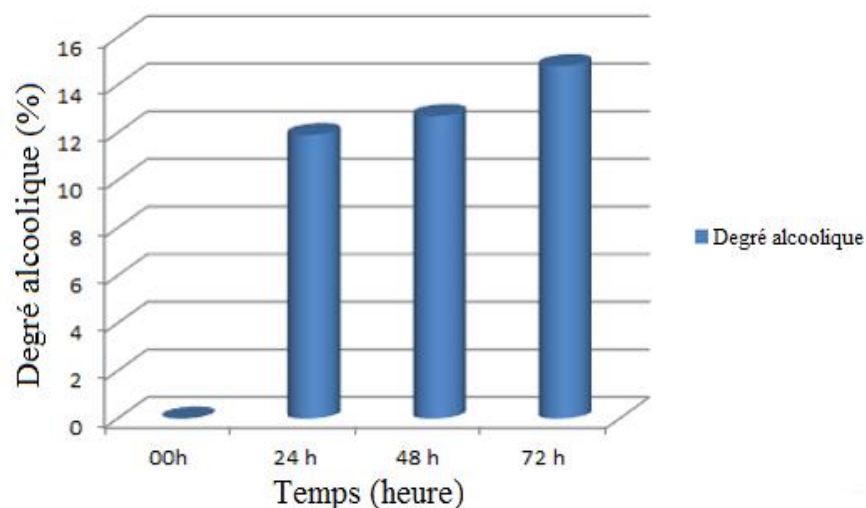


Figure IV.9. L'évolution de degré alcoolique durant la fermentation.

La fig. IV.9 montre que le degré alcoolique augmente durant la fermentation et que la cinétique de la production d'alcool est liée au taux de sucre contenu dans le moût des fruits.

IV.5. Résultats de l'analyse physicochimique du produit final

L'alcool produit au niveau du laboratoire aux caractéristiques suivantes : volatil, inflammable, limpide et possédant une odeur piquante.

Les résultats des analyses physicochimiques de bioéthanol de dattier du désert, sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4. Les résultats des analyses physicochimiques du produit final

Les Paramètre	Bioéthanol obtenu	Bioéthanol 96°
pH	5,33	–
La densité (20°C)	0,823	0,789
Degré alcool (1 ^{er} distillation)	79°	–
Degré alcool (après rectification)	90°	–
Rendement(%)	30	–
Indice de réfraction	1,3592	1,3594

D'après les résultats obtenus on peut conclure que notre bioéthanol obtenu est conforme aux normes internationales.

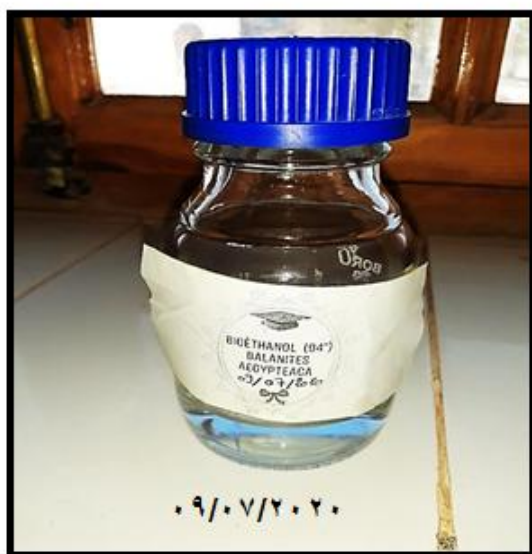


Photo IV.1. Le produit final (bioéthanol).



Photo IV.2. Ethanol inflammable et volatil.

IV.5.1. Analyses de l'éthanol obtenu par distillation du moût de dattier du désert par spectrophotométrie IR

