

Abstract:

The biomass valorization can be possible for any product with low market value, through a proper biotechnological process.

The objective of this study, is to obtain bioethanol, which is considered as a product of high added value, from the bio valorization of common dates of poor quality.

- For this area, we have established:

1) A description of transformation processes related to waste of dates in bioethanol.

- Physical-chemicals analyses have been made from the dates mash and during its alcoholic fermentation.

- Identification analyses and verification of purity have been carried out for the bio-ethanol.

- We have obtained an alcoholic degree respectively 14° and 18° for the disposal of "Deglet-Nour" and "Hamraya".

2) An incorporation at 5% of this bioethanol in the composition of the unleaded gasoline in two different bases has been examined.

In comparison, the industrial ethanol has been experimented in the same above conditions above mentioned.

Octane numbers of 90 and 90.5 has been obtained for the two bases of unleaded gasoline, after addition of bioethanol

Keywords: valorization, common dates of poor quality, alcoholic fermentation, bioethanol, biofuel.

conditions above mentioned.

ملخص

إن ترقية الكتلة الحيوية في شتى المجالات أصبح أمرا ممكننا خاصة فيما يشمل المواد أو المنتجات ضعيفة القيمة التسويقية و يعود فضل هذا التثمين إلى استعمال تقنيات و تجهيزات تكنولوجية بطريقة مكيفة و مناسبة للمتطلبات التي تحتاجها تلك المادة.

وفي هذا الإطار هدفنا من هذه الدراسة هو تصنيع كحول ايثيلي طبيعي وذلك بإيجاد طريقة لتثمين التمور ذات الجودة السيئة حيث يمثل هذا الكحول مادة خام ذات قيمة عالية لمختلف الصناعات. و لقد أنجزنا لهذا الغرض :

1. وصف كامل لتقنيات تحويل التمور ضعيفة القيمة إلى البيوايثانول,

- أنجزت تحاليل فيزيوكيماوية للعصير المستخرج من التمر و أثناء التخمر الكحولي.

- تحاليل تحديد الكحول و التحقق من مدى نفاوته تمت إقامتها.

- النتائج المحصل عليها فيما يخص الكحول التي تقدر ب 14° و 18° للحشف و حرماية علي التوالي.

2. استعمال كمية قدرها (5 %) لهذا الايثانول الطبيعي قد امتحنت في التركيبة الأساسية لبنزين بدون رصاص

ذات قاعدتان مختلفتان, و للمقارنة, الإيثانول الصناعي قد جرب في نفس الظروف المذكورة سابقا.

فيما يخص تطبيق الكحول الايثيلي تحصلنا على دليل اوكتان قدره 90 و 90.5 للبنزين بدون رصاص ذات قاعدتان مختلفتان في التركيبة.

الكلمات الرئيسية: التثمين, التمور ذات الجودة السيئة, التخمر الكحولي, البيوايثانول, الوقود الحيوي.

Résumé :

La valorisation de la biomasse est rendue possible pour tout produit à faible valeur marchande, grâce à des procédés biotechnologiques adéquats.

L'objectif recherché à travers notre étude est l'obtention du bioéthanol qui constitue un produit de haute valeur ajoutée, et cela à partir de la bio valorisation de dattes de mauvaise qualité dite « communes ».

- Pour cette filière, nous avons établi :
 - 1) Une description des procédés de transformation de dattes communes en bioéthanol. A cet effet :
 - Des analyse physico-chimiques ont été effectuées à partir du mout de dattes ainsi qu'au cours de sa fermentation alcoolique.
 - Des analyses d'identification et de vérification de pureté ont été entreprises pour le bioéthanol.
 - Nous avons obtenu un degré alcoolique respectivement de 14°et 18° pour les rebuts de « Deglet-Nour » et « Hamraya ».
 - 2) Une incorporation à hauteur de 5%, de ce bioéthanol dans la composition de l'essence sans plomb à deux bases différentes, à été examinée.

A titre comparatif, l'éthanol industriel à été expérimenté dans les mêmes conditions sus-évoquées.

En ce qui concerne l'application du bioéthanol, un indice d'octane de 90 et 90,5 à été obtenu pour les deux bases de l'essence sans plomb.

Mots clés : valorisation, dattes communes, fermentation alcoolique, bioéthanol, biocarburant.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre d'une politique de gestion des ressources naturelles, visant à la sécurité d'approvisionnement énergétique et la lutte contre le réchauffement climatique, un développement de filières d'énergies renouvelables est incontestablement nécessaire.

Ainsi, l'utilisation de la biomasse comme source propre permet sa valorisation optimale tout en passant par l'exploitation de la totalité des débouchés dans une approche intégrée de type « bio raffinerie » [1]. Le bio raffinage peut être défini comme le processus durable de transformation de la biomasse en produits biobasés (alimentation, produits chimiques, matériaux) et en bioénergie (biocarburants, électricité, chaleur).

Selon la directive européenne n° 2003/30/CE du 8 mai 2003, la biomasse, faut-il l'expliquer comme étant, l'ensemble de « la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et de leurs industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ». Elle recouvre :

- La biomasse agricole
- La biomasse lignocellulosique
- Les déchets organiques
- La biomasse issue des algues marines ou aquatiques et des micro-organismes

L'une des principales formes de l'énergie de la biomasse, ce sont les biocarburants liquides, et notamment le bioéthanol qui s'inscrit comme complément aux produits pétroliers d'aujourd'hui de par sa composition oxygénée, permettant de réduire les concentrations des composants polluants et d'accroître l'indice d'octane.

C'est pourquoi, cette présente étude contribuera « à l'échelle laboratoire » à consolider et à renforcer la théorie qui valide l'optimisme et la motivation à la substitution de carbone renouvelable issu de la photosynthèse au carbone fossile.

Il s'agit en pratique, d'une élaboration et d'une caractérisation du bioéthanol à partir d'une matière végétale reconnue pour ses vertus qu'est la datte. Ce comestible fait l'objet de notre étude à des fins purement industriels, s'intéresse dans un premier temps à l'utilisation de dattes sèches non destinées à la consommation alimentaire, en vue d'une valorisation maximale de cette matière première assez prépondérante dans l'économie de notre pays . L'Algérie produit annuellement quelques 550 000 tonnes de dattes dont la moitié seulement est commercialisée, le reste servant d'aliment pour le bétail en raison de leur mauvaise qualité. Il est enregistré un excès de production annuelle de 100 000 à 150 000 tonnes [2].

L'objectif recherché, consiste en la formulation de l'alcool éthylique issu de la fermentation des sucres de rebuts de la Deglet-Nour ainsi que de dattes de faible valeur marchande (Hamraya) qui peut être avantageusement introduit dans les super carburants. Un bioéthanol non polluant à partir de surplus de dattes produites en Algérie, permet en ce sens de valoriser ce substrat comme moyen de substitution à la mélasse.

Ce travail s'articule autour de trois parties :

La première partie est une approche bibliographique qui permet de cerner les connaissances de bases et de les replacer dans le contexte de l'étude. A cet effet, cette partie se subdivise en deux chapitres :

- En premier lieu, on essaiera de faire la synthèse des connaissances sur les supercarburants ainsi que sur les bioéthanol déjà établis.
- La deuxième sous partie sera réservée à la présentation de notre matière première.

Seront présentés dans la deuxième partie de notre étude les principaux matériaux et méthodes utilisés pour concrétiser l'expérimentation envisagée dans l'élaboration du bioéthanol et son application comme additif au super carburant sans plomb.

La troisième partie, traitera les résultats obtenus ainsi que les interprétations qu'ils peuvent susciter.

Enfin, en conclusion générale une synthèse des résultats acquis, sera proposée, et les perspectives dégagées serviront à la poursuite de ce travail de recherche.

Chapitre I : Carburants liquides et Bioéthanol

I.1. Carburants liquides :

I.1.1 Généralité sur les essences :

De nombreuses transformations du pétrole brut nous amènent à la préparation de produits pétroliers, d'où la notion de raffinage du pétrole. Ce dernier est chauffé pour séparer les différentes coupes en fonction de la température d'ébullition, qui débouchera sur l'obtention de différents produits.

En effet, l'essence est l'un de ces produits pétroliers qui est constitué par le mélange en proportions étudiées de différentes bases issues de la distillation atmosphérique du pétrole brut et des procédés de transformations ainsi que d'additifs incorporés pour ajuster ses caractéristiques selon les normes en vigueur (pool essence) [3].

Les essences ont deux utilisations principales à savoir, comme carburant pour moteurs à explosion et comme solvant.

Pour qu'une essence soit de qualité, elle doit répondre à deux critères différents :

- Le critère énergétique d'une part : une essence doit lors de sa combustion fournir une énergie suffisante au fonctionnement du moteur du véhicule.
- Le critère écologique d'autre part : pour qu'une essence soit autorisée à la production et à la consommation, il faut que ses gaz d'échappement soient les moins polluants possibles [4].

I.1.2 Types d'essences disponibles:

Il existe plusieurs formes d'essence qu'on peut différencier de par leurs teneur en plomb comme pour l'essence ordinaire et le supercarburant [4].

Initialement l'essence ordinaire de couleur jaune très pâle, transparente, fortement odorante, facilement inflammable et très volatile, a été progressivement été supplantée par le supercarburant dans l'utilisation automobile qui se réparties en deux types :

- **Le super carburant au plomb:** le super carburant offre un pouvoir détonnant supérieur à l'essence ordinaire. Cette performance réside dans l'ajout d'alkyl de plomb à une quantité de 0,15 gramme (maximum) par litre [5]. Ce produit fût jusqu'en 1995, le type d'essence le plus diffusé. Cependant, l'apparition des pots catalytiques a signé son arrêt de mort : les catalyseurs sont inhibés par le plomb. Depuis, le super a été remplacé par les carburants sans plomb.
- **Le super carburant sans plomb :** qui est un mélange d'hydrocarbures et de composés oxygénés organiques (éthanol, éthers substitués...) plus ou moins solubles dans l'eau auxquels sont ajoutés des additifs. Il existe deux types de supercarburant sans plomb « l'essences à 95 et 98 d'indice d'octane ».