FTIR Cary 660 University of Adrar

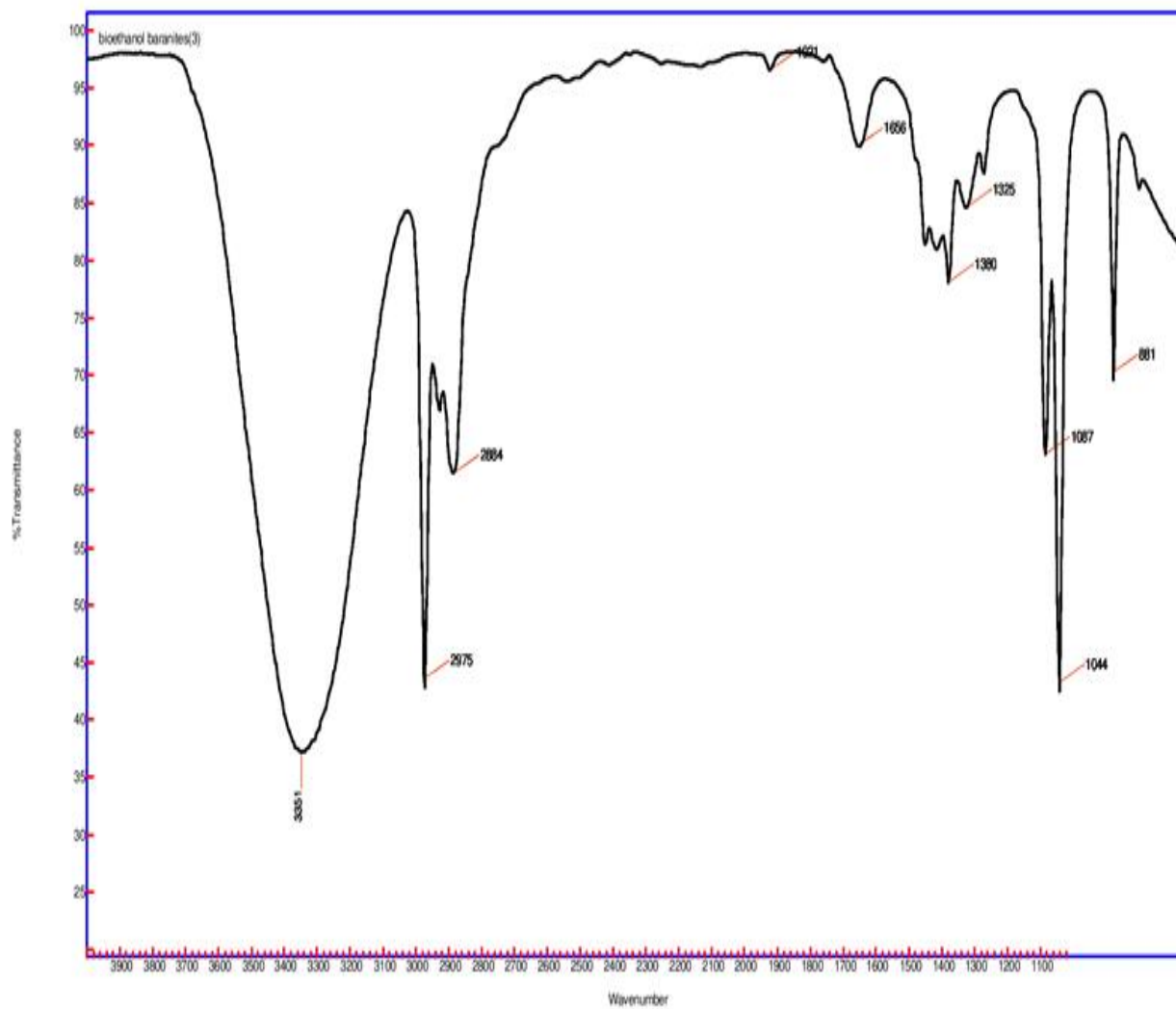


Figure IV.10. Spectre d'Infra-Rouge du bioéthanol obtenu du *Balanites aegyptica*.

La Fig. IV.10 ci-dessus présente les signatures vibratoires des bandes obtenues par spectrophotométrie infrarouge des produits d'éthanol. Les différentes vibrations des bandes existantes dans le spectre sont illustrées dans le Tableau IV.5.

Tableau IV.5. Groupements correspondant à la vibration de valence.

Vibrations des bandes	Groupement	Composé
3339.08	C-OH	Alcool
2974.29	C-H	Alcane
2888.12	C-H	Alcane
1380.91	C-OH	Alcool
1087.06	C-OH	Alcool
1044.53	C-OH	Alcool

IV.6. Rendement pondéral

Le rendement pondéral est défini comme étant le rapport entre la quantité d'alcool formée et la quantité de dattes utilisée (avec noyaux) (Boulal et al, 2010).

Le rendement calculé correspondant à *Balanites aegyptiaca*, donnent :

55g	→	100%(IV.1)
16.47 mL	→	x	

Donc chaque 125g de fruits forme 30mL alcool de concentration 90°.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

Les résultats des analyses morphologiques des fruits du dattier de désert (*Balanites aegyptiaca*) montrent que la pulpe représente 56.48 % du fruit, c'est un pourcentage intéressant et encourageant pour son utilisation dans le processus de fermentation afin de produire du bioéthanol. Les analyses physico-chimiques ont montré que les fruits de dattier du désert sont riches en sucres facilement assimilables. Le pH de ces fruits est préjudiciable au développement des bactéries, mais il contribue à la prolifération des levures : c'est un pH favorable à la fermentation alcoolique.

L'objectif visé par notre travail est de produire du bioéthanol à partir des fruits de dattier du désert en utilisant comme procédé la fermentation en présence de la levure *Saccharomyces cerevisiae*, suivi par une distillation alcoolique. L'étude de la fermentation des dattes montre que :

➤ Le degré alcoolique évolue progressivement au cours de la fermentation parallèlement à la dégradation des sucres, il atteint un degré alcoolique de 79° à la fin de la fermentation ;

➤ Le degré alcoolique obtenu après la rectification est de 90°.

- les caractéristiques du bio-alcool produit est proche de celle de l'éthanol pur telle que la densité, le pH et l'indice de réfraction ;

- le rendement obtenu est de l'ordre de 30%.

Le présent travail a montré que la valorisation des fruits de dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*) sucrés et sèches, en vue de leur éventuelle transformation en éthanol après fermentation est distillation alcoolique est possible, au lieu de les perdre dans la nature ou consommer par les animaux.

Enfin, les résultats de ce travail, bien que préliminaire, ouvrent des voies prometteuses pouvant contribuer à fournir localement du moins, un moyen de production de bioéthanol à partir d'un produit local, disponible et non valorisé, aussi bien il sera mieux de caractériser les résultats du présent travail et refléter leur impact sur l'échelle industriel pour but de répondre au besoin local et national en alcool éthylique.

Perspectives

La production du bioéthanol à partir des fruits de dattier du désert non valorisés et non commercialisés constitue une solution intéressante sur le plan socio-économique à grande échelle. Le bio-alcool produit par fermentation peut remplacer avantageusement et progressivement celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers et qui est importé de l'étranger pour couvrir les besoins nationaux. Le bioéthanol peut aussi remplacer le pétrole léger comme carburant ou au moins permettre le mixage avec l'essence en pourcentage (5 à 10% d'éthanol).

En fin, il faut encourager les recherches scientifiques pour améliorer les connaissances dans ce domaine.

Il serait souhaitable de :

- Mettre en valeur les autres nouvelles sources de production de bioéthanol.
- Recherche de nouvelles micro-organismes plus efficaces et surtout les microorganismes locaux non modifié génétiquement.
- Recherche d'autres méthodes de production d'éthanol et d'autres matières premières locales non exploitées plus efficient de deuxième et de troisième génération.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- **Acourene S, Tama M, (1997)**. “Caractérisation physico-chimique des principaux cultivars de dattes de la région des Zibans”, Recherche Agronomique, Vol. 1, 1997, pp. 59-66.
- **Appl.Biosci J, (2017)**. Utilités socioéconomiques et culturelles du *Balanites égyptiaque* (L.) Del. (Famille Zygophyllaceae) chez les populations locales de la Région du Ouaddaïau Tchad (Journal of applied biosciences. Vol 111 : Pp, 108554-10866.
- **Afnor (NF), (1982)**. Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. Ed. Afnor, P.325.
- **Ajiskrishnan T , Bibin C, Gopinath S, Aravindhan N , Krishna Kumar M, (2015)**. Vision-based position and orientation estimation of an aerialvehicle, IJSRD Int. J. Sci.Res. Dev. 3 (01) 637–640.
- **Al-Hooti S, Sidhu J.S, Qabazard H, (1997)**. Physicochemical characteristics of Five Date fruit cultivars grown in the united Arab emirates cite this article : Plant foods fort Human Nutrition 50.101-113(1997).
- **Amalia Kartika I, (2005)**. Nouveau procédé de fractionnement des graines de tournesol : expression et extraction en extrudeur bi-vis, purification par ultrafiltration de l’huile de tournesol. Thèse de Doctorat, INP, Toulouse. Date soutenance 19/05/2005.
- **Arbonnier M, (2000)**. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches s’Afrique de l’Ouest. CIRAD. MNHN et LTICN(Ed). Paris. Pp, 541.
- **Audigie C.L, Figarella J et Zonszain F, (1980)**. Manuel d’Analyses Biochimiques’, Ed. Doin, Paris. Pp 270.
- **Azad , A.K. Rasul, M. Khan, M.M.K. Sharma, S.C. Bhuiya, M, (2015)**. Study on Australian energy policy, socio-economic, and environment issues. J. Renew. Sustain. Energy, 7: 063131.
- **Bai F, Anderson W, Moo-Young M, (2008)**. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. Biotechnol. Adv. 26(1) : Pp 89-105.
- **Baumer M, (1995)**. Arbres, arbustes et arbrisseaux nourriciers en Afrique occidentale. Ed. ENDA. Dakar. Pp, 260.
- **Bazus B, (1991)**. Raffinage des agroressources: extraction et caractérisations des glucuroxyanes des coques de tournesol. Thèse de Doctorat, INP, Toulouse. Date de soutenance 01/09/1991.
- **Ben Brahim Z, (2012)**. Production de l’éthanol par bio-fermentation des dérivés des dattes. Pp21 ,25.