I.1.3 Caractéristiques physico-chimiques et thermiques des essences automobiles :

L'obtention d'un fonctionnement satisfaisant d'un moteur d'un véhicule avec une faible émission d'hydrocarbures par évaporation, nécessite le contrôle d'un certain nombre de caractéristiques essentielles de l'essence automobile. Parmi celles-ci, on peut citer la masse volumique, la tension de vapeur et le paramètre le plus important est l'indice d'octane [5].

- **La densité :**

La densité du carburant est fonction de l'origine du carburant et des modalités de sa production [6]. Elle est le rapport du poids d'un certain volume d'échantillon à une température « T » au poids du même volume d'eau à une température standard.

Si la connaissance de la densité est très utile pour effectuer des bilans massiques et pour calculer les puissances de pompe, par contre cette caractéristique ne permet pas de définir à elle seule un produit pétrolier ; néanmoins, c'est un critère très simple pour suivre la marche des unités [7].

Les densités sont très variables suivant la nature des hydrocarbures (paraffiniques, naphthéniques, aromatiques).

- **Tension de vapeur :**

La tension de vapeur d'un mélange complexe à une température donnée, est la pression par laquelle s'établit l'équilibre liquide vapeur. Un liquide est d'autant plus volatil

que sa tension de vapeur est forte. Le critère retenu jusqu'à présent n'est pas la pression de vapeur vraie, mais une grandeur associée appelée pression de vapeur reid (TVR).

La procédure consiste à mesurer la pression relative développée par les vapeurs issues d'un échantillon d'essence, disposées dans une enceinte métallique, à une température de 37,8 °C.

Cette caractéristique a une grande importance en ce qui concerne le comportement du carburant dans le moteur. En fait, elle mesure l'aptitude plus au moins prononcée d'un carburant à émettre des vapeurs. La tension de vapeur du carburant a une influence notable sur le fonctionnement des moteurs. Elle est limitée par des normes, et en générale comprise entre 350 et 1100 mbar [6].

- **L'indice d'octane :**

Pour caractériser le comportement des carburants ou de leurs constituants vis-à-vis de la résistance à l'auto-inflammation on fait appel à la notion d'indice d'octane, défini comme étant la mesure du pouvoir anti-détonant de l'essence [8].

Ainsi, le carburant testé est comparé à deux hydrocarbures purs, choisis comme références. Il s'agit respectivement du 2,2,4-triméthylpentane, ou isooctane très résistant à l'auto-inflammation, auquel on attribue arbitrairement l'indice 100 et du n-heptane peu résistant, qui reçoit l'indice 0.

On dit qu'un carburant a pour indice d'octane X s'il se comporte, dans des conditions expérimentales bien définies, comme un mélange de X % en volume d'isooctane et de (100 - X) % de n-heptane. La mesure des indices d'octane s'effectue au moyen d'un moteur de laboratoire appelé CFR (Cooperative Fuel Research) monocylindre fonctionnant à pleine admission et à faible régime de rotation.

A la définition de l'indice d'octane, il faut ajouter, suivant les conditions de fonctionnement du moteur CFR, deux procédures de détermination de l'indice d'octane :

- La méthode « recherche » (RON) (Research octane number),
- La méthode « moteur » (MON) (Motor octane number).

Ainsi, lors de la détermination du RON, le moteur CFR fonctionne à 600 tr/min, avec et sans réchauffage du mélange carburé. Le MON correspond quant à lui, à un régime de rotation de 900 tr/min, avec un taux de compression et une température du mélange carburé à 149°C. La plupart des essences classiques se rangent dans un domaine de RON compris entre 90 et 100, tandis que le MON se situe le plus souvent entre 80 et 90 [8].

I.1.4 La formulation des essences :

La formulation d'essences est l'ensemble des opérations qui consiste à mélanger différentes bases de raffinerie pour obtenir, en quantités suffisantes, un produit final conforme aux normes de qualité et répondant aux spécifications de la protection de l'environnement.

En effet, cinq procédés sont spécialement utilisés pour obtenir la qualité voulue, qui sont l'alkylation, l'isomérisation, le reformage, le craquage catalytique et l'éthérisation. Chaque procédé donnera naissance à une base, pour obtenir de l'essence sans plomb on associe par exemple du butane, de l'alkylat, de l'isomérisat, du reformat et un produit issue de l'éthérisation. Une essence est constitué généralement de coupes légères principalement (C₄ – C₁₂), ainsi que des composés oxygénés (des éthers ou des alcools) représentent aujourd'hui une proportion très significative des essences et permettant d'améliorer certaines caractéristiques comme l'augmentation de l'indice d'octane et la réduction de certaines émissions d'échappement, elles peuvent être aussi améliorées par différents types d'additifs (Annexe 1).

Le tableau suivant montre un exemple de composition d'une essence type super carburant sans plomb.

Tableau I.1 : Exemple d'analyse simplifiée d'une essence commerciale classique par chromatographie en phase gazeuse [5].

Répartition des constituants par nombre d'atomes de carbone et par familles chimiques							
Nombre d'atomes de carbone	Teneurs massiques (%)						Total
	nParaffines	isoparaffines	Naphtènes	Aromatiques	Oléfines	Produits oxygénés	
4	5,14	0,30	/	/	1,49	/	5,93
5	1,26	7,84	/	/	10,11	0,50	19,71
6	0,64	6,34	1,19	1,23	5,07	3,00	17,47
7	0,65	3,22	1,05	8,11	1,56	/	14,59
8	0,48	11,47	0,43	13,61	0,34	/	26,33
9	0,11	1,12	0,16	9,49	0,07	/	10,95
10	0,01	0,09	0,09	2,80	0,02	/	3,01
11	/	0,10	/	0,25	/	/	0,35
12	/	0,61	/	/	/	/	0,61
13	/	0,01	/	/	/	/	0,01
Total	8,29	31,10	2,92	35,49	18,66	3,50	99,96(1)

(1) Constituants non identifiés : 0,04 % (masse)

I.2. Généralités sur le bioéthanol :

I.2.1. Introduction :

L'utilisation du mélange d'essence à base d'éthanol (Annexe 2) a débuté vers la fin des années 1970, avec l'avènement du carburant de nouvelle génération, le bioéthanol a été mis en lumière grâce à ses propriétés physiques et chimiques avantageuses.

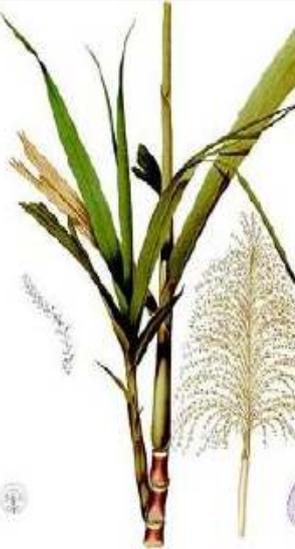
L'éthanol peut être utilisé mélangé à de l'essence standard à hauteur de 5 à 10% sans avoir à changer le moteur, ou bien encore sous sa forme d'éther (ETBE), produit par réaction avec de l'isobutène issu des raffineries (49% de bioéthanol et 51% d'iso-butylène.) qu'on peut incorporer dans l'essence à une teneur de 15 % [9].

L'usage de l'éthanol pur ou à très forte concentration (par exemple 85 % ou E85) reste le carburant le plus écologique de la filière des bioéthanol qui existe aujourd'hui, cependant, il nécessite une adaptation spécifique du véhicule.

I.2.2. Le bioéthanol issue de la biomasse agricole :

Ce type de bioéthanol est obtenu par fermentation alcoolique des sucres fermentescibles (glucose, saccharose, etc.), soit initialement présent dans la plante, soit provenant d'une hydrolyse de l'amidon par voie sèche ou/et humide [10]. Les deux principales plantes exploitées pour leurs sucres fermentescibles sont la canne à sucre et la betterave sucrière (plantes sucrières) quant au deuxième type de plantes, ce sont pour leurs grains contenant de l'amidon (plantes amylacées) comme le maïs et le blé.

Il existe donc plusieurs sortes de matières premières alcooligènes, où le rendement de l'éthanol diffère d'une plante à une autre (figure I.1).

	Phylum	Plantae		Phylum	plantae
	Sous-règne	Tracheobionta		Sous-règne	Tracheobionta
	Division	Magnoliophyta		Division	Magnoliophyta
	Classe	Liliopsida		Classe	Liliopsida
	Sous-classe	Commelinidae		Sous-classe	Commelinidae
	Ordre	Cyperales		Ordre	Cyperales
	Famille	Poaceae		Famille	Poaceae
	Genre	Saccharum		Genre	Zea
	Espèce	Saccharum officinarum L., 1753		Espèce	mZea mays (L.) Iltis, 1980
	Phylum	Plantea		Règne	Planttae
	Sous-règne	Tracheobionta		Sous-règne	Tracheobionta
	Division	Magnnoliophyta		Division	Magnoliophyta
	Classe	Magnoliopsida		Classe	Liliopsida
	Sous-classe	Caryophyllidae		Sous-classe	Commmelinidae
	Ordre	Caryoophyllales		Ordre	Cyperales
	Famille	Chenopodiaceae		Famille	Poaceae
	Genre	Beta		Genre	Sorghum
	Espèce	Beta vulgaris L., 1753		Espèce	Sorghum bicolor (L.) Moench, 1794
	Règne	Plantaae	<p>Figure I.1 : Classification des différentes plantes généralement utilisées pour la synthèse de bioéthanol de première génération.</p>		
	Sous-règne	Trachheobionta			
	Division	Magnnoliophyta			
	Classe	Lilioppsidea			
	Sous-classe	Commmelinidae			
	Ordre	Cyperrales			
	Famille	Poaceae			
	Genre	Triticium			
	Espèce	Triticium sp. L., 1753			

Le procédé de fabrication passe par les étapes suivantes :

1.2.2.1. L'extraction du sucre (ex : la betterave) :

- Une fois nettoyées, les betteraves sont coupées en lamelles ou cossettes qui sont ensuite envoyées par tapis roulant jusque dans un réservoir d'eau bouillante, appelé diffuseur.
- A l'intérieur du diffuseur, le sucre est retiré des cossettes par dissolution dans de l'eau chaude. Lorsque les cossettes (presque entièrement débarrassées de leur sucre) atteignent l'extrémité du diffuseur, elles ne sont plus qu'une simple pulpe de betterave qui est alors envoyée vers un sécheur. La solution sucrée (ou jus vert) produite lors de la diffusion contient environ 84% d'eau, 14% de sucre, et 1,5% de produits autres.
- A la sortie du diffuseur, le jus vert possède une température d'environ 70°C, et doit être refroidi avant l'étape de fermentation. Le pH est également abaissé à 4,5 à l'aide d'acide sulfurique concentré [11].

1.2.2.2. L'hydrolyse enzymatique de l'amidon (exemple blé, maïs) :

Les plantes « amylicées » tels que le blé, le maïs et la patate douce, contiennent de l'amidon sous forme d'amylose et d'amylopectine. La structure de base de l'amylose est le maltose, alors que la structure de base de l'amylopectine est le D-glucose.

Les dextrans sont des mélanges de gluco-oligosides linéaires dont les unités de glucose sont liées par des liaisons osidiques du type α -1,4 mais dont le groupement est lié par une liaison osidique α -1,6.

La solution d'amidon, obtenue à partir des plantes pressées et broyées, est cuite à 100°C, à pH 6 en présence d' α -amylase pendant 5 à 8 minutes. Elle subit ensuite une liquéfaction, en présence d' α -amylases additionnelles pendant 90 minutes, à 80-90°C. Les produits obtenus sont des dextrans, qui sont saccharifiées à 65°C à pH 4-5 par des glucoamylases pendant 8 à 10 heures [12].

1.2.2.3. La fermentation alcoolique :

Les sucres obtenus sont ensuite fermentés par un procédé de fermentation alcoolique qui conduit donc à la formation d'éthanol. Cette fermentation est réalisée par des

microorganismes, des bactéries ou des levures, généralement elles appartiennent aux genres *saccharomyces* et la réaction se caractérise par :

- Pour le saccharose :



- Pour le glucose, fructose:



Cette opération peut être complexe, si l'utilisation de levures est impropre elle peut engendrer la formation de quantités étrangères, comme la glycérine ou autres acides organiques.

I.2.2.4. La distillation :

Afin de prévenir des phénomènes de démixtion entre l'éthanol et l'essence, l'éthanol utilisé doit être anhydre, soit présenter une teneur maximale en eau de 3 000 ppm [10], l'éthanol est concentré par distillation, c'est à dire que l'alcool est séparé de l'eau par évaporation. Il est possible d'obtenir à la fin de ce processus un produit affichant une pureté de 95% environ, le reste étant constitué d'eau. Pour obtenir un éthanol d'une plus grande pureté, il est possible de le faire passer par une étape de rectification, c'est à dire que l'alcool est purifié à travers des phases successives d'évaporation et de condensation.

I.2.2.5. La déshydratation :

Cette étape conduit à l'éthanol anhydre et elle peut se faire par la méthode du tamisage moléculaire qui consiste à adsorber et désorber l'eau sur un support tel des zéolites synthétiques sphériques, ou des silicoaluminates (AlO_4 et SiO_4), à structure cristalline poreuse [10].

I.2.3. Le bioéthanol issue de la biomasse lignocellulosique :

Ce deuxième type de bioéthanol emploie des matières premières végétales à base de matériaux lignocellulosique ou lignocellulose abondantes et renouvelables. En effet, cette filière de production à un avantage considérable car elle utilise les différents constituants végétal qui ne sont pas utilisés ailleurs, et cela sans concurrence alimentaire.

Comme pour le bioéthanol issue de la biomasse agricole, on retrouve diverses ressources végétales qui peuvent être utilisées. Dans le cas de ce deuxième type de bioéthanol, il a été nécessaire de trouver de la matière végétale non exploitée jusqu'à aujourd'hui telle que les matériaux lignocellulosique, qui représentent la vaste majorité des matériaux végétaux, comprenant:

- Les résidus agricoles tels que pailles, bagasses (pulpe obtenue à partir des tiges écrasées de la canne à sucre suivant l'extraction du jus), molasses (sirop très visqueux non cristallisable issu du traitement de la canne à sucre ou de la betterave), rafles de maïs (cœur de l'épi qui porte les grains).
- Les résidus forestiers.
- Une fraction des déchets municipaux et industriels.
- Les cultures énergétiques telles que miscanthus, taillis à courte rotation (Saule et peuplier).

En fait, la lignocellulose est composée principalement:

- De la cellulose, un polymère linéaire (non branché) de D-glucose (40-60 %).
- D'hémicelluloses, des polymères branchés de sucres à 5 et 6 atomes de carbone (20-40%).
- De la lignine, un polymère complexe aromatique plus résistant à la dégradation biologique que la cellulose (10-20%) (figure I.2) [13].

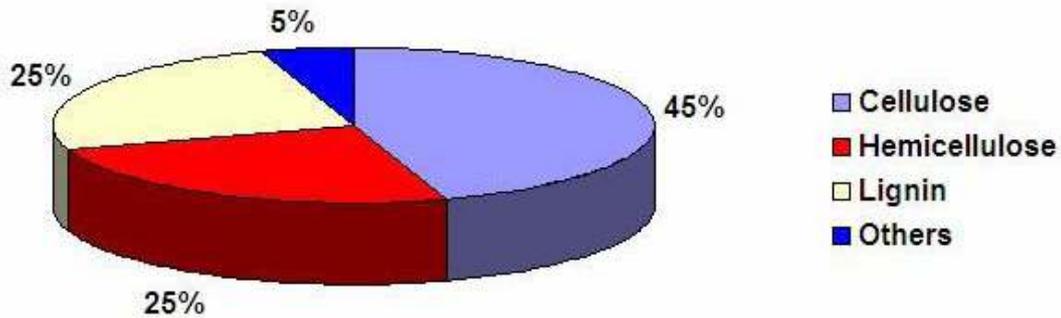


Figure 1.2 : Composition typique de la biomasse lignocellulosique [13].

La filière de production de cet éthanol cellulosique est la filière biochimique, qui a pour principe de transformer de la cellulose et des hémicelluloses en sucres à l'aide d'enzymes. Cependant, ces derniers représentent un facteur critique dans leurs commercialisations car leurs coûts sont onéreux.

Le procédé comprend typiquement les étapes suivantes:

- Un prétraitement de la biomasse (tel que l'explosion à la vapeur, traitement à l'acide) est recommandé car l'utilisation de la cellulose et l'hémicellulose est inhibée par la présence de la lignine [14].
- Dans le cas de la cellulose, l'hydrolyse enzymatique est effectuée à une température de 70 à 90°C et à pH entre 5,6 et 7,6, avec des enzymes qui auront préalablement été produites par un champignon, *Trichoderma reesei* conduisant à la formation de glucose.

En ce qui concerne les étapes de fermentations et de distillation, elles se font selon le processus déjà évoqué auparavant (I.2.2.3. et I.2.2.4.).

I.2.4. Avantages / Inconvénients de la production du bioéthanol :

Malgré toutes les études et les techniques mises en œuvre pour la fabrication d'un biocarburant propre à partir de l'éthanol, il subsiste des inconvénients à propos des processus de fabrication ou de son utilisation. Nous allons donc voir rapidement les avantages et les inconvénients pour les deux générations de bioéthanol produites jusqu'à présent.

- **Avantages :**

- Le CO₂ rejeté lors de la combustion des biocarburants « bioéthanol injecté à différentes teneurs » correspond à la quantité absorbée lors de la croissance des végétaux, il n'augmente pas donc l'effet de serre. De plus la présence d'oxygène dans les molécules des biocarburants améliore leur combustion et diminue le nombre de particules dus aux hydrocarbures imbrûlés, ainsi que le monoxyde de carbone.
- Le principal avantage technique et économique de l'éthanol est d'améliorer l'indice d'octane des essences, pouvant remplacer l'usage interdit du plomb tétraéthyle. Une quantité de 5 % en volume d'éthanol accroît l'indice d'octane recherche (IOR) d'une essence. Il faut le double d'ETBE, soit une quantité de 10 % pour obtenir environ le même résultat sur l'IOR [15].
- Les composés Organiques Volatiles (COV) réagissent beaucoup dans l'atmosphère, et sont des sources importantes d'ozone au niveau du sol. Grace à la propriété oxygénative de l'éthanol, il y'a une nette diminution, approximativement 7%, des COV émanant des mélanges essence- éthanol, un taux bas par rapport aux essences conventionnelles.
- La valorisation optimale de la biomasse, Si l'on tient compte des coproduits obtenus par les filières (paille, drèches, tourteaux, pulpes...) valorisés en alimentation animale, en engrais, en énergie ou dans l'industrie.