- **Benbrahim M, (2001)**. L'optimisation de la production de biomasse "Saccharomyces cerevisiae" à partir d'un extrait de datte d'une faible valeur marchande (TINISINE). Mémoire d'ingénieur. Institut d'agronomie. Batna, 36p.
- **Ben-Chaabane M.F, (2006)**. Intensification de la production d'éthanol biocarburant dans un bioréacteur bi-étagé avec recyclage cellulaire : Modélisation et Stratégie de conduite. Thèse de doctorat, département de Génie Biochimique et Alimentaire, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. Date soutenance et 30/03/2006, p32.
- **Berger F, (1938)**. Sei. pharm. Vol 11 : Pp.122.
- **Berhaut J, (1974)**. Flore illustrée du Sénégal", 6 tomes, Dakar Pp 122
- **Berhaut J, (1967)**. Flore du Sénégal. 2ème éd. Ed. Clairafrique. Dakar. Pp, 485.
- **Besbes S, Elleuch M, Roiseux O, Blecker C, Deroanne C, Drira N.E, Hamadi A, (2008)**. Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. Journal of Food Chemistry, Vol. 111: Pp, 676-682.
- **Boesewinkel F.D, (1994)**. Ovule and seed characters of *Balanites aegyptiaca* and the classification of the linales-Geraniales-Polygala les assembly. Acta Bot .Neerl.Vol: Pp 15-25.
- **Booth F. E.M et Wickens G. E, (1988)**. Non-timber uses of selected arid zone trees and shrubs in Africa. FAO. Conservation guide 19. Rome. Pp 18-27.
- **Bougherda F. Z, Kebir O.E, (2013)**. Étude comparative du rendement du bioéthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commercial (*Teggazaet Lebghel*) de la région d'Adrar, université houari Boumediene, Pp16.
- **Boukar A, (2014)**. Optimisation de la production d'huile de balanites de Barsalogo : Pp 07.
- **Boulal A, (2006)**. Rapport d'Activité URER/MS Adrar, Pp.1-4.
- **Boulal A, (2020)**. Polycopie de cours : Microbiologie alimentaire. Université Ahmed Draïa-Adrar. Pp, 1-101.
- **Boulal A, Benali B, Moulai M et Touzi A, (2010)**. Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. Rev. Energ. Ren, CDER. 13(3):455-463.
- **Boulal A, Kihal M et Khelifi CH, (2017a)**. Bioethanol and yeast strain production from common dates. LAMBERT Academic Publishing (LAP). Juin 2017. ISBN 978-3-330-32696-5. www.get-morebooks.com.
- **Boulal A, Kihal M, Khelifi Ch, Benali B, (2017b)**. Generation of bioethanol from common date byproducts, "Teggaza and Lebghel" in Southern Algeria. African Journal of Biotechnology. Vol. 16(1): Pp, 41-50.

- **Boulal A, (2017).** Contribution a l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. Oran : Université d'Oran 1 Ahmed ben bella. Date de soutenance 28/06/2017.
- **Bourat G, (1992).** Propriétés des micro-organismes, traité génie des procédés. Journal de technique de l'ingénieur, PARIS. Volume 6.
- **Bourgeois C.M et Leveau J.Y, (1991).** Techniques d'analyse a et de contrôle dans les industries agro- alimentaires. Volume 3, 2ème édition, Lavoisier, Paris.
- **Brama T, (2001).** Contribution à l'étude de la caractérisation et de la germination de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. Dans la région de Tamanrasset These. Doct écologique et environnement Univer Tlemcen Pp, 177.
- **Briffaud J. & Melcion J. P, (1986).** Aptitude variétale du tournesol au décorticage. Revue Française des Corps Gras. Vol 33 : Pp, 11–17.
- **Brodeur C, Cloutier J, Crowley D, Desmeules X, Pigeon S, (2008).** La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales'', Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Publication n° EVC 029.
- **Busson F, Carbienner R, Lanza J.P, (1960).** Anne. Nutr, paris, 14,'1.
- **Busson F.F, (1965).** Etude chimique et biologique des végétaux alimentaires de l'Afrique de l'Ouest dans leurs rapports avec le milieu géographique et humain. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences naturelles n° 145. Fac. Sc. Univ. Aix Marseille. Soutenue le 18/02/1965. Pp, 212-213.
- **Chantegrel P, Ucciani E, Lanza M, Busson F, (1920).** Contribution à l'étude chimique de la pulpe et de l'amande *Balanites aegyptiaca* (L) (Del Zyegophyllacées) annals de la nutrition et de l'alimentation vol. 17 (1963), Pp, 127-138.
- **Charles E. Wyman, (1996).** Handbook on Bioethanol Production and Utilization: Pp, 3.
- **Coulibaly A, (2007).** Le marché de l'éthanol : menaces ou opportunités pour les producteurs de porcs ? pp.1-5.
- **Creach P, (1940).** Le *Balanites aegyptiaca* (L) Del, ses multiples applications au Tchad. Rev. bot. Appl Agric Trop, 20,578-593. FAO, 1987 .
- **Fabienne D, (1991).** Génie Fermentaire', Edition Doin Editeurs, Paris : Pp. 226 – 229.
- **Dao V, (1993).** –Contribution à l'étude de la valorisation de *balanites aegyptiaca* en zone sahélienne : le cas sollé dans le yatenga unierssité de Ouagadougou, page publiée le 20/04/2018, Pp, 41.
- **Daziel J,(1937).** The useful plants of west tropical Africa, London: crown Agents for colon. Pp, 52-560.