- **Inconvénients :**

- Le principal inconvénient dans la fabrication de bioéthanol de première génération est sans conteste la compétition qui existe avec les plantes à usages alimentaires. Néanmoins Il en ressort que les deux générations de fabrication devront aller de paire.
- Il existe encore des inconvénients au sujet de la présence et de la dégradation de la lignine. Les processus de prétraitements pour dégrader la lignine sont chers, il est donc indispensable de réduire les coûts de production pour que la fabrication du bioéthanol et son utilisation soient rentables.

Chapitre II : Présentation de la matière première « les dattes »

II.1 Introduction :

Le dattier, l'élément essentiel de « l'oasis », a toujours été, depuis les temps immémoriaux, une source très importante de l'alimentation, tant pour les humains (dattes molles) que pour les animaux (dattes sèches), dans toutes les contrées du moyen orient et du sud de la Méditerranée (figure II.1).

Groupe	Spadiciflores	
Ordre	Palmale	
Famille	Palmacées	
Sous-famille	Coryphoidées	
Tribu	Pheonicées	
Genre	Pheonix	
Espèce	Dactylifera L	

Figure II.1 : La classification du palmier dattier dans le règne végétal [16]

En effet, La palmeraie algérienne représente le pivot de l'écosystème oasien à travers une prédominance du palmier dattier, selon les statistiques du Ministère de l'agriculture. La production nationale a atteint 550 000 tonnes en 1998 dont 30 à 50 % sont constitués de déchets et de dattes de faible valeur marchande, soit environ 100.000 à 150.000 tonnes qui pourraient être valorisés [2]. Cette valorisation, grâce aux procédés biotechnologiques, permet de mettre sur le marché national une nouvelle génération de produits souvent importés. Parmi les quelques substances à forte valeur ajoutée, on peut citer l'alcool éthylique, substance énergétique stratégique et base de nombreuses industries.

C'est pourquoi, ce chapitre, va mettre en évidence, une caractérisation de rebuts de dattes en vue d'une production (par voie fermentaire) d'un bioéthanol à usage de carburants avec une description du procédé de fabrication, par le biais d'un nouvel apport de matériel végétal utilisé, en comparaison aux matériaux classiques (canne à sucre, maïs etc..) ayant pour but le développement du domaine des biocarburants.

II.2. Description de la datte :

La datte, fruit du palmier dattier, est une baie à une seule graine, a cause de sa très grande dureté. Cette graine est à tord considérée comme un noyau (noyau de la datte). Elle est généralement allongée, ou ovoïde mais on rencontre également des dattes sphériques [17] :

- Leur longueur : très variable, de 1 à 8 cm.
- Leur couleur : du jaune claire au brun plus ou moins foncé en passant par toutes les teintes du jaune, jaune ambré, orange, rouge vif, rouge brun mais également vert, violet, noir.
- Leur poids : quelque gramme à plus de 50 g.
- Leur consistance : molle, demi-molle et sèche.

La maturation de la datte passe par les étapes suivantes :

- **Stade I (Hababouk)** : Il commence juste après la fécondation et dure environ cinq semaine. Il se caractérise par une lente croissance.
- **Stade II (kimiri)** : Il se caractérise par une couleur verte, un grossissement rapide du fruit, une augmentation de la concentration en tanins et en amidon, accompagnée d'une légère augmentation de la matière sèche. Ce stade dure neuf à quatorze semaines.
- **Stade III (khalal)** : au cours de ce stade, la couleur du fruit passe du vert au jaune clair, puis vire au jaune au rose ou rouge selon les variétés. Elle dure trois à cinq semaines.
- **Stade IV (Routab)** : la couleur jaune ou rouge du stade khalal passe au foncée ou au noir.
- **Stade V (Tamr)** : C'est le stade final de la maturation de la datte. Le fruit perd beaucoup d'eau, ce qui donne un rapport sucre/ eau, élevé [18].

II.3. Composition de la datte :

Les fruits des dattes contiennent la plupart des composés principaux tels que les glucides, les protéines, les vitamines et les sels minéraux...etc.

Le sucre et l'eau sont les constituants prédominants de la chair. C'est leurs proportions qui déterminent la consistance de la chair [19]

II.3.1. L'humidité :

La teneur en eau se classe quantitativement en seconde position après les sucres. Généralement, le taux d'humidité est en fonction des variétés, du stade de maturation et du climat. Il varie entre 8 et 30% du poids de la chair fraîche avec une moyenne d'environ 19% [20]

II.3.2. Teneur en sucre :

Les dattes constituent une source de prédilection du sucre avec une teneur de 60 à 80%. L'analyse des sucres de la datte a révélé essentiellement la présence de trois types de sucres : le saccharose, le glucose et le fructose [21]. Ceci n'exclut pas la présence d'autres sucres en faibles proportions tels que : la galactose, le xylose [22].

Tableau II. 1 : Moyenne teneur en sucre, de quelque variété de dattes algérienne en % de matière sèche [21]

Consistances	Sucre totaux	saccharose	Sucre réducteurs
Molles	84 – 87 %	2.45 – 5 %	78 – 82 %
Demi-molles	78 – 94 %	0.8 – 5 %	73.4 – 94%
Sèches	75 – 82 %	50 – 52 %	20 – 25%

Concernant les monosaccharides, la datte est constituée principalement de glucose et de fructose, et ils sont dits réducteurs. Cette appellation repose sur le comportement des sucres dissous dans l'eau, mélangés à certaines substances comme la liqueur de Fehling.

Ces sucres réducteurs représentent les principaux substrats intervenant dans les réactions du brunissement non enzymatique notamment la réaction de Maillard grâce à leur fonction carbonyle libre.

Le saccharose est un disaccharide, son hydrolyse donne naissance au glucose et au fructose. Il est non réducteur. Il y a lieu de noter que le saccharose confère une saveur sucrée dont on tire référence, car la saveur sucrée du glucose est de l'ordre de 0,5 à 0,6 comparée à celle du fructose dont l'ordre est de 1,0 à 1,5. Ces valeurs tiennent compte du pouvoir sucrant de référence du saccharose et qui équivaut à 1 [19].

II.3.3. Les protéines et les aminoacides :

La datte n'est pas considérée comme une source importante de protéine dont la teneur varie de 1,5 à 2% (MF). La chaine et le noyau du fruit contiennent 4 aminoacides dont le pourcentage est très élevé. Ces aminoacides sont : le glutamique, l'aspartique, la glycine et la sérine [23].

II.3.4. Les lipides :

Les fruits des dattes renferment une faible quantité de lipides. La chair contient entre 0,43 et 1,9 % du poids frais. La plupart de ces lipides se trouvent au niveau de la chair comme cuticule sur la surface [24].

II.3.6. Les polyphénols :

Les composés phénoliques des dattes sont responsables du goût astringent du fruit qui regroupe principalement les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tannins [25].

II.3.5. Les acides organiques :

Le plus souvent, le jus de fruits des dattes donne un goût acide très faible parce qu'il contient plusieurs acides organiques. Mais malgré cette faiblesse, sa composition influe la saveur et la bonne qualité. Les variétés les plus bonnes sont celles qui ont un pH mineur car le pH des dattes varie selon les variétés.

II.3.7. Les vitamines :

La pulpe de dattes contient des vitamines en quantité variables avec les types de dattes et leur provenance. En générale, elle contient des caroténoïdes et des vitamines du groupe B en quantités appréciables, mais peu de vitamines C [19].

II.3.8. Les fibres :

Ces fibres se présentent sous forme de la pectine, la cellulose, l'hemicellulose et la lignine. Le pourcentage des fibres dans les dattes se différencie selon les variétés et leurs circonstances écologiques, les proportions les plus élevées sont enregistrées dans le cas des dattes communes qui sont particulièrement fibreuses [19].

II.3.9. Les minéraux :

La caractéristique la plus remarquable des dattes réside dans la présence de minéraux et d'oligoéléments particulièrement abondants dépassant nettement les autres fruits secs. Les cendres représentent approximativement 2% du poids à l'état frais des dattes mûres. Elles contiennent du potassium, du chlore, du phosphore, du silicium, du soufre, du fer et d'autres éléments [26].

II.4. Caractéristiques du rebut de datte :

Le peu de travaux réalisés sur l'étude de la valeur industrielle des sous produits du palmier dattier ont été fait sur les rebuts de dattes, et les résultats obtenus par ces auteurs sont très variables. Ceci est lié à la diversité des variétés de dattiers d'origine Algérienne utilisées et aux conditions expérimentales de ces travaux.

II.4.1 Définition des rebuts de dattes :

Les rebuts de dattes ou écarts de tri de dattes représentent les fruits du palmier dattier non consommables par l'être humain et qui sont destinés, traditionnellement à l'alimentation du bétail. Ils sont composés par une grande gamme de catégories, représentés principalement par :

- *H'chef'*: dattes déshydratées.
- *Sich* : dattes non fécondées.

Ces deux catégories de rebuts de dattes représentent la gamme la plus importante du point de vue tonnage, et qui sont liées directement au manque d'eau d'irrigation pour le *H'chef* et à la mauvaise qualité ou l'indisponibilité du «*Dokkar*» (pollen) pour le *Sich*. Il ressort que les écarts de tri représentent une moyenne de 25 % de la production dattiers annuelle [27], soit une valeur de 75 000 tonnes de rebuts de dattes/ an.

II.5. Choix de la matière première

- Les déchets de dattes cristallisent jusqu'à 65 % de sucres fermentescibles contre 18% pour la betterave ou 13% pour la canne à sucre.
- Sa culture s'adapte parfaitement à nos terres semi-arides et n'empiète pas sur les terres fertiles du nord du pays, consacrées aux céréales et autres, ceci répond à l'une des plus fortes des critiques faites à l'encontre de l'industrie du bioéthanol à usage de carburant, et la démarche de produire du bioéthanol à partir des biomasses, ne soustrait pas à la population mondiale des ressources importantes de son alimentation.
- Une exploitation rentable, nécessite la mise à disposition d'un produit pouvant être obtenu en grande quantité et à un prix relativement bas ; et les dattes communes ainsi que les déchets répondent parfaitement à cette exigence.
- La valorisation des rebuts de dattes par les procédés biotechnologiques représente une solution de choix dans la mesure où elle contribue à l'élimination de la pollution que subit l'environnement.
- Il est utile de signaler que l'Algérie importe l'ensemble de ses alcools éthylique. La production d'éthanol à partir des rebuts de dattes constituera une solution intéressante à envisager sur le plan économique. L'éthanol naturel peut remplacer avantageusement celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers [28].

Chapitre III : Matériels et méthodes

Cette partie de l'étude traite de l'expérimentation de notre travail à travers le matériel utilisé ainsi que la méthodologie utilisée, en précisant les différentes techniques analytiques effectuées.

I. Matériels :

I.1. Matériel végétal :

Les variétés de dattes retenues dans cette étude sont très répandues dans la palmeraie de la région du Sud-Est de l'Algérie (Biskra), il s'agit de « Hamraya » (figure III.1) et de « Rebut de Deglet –Nour » du genre *Phoenix dactylifera L.* (figure III.2). Ces dattes communes ont été livrées durant le mois d'Avril 2011 et sont destinées à l'alimentation du bétail. Ce choix a été orienté par leur faible valeur marchande, leur richesse en sucre et leur disponibilité.



Figure III.1 : La variété Hamraya



Figure III.2 : Rebutts de Deglet-Nour

I.2 Matériel biologique :

La levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée. Elle est conservée dans un endroit frais et sec.

Il est à noter que la *Saccharomyces cerevisiae* est une souche largement utilisée pour la production de l'alcool, on peut produire cette levure après une culture de la souche pure pour l'obtention d'une levure à 99,99% de pureté. Par ailleurs, vue son existence sur le marché (de pureté 97%), on peut l'utiliser telle qu'elle sans recours à sa production (vu sa pureté très acceptable).

Cette levure peut produire des milliers de protéines (enzymes) quand elle est mise en contact avec le substrat dans les conditions favorables d'une fermentation alcoolique. Elle sécrète trois principales enzymes qui sont :

- L'isomérase, responsable de la conversion du fructose en glucose.
- L'alcool déshydrogénase, responsable de la production de l'alcool.
- Lactate déshydrogénase, responsable de la production d'acide lactique.

Sachant que notre but est la production du bioéthanol, nous avons alors favorisé l'activité de l'alcool déshydrogénase au dépend du lactate déshydrogénase en assurant les conditions optimales d'une fermentation alcoolique.

I.3 Dispositif utilisé pour la fermentation alcoolique :

Le dispositif utilisé pour le procédé de fermentation est un ballon tri-col (figure III.3), ses trois ouvertures nous permettent d'effectuer les opérations suivantes :

- Contrôler la température de fermentation
- Effectuer les prélèvements
- Vérifier le dégagement du CO₂



Figure III.3 : Dispositif de la fermentation alcoolique

II. Méthodologie de travail :

II.1. Préparation du moût de dattes :

Les graines de dattes doivent passer par un certain nombre d'étapes pour l'obtention d'un broyat de dattes qui va être hydraté d'où le mout de dattes. Ce dernier sert de matière première pour l'ensemble des analyses à effectuer.

II.1.1. Lavage des dattes :

Il consiste à débarrasser les dattes des grains de sable, de la poussière et de diminuer la charge microbienne.

II.1.2. Dénoyautage :

Le noyau bien qu'il soit riche en protéines et en glucides, ne peut pas contribuer à l'enrichissement de notre milieu, car il est dur et n'est pas facilement attaqué par les enzymes microbiennes. En plus, il provoque des problèmes mécaniques au cours du broyage. Pour cela le dénoyautage est une opération indispensable, et s'effectue à la main.

II.1.3. Egouttage et séchage :

Ces opérations ont l'avantage d'éliminer l'eau supplémentaire du lavage pour ne pas modifier la consistance de la datte. Le séchage se fait à l'air libre.

II.1.4. Broyage et hydratation :

Le broyage a pour but de maximiser l'extraction des sucres et de rendre le milieu plus homogène. Il a été effectué par agitateur électrique qui va assurer l'homogénéisation du milieu.

Les dattes -ainsi traitées- sont ensuite diluées en ajoutant 4 litres d'eau distillée à un kilogramme de pulpes et le tout porté au bain-marie à 80°C pendant 3 heures, sous agitation continue. Le milieu chaud assure une meilleure extraction des sucres, une pasteurisation du milieu et aussi une bonne macération de la pulpe.

II.1.5. Filtration et stérilisation :

Une fois le jus refroidi, ce dernier est filtré à travers un papier filtre en activant l'aspiration sous vide, et cela pour maximiser son extraction.

Vu la faible teneur du moût en éléments nutritifs, et pour favoriser la prolifération des levures, nous avons ajouté :

- Sulfate de magnésium : 0,2 g/l
- Phosphate diamonique : 2,4 g/l
- Sulfate d'ammonium : 2,6 g/l

- Urée : 2,4 g/l

Puis le pH est ajusté à 4,5 à l'aide d'un jus de citron et en fin une stérilisation à 120°C pendant 20 minutes à l'autoclave [29].

II.2. Mise en œuvre de la fermentation alcoolique :

La fermentation alcoolique du moût de dattes a été réalisée par la levure de bière *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l) [30]. Cette étape est conduite dans un ballon tri-col de 1 litre rempli au 3/4 de sa capacité, ce dernier est plongé dans un bain-marie où la température est maintenue à 30 ± 2 °C (figure III.3). La fermentation se passe en anaérobiose pendant 72 heures réalisée avec une agitation à l'aide d'un barreau magnétique de 2,5 cm, se caractérisant par un dégagement du CO₂.

Pour suivre l'évolution de la fermentation, on procède chaque 24 heures à des prélèvements pour effectuer les analyses physico-chimiques et détecter l'odeur de l'alcool dans le moût. Après 72 heures, la fermentation est arrêtée.

Pour chaque variété de dattes, l'opération de fermentation est répétée trois fois dans le but d'obtenir une valeur moyenne représentative des différentes analyses.

Au cours de la fermentation, nous avons suivi:

- L'acidité du moût à l'aide d'un pH mètre;
- Le taux de glucose;
- Le degré alcoolique.

II.3. Analyses effectuées :

II.3.1. Détermination de la teneur en eau :

- **Principe :**

La teneur en eau a été déterminée par dessiccation de 1g de broyat de dattes dans une capsule de porcelaine puis séchée dans une étuve à une température de 103 ± 2 °C [31].

- **Mode opératoire :**

- on procède d'abord par un séchage des capsules dans l'étuve à 130 ± 2 °C pendant 15 à 20 minutes.

- On laisse les capsules se refroidir dans un dessiccateur pendant 15 à 20mn.
- On Pèse les capsules vide (m_0) puis les repesées avec la prise d'essai de 1g de broyat de dattes (m_1).
- On introduit les capsules avec la prise d'essai dans l'étuve pendant 3 heures.
- On retire les capsules de l'étuve et les placer dans un dessiccateur pendant 15 à 20 min; après leur refroidissement, les capsules sont pesées (m_2). (la valeur moyenne de 3 essais pour chaque variété).

- **Expression des résultats :**

La teneur en eau est exprimé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{(m_1 - m_0)}{(m_2 - m_0)} \times 100$$

Soit :

H% : Humidité.

m_0 : Masse de la capsule vide.

m_1 : Masse de la capsule + matière fraîche avant étuvage.

m_2 : Masse de l'ensemble après étuvage.

II.3.2. Détermination du pH :

- **Principe :**

La mesure de pH se fait par lecture directe au pH-mètre préalablement étalonné. La détermination du pH est essentielle pour le contrôle du moût, avant et au cours de la fermentation. Sa variation nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure au cours de la transformation des sucres en alcool.

- **Mode opératoire :**

- On prend un certain volume du moût de dattes dans un bécher.

- On plonge l'électrode dans la solution en prenant soin qu'elle soit complètement immergée dedans.
- L'opération s'effectue trois fois pour chaque variété.

- **Expression des résultats :**

Le pH est mesuré par une lecture directe de la valeur indiquée sur le pH-mètre.

II.3.3. Détermination de l'acidité titrable :

- **Principe :**

Le principe consiste à effectuer un titrage de l'acidité d'une solution aqueuse avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de la phénolphthaléine comme indicateur [32].

- **Mode opératoire :**

- On pèse 25g d'échantillon de broyat de dattes.
- On les place dans un erlenmeyer avec 50ml d'eau distillée, on remet le tout dans un bain marie et on chauffe sur une plaque chauffante pendant 30 mn.
- On refroidit puis on filtre.
- On prélève à la pipette 25 ml du filtrat en le mettant dans un bécher.
- On ajoute quelques gouttes de phénolphthaléine tout en agitant.
- On procède au titrage avec la solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

- **Expression des résultats :**

L'acidité titrable est exprimée en gramme d'acide citrique pour 100g de produit :

$$A \% = (250 \times V1 \times 100 / V0 \times M \times 10) \times 0,07$$

Soit :

M : masse, en gramme du produit prélevé.

V0 : Volume en millilitres de la prise d'essai.

V1 : Volume de la solution d'hydroxyde de sodium

0,07 : Facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique.

II.3.4. Détermination du taux de cendres :

- **Principe :**

La pulpe de dattes broyée et calcinée à 550°C dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant.