- **Dekker R. F. H. & Wallis A. F. A, (1983).** Autohydrolysis-explosion as pre-treatment for the enzymic saccharification of sunflower seed hulls. 5(5): Pp, 311-316. (Biotechnology Letters, R.F.H. Dekker & A.F.A. Wallis Biotechnology Letters. Vol. 5, Pp 311-316.
- **Depirre D et Gillet H , (1991).** L'arbre desertique source de vie. Bois et forets des Tropiques. Vol. 227 (1991), Pp 43-50.
- **Dharma S, Masjuki H.H. Ong H.C, Sebayang A.H , Silitonga A.S , Kusumo F, Mahlia T.M.I, (2016).** Optimization of biodiesel production process for mixed *Jatropha curcas*–*Ceiba pentandra* biodiesel, using, response surface methodology. Energy Convers. Manage. 115: Pp, 178–190.
- **Djibril D, (2017).** Fractionnement analytique de la graine de neem (*Azadirachta indica* A.JUSS.) et de la graine de dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*.) -valorisation des constituants de la graine de neem par bioraffinage. Pp, 16-80.
- **Djouab A, (2014).** Préparation et incorporation dans la margarine d'un extrait de dattes des variétés sèches'', Mémoire de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université M'hamed Bougara Boumerdès. Date soutenance 2017.
- **Elamin M. M & Satti A. A, (2013).** Insecticidal potentialities of *Balanites aegyptiaca* extracts against the khapra beetle (*Trogoderma granarium*). Global Advanced Research Journal of Environmental Science and Toxicology. Vol2: Pp, 005-010.
- **EMV, (1964) : Encyclopedie Du Monde Vegetal. (1964) -Tome 1, Paris, Quillet.**
- **Fatou Dial N, (1997).** Contribution a l'étude chimique et biochimique des graines de *Balanites aegyptiaca* (L.) del. (*Simarubaceae*) et de *Parinarimacrophylla sabine* (*Rosaceae*). Date Soutenu le 22/02/1997: Pp, 19-20.
- **Bounoua F, (2017).** Production de bioéthanol à partir des déchets de l'industrie de transformation de pomme de terre, Université M'HAMED BOUGARA Boumerdès. Soutenu le: Juillet 2017, Pp, 20-26.
- **Gaillard J. L, Leclerc H, Simonet M, (1995).** Microbiologie générale. Ed Doin. Paris : Pp, 535.
- **Gavrilovic M, M.J Maginot, C.I.S chwartz Gavrilovic, J. Wallach, (1996).** Manipulations d'analyse biochimique. 3ème édition revue et corrigée, Doin édition ; Paris, ISBN 2 7040-0836.
- **Gaussen H, Leroy J. F et Ozenda P, (1982).** Précis de Botanique. Tome II : végétaux supérieurs. 2ème édition revue et augmentée. Ed. Masson. Paris. Pp, 579.