- **Mode opératoire :**

- On procède d'abord par un séchage des capsules dans le four à $550 \pm 15^\circ\text{C}$ pendant 15 à 20 minutes.
- On laisse les capsules refroidir dans un dessiccateur pendant 15 à 20mn.
- On Pèse les capsules vides (m_0) puis une nouvelle pesée est effectuée avec la prise d'essai de 2g de broyat de dattes (m_1).
- On introduit les capsules avec la prise d'essai dans le four pendant 5 heures jusqu'à l'obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre.
- On retire les capsules de l'étuve qui seront placées dans un dessiccateur pendant 15 à 20 min; après leur refroidissement, les capsules sont pesées (m_2). (la valeur moyenne de 3 essais pour chaque variété).

- **Expression des résultats :**

$$C\%MF = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \times 100$$

Soit :

m_0 : Masse de la capsule vide.

m_1 : Masse de la capsule + prise d'essai.

m_2 : Masse de la capsule+ cendres.

II.3.5. Détermination de la densité :

La densité est le rapport entre la masse d'un corps et celle d'un même volume d'eau (densité de l'eau = référence = 1). La densité a été déterminée en utilisant un pycnomètre de 10 cm^3 de capacité.

II.3.6. Dosage des sucres :

- **La défécation :**

Dans une fiole jaugée nous versons 100ml de moût et nous ajoutons 10ml de l'acétate de plomb à 10%. Ensuite, par retournement agité, et aidé d'un aspirateur sous vide, l'opération de filtration a été entamée. L'excès de plomb qui en résulte est éliminé en ajoutant environ 1g de carbonate de sodium dans le filtrat. En refiltrant, on obtient ainsi le jus (j) [33].

II.3.6.1. Dosage des sucres réducteurs initiaux :

- **Principe :**

En faisant agir un excès de liqueur sur les sucres dans des conditions bien fixées, on sépare l'oxyde cuivreux formé et on traite par une liqueur de sulfate ferrique. Le dosage se fait par la méthode de Bertrand.

- **Mode opératoire :**

On prélève 10 ml du jus (j) évoqué que nous ajustons jusqu'à 250ml avec de l'eau distillé, on obtient un jus (j₁).

Dans un erlenmeyer de 500ml, on verse :

- 20 ml de jus (j₁).
- 20 ml de liqueur A (Annexe 3)
- 20 ml de liqueur B (Annexe 3)

On place l'erlenmeyer sur une plaque chauffante et après trois minutes d'ébullition, le liquide est refroidi immédiatement sous un courant d'eau sans être agité. L'oxyde cuivreux se dépose après un refroidissement complet.

Cette liqueur filtrée avec un verre fritté, en activant l'aspiration sous vide, nécessite un lavage de l'oxyde cuivreux avec 20ml d'eau bouillante.

Le verre fritté remis sur la fiole à vide, débarrassée du filtrat résiduel à l'aide d'eau distillé, afin de pouvoir dissoudre l'oxyde cuivreux avec 30 ml de liqueur ferrique C (Annexe 3).

A l'aide d'une aspiration modérée la liqueur ferrique réduite a été collectée dans la fiole à vide.

- **Titration :**

On titre le filtrat contenant la solution ferrique réduite par la solution de permanganate de potassium KMnO_4 (0,1N).

Le virage est obtenu quand la couleur passe du vert franc au rouge rose.

- **Méthode de calcul :**

- Soit V le volume de KMnO_4 lors du titrage
- Le facteur de coloration étant de 1,065
- Le volume V_1 sera de $V_1 = 1,065 V$

Pour déduire de ce titrage la quantité de sucre de la prise d'essai, on réfère à des tables de correspondance qui lient le volume de KMnO_4 et la quantité de sucre en mg (Annexe 4).

II.3.6.2. Dosage des sucres réducteurs totaux :

La méthode utilisée est celle de CLERCET [33]. Elle consiste à prélever 50 ml de jus (j) et l'additionner de 5ml d'HCl pur à 20%. La fiole contenant le tout est portée au bain marie de telle sorte que le liquide atteigne 70°C en 12 minutes, on laisse refroidir à 40°C puis à 20°C et on agite bien le tout en ajustant à 55 mL. On prend 10 ml de jus (j) inverti et on fait le dosage des sucres comme précédemment.

II.3.6.3. Teneur en saccharose :

$$\text{Teneur en saccharose en \%} = (\text{SRT} - \text{SRI}) \times 0,95$$

– SRT : Sucres réducteurs totaux.

– SRI : Sucres réducteurs initiaux.

II.3.7. Le degré alcoolique :

Le degré alcoolique (d°) correspond au volume d'éthanol (alcool) en ml présent dans 100 ml de jus fermenté, nous avons tout d'abord effectué l'étape de la distillation puis doser l'éthanol du distillat grâce au titrage et cela après son oxydation avec une solution de dichromate de potassium concentrée dans un milieu acide [34].

Dans un erlenmeyer :

- On introduit 10 ml de dichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}, \text{K}^+$) à 0,5M.
- 5 ml d'acide sulfurique concentré (afin d'accélérer la réaction).
- 5 ml de distillat.
- On bouche l'erlenmeyer afin d'avoir une oxydation complète de l'alcool et l'agiter pendant 15 à 20 mn.
- On titre l'excès de dichromate au moyen d'une solution de sulfate de fer et d'ammonium (on agite l'erlenmeyer après chaque addition) jusqu'à la coloration vert émeraude.

• **Expression du résultat :**

$$D^\circ = 100 \times \frac{3}{2} \times M_{(\text{CH}_3\text{COOH})} \times ([\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}] \times V_{(\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2})} - [\text{Fe}^{+3}] \times V_E / 6) / \rho_{(\text{CH}_3\text{COOH})}$$

$\rho_{(\text{CH}_3\text{COOH})}$: concentration massique

II.3.8. Teneur en biomasse active en terme de matière en suspension :

La matière fraîche est séparée par centrifugation à 3500 tours/ min pendant 15 mn, le culot obtenu est lavé deux fois avec de l'eau distillé stérilisée. On centrifuge à chaque lavage, on pèse le culot pour déterminer la quantité de matières fraîche produite puis déshydraté, dans une étuve à 75°C durant 18-24 heures pour déterminer le poids de la biomasse en matière sèche [34].

II.4. La Distillation alcoolique :

A la fin de la fermentation, le vin de dattes obtenu des deux variétés est distillé à l'aide d'un montage de distillation (Annexe 5), afin d'extraire l'éthanol. La température de distillation ne doit pas dépasser 78 °C, la durée moyenne de cette étape était de quarante minutes.

Nous avons opté pour une deuxième distillation afin d'obtenir un alcool plus pur.

II.5. La déshydratation :

La technique de déshydratation adoptée dans le cadre de notre travail est le tamis moléculaire. Ce dernier est un matériau synthétique, sous forme de sphères de 2mm de diamètre et de 3A° de porosité, ce filtre moléculaire à été introduit dans une colonne de séparation pour permettre la déshydratation qui est basée sur la propriété d'adsorption sélective de l'eau dans le tamis, tandis que l'éthanol passe à travers.

II.6. Vérification de la pureté :

L'indice de réfraction est une bonne manière de vérifier la concentration d'alcool recueilli. L'indice de réfraction est le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide divisé par la vitesse de la lumière dans le milieu [35]. Le tableau (Annexe 6) a été construit à partir des indices de réfraction à différents pourcentage d'éthanol absolu à 99,8% afin de déterminer le pourcentage d'éthanol obtenu à la suite de la distillation.

L'équation utilisée pour ramener l'indice de réfraction à 20° C est :

$$n^{20} = n^T + 0,00045 \times (T - 20)$$

- n^{20} : indice de réfraction à une température de 20°C ;
- n^T : indice de réfraction à une température T.

II.7. Méthodes d'identification :

II.7.1. Par Spectroscopie Infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) :

Le produit a été caractérisé par la spectrométrie à transformée de fourrier (IRTF). Le spectre IRTF a été enregistré dans l'intervalle de 500 à 4000 cm^{-1} , à l'aide d'un spectrophotomètre à transformé de fourrier de marque JASCO-4100 munit du logiciel « Win First ».

II.7.2. Par chromatographie en phase gazeuse :

Cette technique nous permet d'affirmer que notre échantillon ne renferme qu'un seul constituant qui est l'éthanol. La quantité injectée est de 0,02 μL .

Les conditions opératoires de l'analyse par CPG sont:

- Colonne OV17
- Type de détecteur : FID
- Débit 18 ml/mn
- Pression : 120 m pascal
- Température de la colonne : 85 °C
- Température de l'injecteur : 200°C
- Température de détecteur: 220° C

Le chromatogramme obtenu permet de déterminer l'aspect qualitatif de notre produit.

Afin d'identifier d'autres traces d'impuretés pouvant exciter dans notre échantillon, nous avons établi une programmation de la température du four allant de 85°C jusqu'à 200°C, avec une pente égale à 8°C / mn.

Le chromatogramme obtenu permet de détecter d'autres composants susceptible d'être présents possédant une température d'ébullition plus élevée.

II.8. Application du bioéthanol dans la reformulation des essences super sans plomb :

Dans le but d'adapter nos carburants aux normes internationales actuelles d'une part et dans le souci de diminuer la pollution qui menace nos villes d'autre part, nous proposons une nouvelle application locale de l'éthanol, « substance énergétique stratégique et base de nombreuses industries » en la reformulation des essences super sans plomb par l'introduction de l'éthanol produit à partir de déchets de dattes, par conséquent du bioéthanol. Les principales spécifications recherchées sont: La densité à 15°C ;la pression de vapeur (TVR);L'indice d'octane recherché (NOR).

Pour cela nous avons préparé deux mélanges distincts d'essence super sans plomb à partir de bases de la raffinerie d'Alger à différentes proportions. A ces deux bases nous avons rajouté pour la première, à concentration fixée à 5%, de l'éthanol industriel à 96% et du

bioéthanol, séparément. Pour la seconde, la même expérimentation a été opérée. Ainsi, les quatre échantillons engendrés sont de deux bases différentes, ils se distinguent par la nature de l'éthanol introduit.