- **Giffard P.L, (1974).** L'arbre dans le paysage sénégalais-Sylviculture en. Zone tropicales sèche : C.T.F.T., DAKAR. Vol. 6(2): Pp431.
- **Gnoula C, Mégalizzi V, De nève N, Sauvage S, Ribaucour F, Guissou P, Duez P, Dubois J, Ingrassia L, Le Franc F, Kiss R, Mijatovic T, (2008).** Balanitin-6 and-7 :Diosgenylsaponins isolated from *Balanites aegyptiaca*(L.) Del. Display significant anti-tumor activity in vitroand in vivo. *Int J. Oncol.* Vol 32 : Pp, 5-15.
- **Gopinath S, Devan P,Balasubramanian M,Bibin C, (2014).** Experimental study and optimization of injection parameters for a biodiesel using Taguchimethod, *Int.J. Appl. Eng. Res.* 9 (26): Pp, 9292–9296.
- **Hall J.B et Walker D H, (1991).** *Balanites aegyptiaca*: a monograph. Sch, Agi.for.ScUniv. of Wales; Bangor: Pp65.
- **Hall J.B, (1992).** Ecology of a key African multipurpose tree species, *Balanites aegyptiaca* (Balanitaceae): the state-of-Knowledge.for .Ecol .Manage. Vol 50: Pp, 1-30.
- **Hamelinck C.N, Hooijdonk, G.v, Faaij A.P, (2005).** Ethanol from lignocellulosic biomass: Techno-economic performance in short-, middle-and long-term. *Biomass Bioenergy.* 28(4): Pp, 384-410.
- **Idire A. (2016).** Utilisation des noyaux de dattes pour l'alimentation des ions Fe²⁺ en solution aqueuse. Tizi-Ouzou : Université de Mouloud Mammeri, Soutenue 19/03/2016: Pp, 49.
- **Jaouen X, (1984).** Arbres, arbustes et buissons de Mauritanie. Centre cult.Franç, A. Dest-Ex .Nouakchott, Pp, 113.
- **Jasmin Rives, (2014).** Réflexion critique sur le rôle des énergies fossiles dans la prochaine politique énergétique du QUEBEC. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.). Université de Sherbrooke: Pp, 1-77.
- **Jean Schunck De Goldfiem, (1942).** Etude chimique de *Balanites aegyptiaca* (Del.), Bulletin de la Société Botanique de France: Pp, 236, 237.
- **Jean-Michel B, (2004).** Gestion des déchets. 3éd. DUNOD, Paris : Pp.448.
- **Jeulin - Support Technique, Notice- 713 441-FR : Pp, 1-4.** www.jeulin.fr .
- **Jung- Hyun Chung ,Xiu-Qing Li , DanushaKalinga , Seung-Taik Lim, RickeyYada , Qiang Liu , (2014).** Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food Research International.* Vol 57: Pp, 89–94.

- **Kacimi M.M, (2008).** Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes du développement durable. Maître en environnement, Centre Universitaire de Formation en Environnement, Université de Sherbrooke.
- **Khalil K.E, Abed-El-Bari M. S, Hafiz N. E and Entsar Y. A, (2002).** Production, evaluation and utilization of date syrup concentrate (Debis). Egypt. J.FoodSci. Vol 30(2): pp, 179-203.
- **Lauras E, Olea-Sylva, (1990).** Valorisé le potentiel économique du *Balanites aegyptiaca*. Suppl. Silva. Arb. for. Soc. Vol 15 : Pp, 8-9.
- **Luxereau A, Tubiana M J, (1994).** Le *Balanites aegyptiaca*, arbre a usages multiples .In: Actes des deuxièmes journées de l'arbre. Marrakech: Pp, 48-53.
- **Maire R, (1933).** Etude sur la flore et la végétation du Sahara central. Mission scientifique du hoggar. Mém. Soc. Hist. Nat. A fi .Nord : Pp, 1-22.
- **Malgras D, (1992).** Arbres et arbustes guérisseurs des savanes maliennes. Ed. Karthala et ACCT. Paris : Pp, 478.
- **Mertens L, Roiz J,(2010).** Les biocarburants non conventionnels : quelles opportunités pour la Belgique en 2020. Secrétariat ValBiom - Chaussée de Namur, 146-5030 Gembloux - 081/62.71.84 : Pp, 9.
- **Moulay M, (2015).** Caractérisation écologique de peuplement de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del à oued matriouenedans la région D'Aoulef Adrar : Pp, 12.
- **Nadhim D.J,(1982).** Production d'Ethanol à partir des Sucres de Dattes', Séminaire sur les Dattes, 4-5 Décembre, Bagdad, Irak, 1982 : Pp, 115 - 130.
- **Nixon R.W, Carpenter B, (1978).** Growing Dates in United Sates. United States Department of Agriculture Information, Bulletin Prepared by Science and Education Administration: Pp, 44 – 45.
- **Okia C.A, Kwetegyeka J, Okiror P, Kimondo J.M, Teklehaimanot Z, Obua J,(2013).** Physico-chemical characteristics and fatty acid profile of desert date kernel oil. African Crop Science Journal. Vol. 21 (13): Pp, 723-734.
- **Ould El Hadj M.D,(2001).** Etude Comparative de la Productivité d'Alcool Brut de Dattes selon les Variétés. Recherche Agronomique, Institut National de la Recherche Agronomique, Algérie(INRAA), Vol 9 : Pp, 91–99.
- **Ozenda P, (1983).** Flore du Sahara. Ed. CNRS. Paris : Pp 622+cartes h.t.
- **Paquot C, Coll , (1962).** Ann. Nutr., Paris. Vol 16 : Pp, 23 - 65.
- **Parkan J, (1990).** Le Balanites. La lettre du RAT. Suppl. Silva. Arb. For. Soc: Pp 5-7.