La comparaison des valeurs des principales spécifications recherchées obtenues à partir de l'ajout de l'éthanol et du bioéthanol constituent nos essentiels paramètres à vérifier.

La composition des essences reformulées est représentée dans les tableaux suivants :

Tableau III.1 : composition des essences reformulées avec l'éthanol ou le bioéthanol

Bases (%vol)	Essences	
	Essence 1	Essence 2
Reformat	83,3	67,8
Naphta	11,7	17,2
Isopentane	/	5
Aromatique lourd	/	5
Ethanol ou bioéthanol	5	5
Total	100	100

Chapitre IV : Résultats et discussions

Ce chapitre sera consacré aux résultats obtenus et leur interprétation.

I. Résultats et interprétation des analyses physico-chimiques du moût de dattes :

Les valeurs de la caractérisation du moût de dattes pour les deux cultivars, avant de procéder à la fermentation alcoolique sont portées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Résultats des analyses physico-chimiques du moût de dattes (Rebuts de dattes et Hamraya).

Paramètres	Hamraya	Rebuts de Deglet-Nour
pH	6,03 ± 0,01	5,9 ± 0,01
Teneur en eau (%)	25,48 ± 0,18	18,08 ± 0,20
Densité	1,05 ± 0,02	1,04 ± 0,02
Teneur en cendre (%)	1,02 ± 0,06	0,80 ± 0,08
Acidité titrable (%)	0,62 ± 0,02	0,53 ± 0,03
Teneur en sucre réducteurs % MF	21,63 ± 0,31	18,15 ± 1,48
Teneur en saccharose %MF	4,10	5,05
Teneur en sucre totaux % MF	25,60 ± 0,34	23,20 ± 0,06

Remarque : la valeur moyenne porte sur 03 essais.

Tout processus de fermentation est lié à la qualité du milieu utilisé. Par conséquent, une connaissance du moût est indispensable pour réussir le déroulement de la fermentation.

Les résultats obtenus montrent que le pH des deux variétés est entre 6,03 et 5,9, ces valeurs sont considérées comme faibles, d'où l'acidification de ce dernier par l'ajout du jus de citron s'avère nécessaire pour permettre un bon développement de la levure *Saccharomyce cerevisiae* afin d'obtenir le vin de dattes.

Le taux d'humidité de dattes étudiés est différent d'une variété à une autre, car il est élevé chez Hamraya soit 25,48% MF par rapport aux rebuts de dattes qui est de 18,09% MF ce qui indique une consistance demi molle relativement sèche. Par ailleurs la densité est environ la même pour les moûts des deux variétés.

En ce qui concerne les cendres, les résultats de l'analyse montre que le moût de dattes est assez riche en sels minéraux ; ainsi, nous avons enregistré 1,66% MF pour Hamraya et 1,10% MF pour les rebuts de Deglet-Nour. Aussi, l'ajout d'autres éléments nutritifs nous à été nécessaire, afin de couvrir tout besoin de la levure *Saccharomyce cerevisiae*.

L'acidité titrable des deux variétés est respectivement de 0,62 et 0,52 pour Hamraya et Deglet-Nour, il est à noter que d'après la littérature, l'acidité titrable varie d'une variété à une autre ainsi d'un pays à un autre, suivant les conditions agro-climatiques, type de sol, fertilisation et l'origine géographique. Il est important de savoir que l'acidité titrable et le pH des dattes étudiées varient de manière inverse, ce qui est en accord avec les résultats d'autres travaux de recherche [36].

Les sucres sont les constituants les plus importants de la datte, et sont également responsables de la douceur de l'aliment. Les différentes recherches dans ce domaine s'accordent sur le fait que les sucres des dattes sont en fonction de la variété considérée, du climat et du stade de leur maturation [37]. En outre, tout résultat dépend en partie de la méthode utilisée du traitement de dattes communes.

Pour notre cas d'étude, les résultats de la teneur en sucres obtenus sont élevés et sont de l'ordre de 25,60% et 23,20% pour les deux variétés utilisées. Par ailleurs, on remarque que ces dernières sont riches en sucre réducteurs (fructose et glucose), soit 21,63% MF pour Hamraya et 18,15% MF pour les rebuts de Deglet-Nour. Par contre, elles sont faiblement pourvus en saccharose soient 4,10% et 5,05% MF respectivement pour Hamraya et les rebuts de Deglet-Nour. Les rebuts de Deglet-Nour montrent une basse teneur en sucre. Cette teneur est liée à la datte elle-même qui n'a pas atteint sa maturation biochimique (dattes déshydratées ou non fécondées).

En résumé, l'analyse des résultats obtenus montre que le moût de dattes renferme une quantité très appréciable de sucres. Il représente un taux élevé de sucres fermentescibles (glucose et fructose) directement assimilables par la levure *Saccharomyce cerevisiae*.

Enfin, ces analyses de moût de dattes nous permettent de constater que ce dernier peut constituer un milieu de fermentation de bonne qualité.

II. Résultats de la cinétique de la fermentation alcoolique :

Les deux paramètres essentiels qui nous renseignent réellement sur l'évolution de la fermentation alcoolique sont l'assimilation des sucres et la production de l'alcool, tout en prenant en considération la variation du pouvoir hydrophile qui reste un facteur important à déterminer. Cependant, nous avons remarqué une légère différence mais pas très significative de l'effet de la variété sur l'évolution de ces paramètres.

Les figures IV.1, IV. 2 et IV.3 permettent de mieux montrer ces variations.

II.1. Suivi de l'évolution de la teneur en sucres réducteurs durant la fermentation alcoolique :

Les résultats concernant l'évolution de la teneur en sucres réducteurs pour les deux variétés sont représentés dans la figure IV.1.

Après 72 heures de fermentation des moûts, une importante dégradation du glucose est révélée. Cette transformation était surtout active après les 25 heures pour les deux variétés. Ainsi pour chaque moût les courbes d'assimilation des sucres réducteurs ont une allure décroissante comme le montre la figure IV.1.

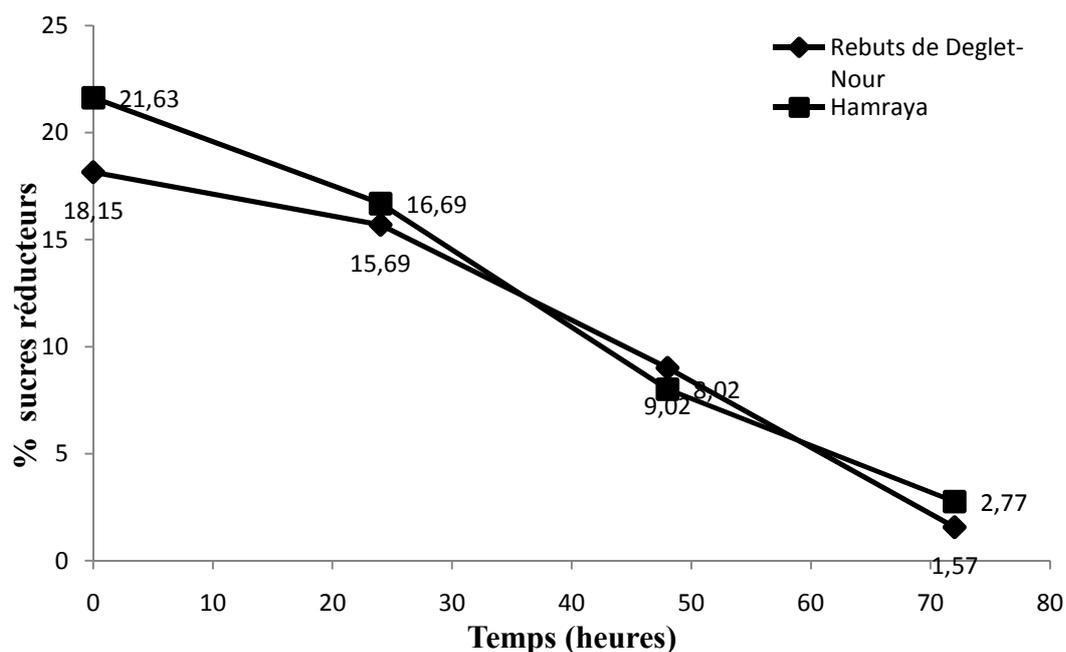


Figure IV.1 : Evolution de la teneur en sucres réducteurs durant la fermentation alcoolique

L'évolution de la variété « Hamraya » montre une courbe qui se situe au dessous de celle du Rebut de Deglet-Nour car l'intensité et la vitesse de dégradation des sucres réducteurs dans ce moût est supérieure à l'autre. A la fin de la fermentation la dégradation des sucres est presque totale pour les deux variétés qui est de 0,277 % MF et 0,157 % MF respectivement pour Hamraya et les rebuts de Deglet-Nour. Ces résultats sont assez similaires avec certains auteurs [37].