- **Poupon H, (1980).** Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe gahélienne au nord du Sénégal (Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M) (French Edition): Pp, 351.
- **Quezel P et Santa S, (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. CNRS. Paris. Tome I et II : Pp,1170.
- **Rathmann R, Szklo A, Schaeffer R, (2010).** Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate. *Renew. Energy.* 35(1) : Pp, 14-22.
- **Riess J, (2012).** Intensification de la brique "fermentation alcoolique" de substrats betteraviers (et autres substrats) pour la production d'éthanol. Thèse de doctorat, Département de Génie des procédés et de l'environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- **Roussel J, (1995).** Pépinières et plantations forestières en Afrique tropicale sèche. Manuel à l'usage des ingénieurs et Techniciens du reboisement. ISRA-CIRAD. Dakar: Pp, 435.
- **Sands M.J.S, (1983).** Notes on Balanites from Somali Republic and Ethiopia. *Kew Bulletin:* Pp, 40.
- **Sawaya W.N, Khalil J.K, Khatcha-Dourian H.A, Safi W, Mashadi A.S, (1983).** Sugars, Tannins and Some Vitamins Contents of Twenty Five Date Cultivars Grown in Saudi Arabia at the Khalal (Nature Color) and Tamer (Ripe) Stages. The First Symposium on the Date Palm, King Fayçal University Al Hassan, Kingdom of Saudi Arabia: Pp, 468 – 478.
- **Shanks E, Shanks Ph, (1993).** *Balanites aegyptiaca* : un manuel pour les agents de vulgarisation. *Fac.Sci.Agri. etFor.Univ.Pays de Galles.* Bangor : Pp37.
- **Shanks E, Shanks Ph , (1991).** *Balanites aegyptiaca* handbook for extension workers. *Sch. Agri. for. Sci. Univ. Wales.* Bangor: Pp, 35.
- **Sims R , Taylor M, Saddler , Mabee W, (2008).** From 1st-to 2nd-generation biofuel technologies: An overview of current industry and RD&D activities, *International Energy*
- **Sindhu R, Binod P et Pandey A, (2016).** Biological pretreatment of lignocellulosic biomass: An overview. *Bioresour. Technol.* Vol. 199: Pp, 76-82.
- **Tayeau F, Faure F, Séchet-Sirat J (1955).** Etude sur le Soumpe (*Balanites aegyptiaca*). Valeur alimentaire de ses protéines. In: *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, vol. 2 (1-2) : Pp, 40-49.
- **Touzi A, (1997).** Valorisation des produits et sous-produits de la datte par les procédés Biotechnologiques. Rapport de synthèse de l'atelier —Technologie et qualité de la dattel, CIHEAM - Options Méditerranéennes : Pp, 214.

- **Vandenbossche V,(1998)**. Fractionnement des tiges et capitules de tournesol : hydro distillation d'une huile essentielle odorante, extraction et modification chimique de pectines et mise en forme d'agromatériaux biodégradables. Thèse de Doctorat, INP, Toulouse.
- **Von Maydell H.J, (1983)**. Arbres et arbustes du sol : leurs caractérisation et leurs utilisations. GTZ. Eschborn: Pp,531.
- **Von Maydell H. J, (1990)**. Trees and shrubs of the Sahel: their characteristics and uses.GTZ. Eschborn. Pp 179 -182.
- **Waucer Hall, (1991)**. African Crop Science Society. Vol. 21 (13): Pp. 723-734.
- **Wyman C. E, (2001)**. Twenty years of trials, tribulations, and research progress in bioethanol technology: selected key events along the way. Appl. Biochem. Biotechnol. Vol 91 : Pp, 5-21.

Site Internet

- www.didier-pol.net.
- <http://www.societechimiquedefrance.fr/ethanol> (2017).
- <https://www.acs.org/content/acs/en/molecule-of-the-week> (2018).

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la diversification des sources des énergies renouvelables comme une biomasse. Dans cette recherche, nous nous sommes focalisées sur la valorisation des fruits de dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*), cette matière non valorisée en l'Algérie jusqu'à ce jour, pour cela nous avons choisi cette matière comme substrat de fermentation anaérobie pour la production de Bioéthanol, produit à haute valeur ajoutée. Où on a étudié les propriétés physico-chimiques et biochimiques de cette matière, qui lui permettent d'être une matière valorisable pour la production de bioéthanol, ainsi que les techniques adoptées pour atteindre les meilleurs résultats en termes de qualité du bioéthanol. Les résultats des analyses morphologiques des fruits du dattier de désert montrent que la pulpe représentant 56.48 % du fruit, pourcentage très intéressant pour réaliser ce travail. Elle présente la partie utilisable dans le processus de fermentation pour produire de l'alcool. Les résultats physico-chimiques de la matière première montrent que les fruits du dattier de désert est un substrat riche en sucre 59,47% sucres totaux et 32,04% sucre réducteurs, qui sont des éléments essentiels pour la fermentation alcoolique. Les résultats ont montré que la dilution 1/4 (g/mL) est une meilleure dilution; qui donne 30% de bioéthanol, c.à.d. 125g de fruits donne 30ml de bioéthanol à concentration 90°; Les caractéristiques finales sont acceptables comparées à l'éthanol commercial.

Mots clés: Fruits de dattier du désert, *Balanites aegyptiaca*, fermentation anaérobie, sucre fermentescible, biomasse, énergies renouvelables.

Abstract

This work is part of the diversification of renewable energy sources such as biomass. In this research, we focused on the valuation of the fruits of the desert date palm (*Balanites aegyptiaca*), this material not valued in Algeria until now, for this, we have chosen this material as a substrate for anaerobic fermentation for the production of Bioethanol, a product with high added value. Where we studied the physicochemical and biochemical properties of this material, which allow it to be a recoverable material for the production of bioethanol, as well as the techniques adopted to achieve the best results in terms of bioethanol quality. The results of the morphological analyzes of the fruits of the desert date palm show that the pulp represents 56.48% of the fruit, a very interesting percentage for carrying out this work. It presents the part that can be used in the fermentation process to produce alcohol. The physicochemical results of the raw material show that the fruit of the desert date palm is a substrate rich in sugar 59.47% total sugars and 32.04% reducing sugar, which are essential elements for alcoholic fermentation. The results showed that the 1/4 dilution (g / mL) is a better dilution; which gives 30% bioethanol, 125g of fruit gives 30ml of bioethanol at 90 ° concentration; The final characteristics are acceptable compared to commercial ethanol.

Keywords: Desert date fruit, *Balanites aegyptiaca* anaerobic fermentation, fermentable sugar, biomass, renewable energies.

ملخص

هذا العمل هو جزء من تنوع مصادر الطاقة المتجددة مثل الكتلة الحيوية. في هذا البحث، ركزنا على تعزيز ثمار شجرة التمر الصحراوي (*Balanites aegyptiaca*) وهذه المادة لا تستغل في الجزائر حتى اليوم لذلك نختار هذه المادة كركيزة هوائية للتخمير لإنتاج منتج عالي القيمة المضافة (بيوإيثانول).

حيث درسنا الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيوكيميائية لهذه المادة، والتي تسمح لها بأن تكون مادة قيمة لإنتاج الإيثانول الحيوي، وكذلك التقنيات المعتمدة لتحقيق أفضل النتائج من حيث الجودة. تظهر نتائج التحليلات المورفولوجية لثمار أشجار التمور الصحراوية أن اللب الذي يمثل 56.48% من الفاكهة، وهو نتيجة مثيرة جدا للاهتمام لهذا العمل، فإنه يقدم الجزء القابل للاستخدام في عملية التخمير لإنتاج الكحول. النتائج الفيزيائية والكيميائية للمادة الخام (اللب) تبين أنها غنية بالسكريات الكلية 59.47% و 32.04% من السكريات البسيطة والتي تمثل هي العنصر الأساسي للتخمير الكحولي، توصلنا إلى أن التخفيف 4/1 (غ / مل) هو التخفيف الأفضل؛ الذي يعطي 30%، يعني كل 125 غ من الفاكهة تنتج لنا 30 مل من الإيثانول الحيوي بتركيز 90 درجة؛ الخصائص النهائية مقبولة مقارنة بالإيثانول التجاري.

الكلمات المفتاحية: ثمار شجرة التمر الصحراوي، *Balanites aegyptiaca*، التخمير اللاهوائي، السكر القابل للتخمير، الكتلة الحيوية، الطاقة المتجددة.