II.2. Suivi de l'évolution du pH durant la fermentation alcoolique :

La détermination du pH est essentielle pour le contrôle de l'activité biologique. Nos résultats pour les deux variétés sont représentés dans la figure suivante :

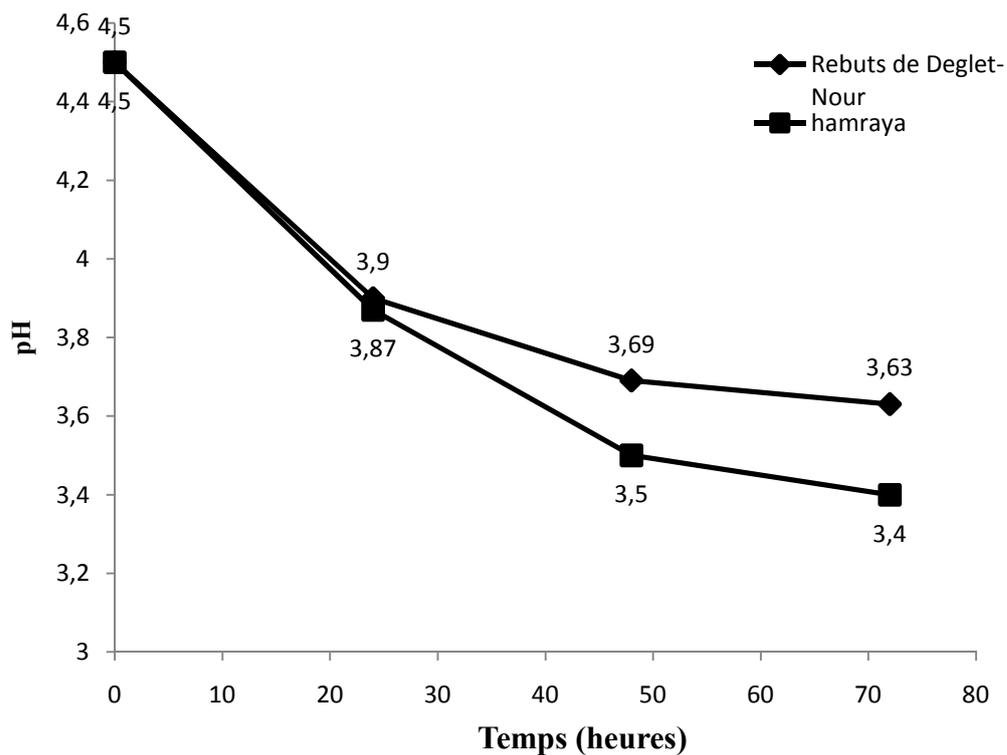


Figure IV.2 : Evolution du pH durant la fermentation alcoolique

Tel qu'illustré sur la figure ci-dessus, au cours de la fermentation, le pH tend de plus en plus vers une acidité pour les deux variétés pendant les premières 24h et qui atteint 3,9 pour Hamraya et 3,84 pour les rebuts de Deglet-Nour. Ceci est tout à fait attendu car l'activité métabolique des levures fait abaisser le pH et rend le milieu plus acide (la libération des acides organiques due à la dégradation des sucres).

Le suivi du paramètre de pH est un bon indicateur de l'évolution de la fermentation alcoolique.

II.3. Suivi de l'évolution du degré alcoolique durant la fermentation alcoolique :

Les résultats concernant l'évolution du taux d'alcool éthylique pour les deux variétés sont représentés dans la figure IV.3.

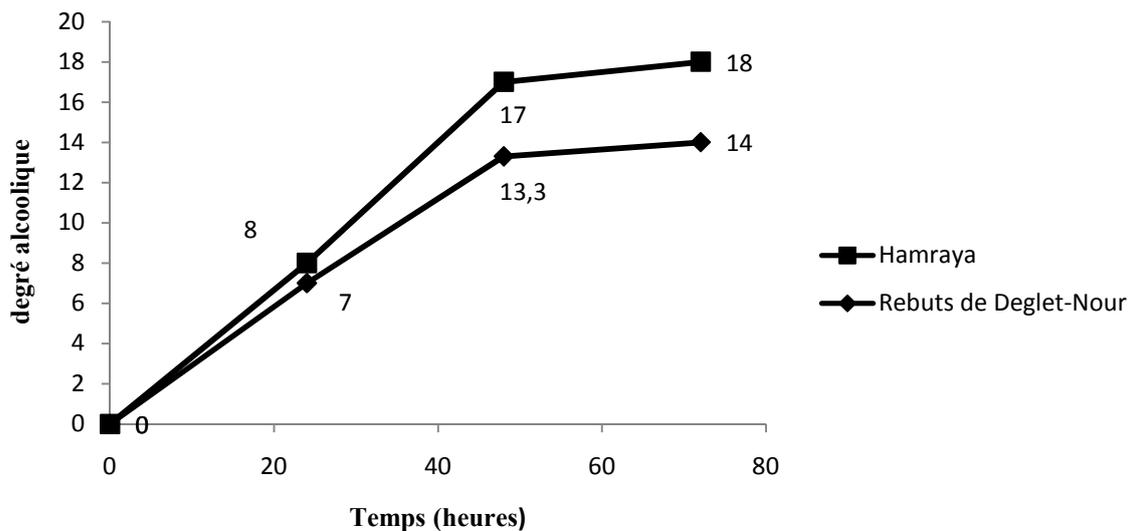


Figure IV.3 : Evolution du degré alcoolique durant la fermentation alcoolique

D'après la figure 3, la production d'alcool augmente durant les dernières 48 heures de la fermentation et cela au fur et à mesure que la teneur en sucres diminue.

L'évolution du degré d'alcool, montre que la cinétique de croissance et de production d'alcool pour la variété Hamraya est meilleure que celle des rebut de Deglet-Nour. Ce qui explique que la variété *Hamraya* produit plus d'alcool (18°) par rapport aux rebut de Deglet-Nour (14°). Ce qui confirme que la quantité d'alcool produite est proportionnelle au taux de sucre contenu dans les deux variétés de dattes.

L'alcool produit au niveau du laboratoire a les caractéristiques suivantes: volatil, limpide et possédant une odeur piquante (Annexe 5).

III. Suivi de la quantité de biomasse :

Le processus microbien fait intervenir la consommation de substrat et la formation de biomasse et du produit ainsi qu'un dégagement de chaleur. Les résultats en biomasse sont présentés dans la figure IV.4.

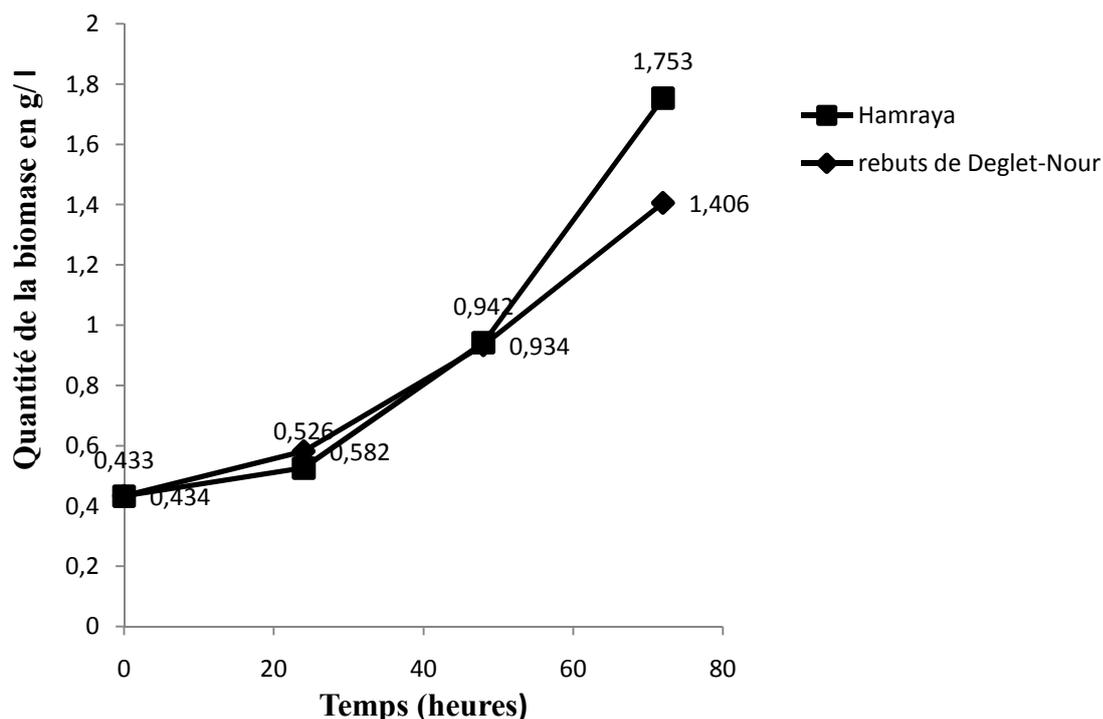


Figure IV.4 : Suivi de la quantité de biomasse durant la fermentation alcoolique

La richesse du milieu en sels nutritifs favorise la bonne multiplication des levures *saccharomyces cerevisiae*. Cependant, son taux de croissance aurait été meilleur si la souche utilisée était pure.

IV. Rendement de l'éthanol et vérification de sa pureté :

A la fin de la fermentation, le vin de dattes des deux variétés est distillé une première fois et le résultat du rendement en alcool était comme suit :

Tableau IV.2 : Résultats du rendement d'alcool

Quantité du jus fermenté	Quantité d'alcool hydraté
1000 ml du jus de « Hamraya »	210 mL
1000 ml du jus de « rebuts Deglet-Nour »	146 mL

Une deuxième distillation a été entreprise pour les deux échantillons recueilli, qui ont subi une déshydratation par la suite, d'où l'obtention d'un alcool à une concentration de 77,67 % selon l'indice de réfraction. Les résultats sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 : Résultats de l'analyse de l'indice de réfraction

N° de distillation	Indice de réfraction n^{20}	Pourcentage d'éthanol
1ere distillation	1,3596	50, 23%
2 me distillation	1,3610	77,67%

V. Résultats de l'identification du bioéthanol par spectrométrie infrarouge :

Afin de caractériser la molécule de l'éthanol établi au niveau du laboratoire, nous avons jugé utile de faire cette analyse. Les données spectrales du bioéthanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ sont présentées dans le spectre ci-dessous :

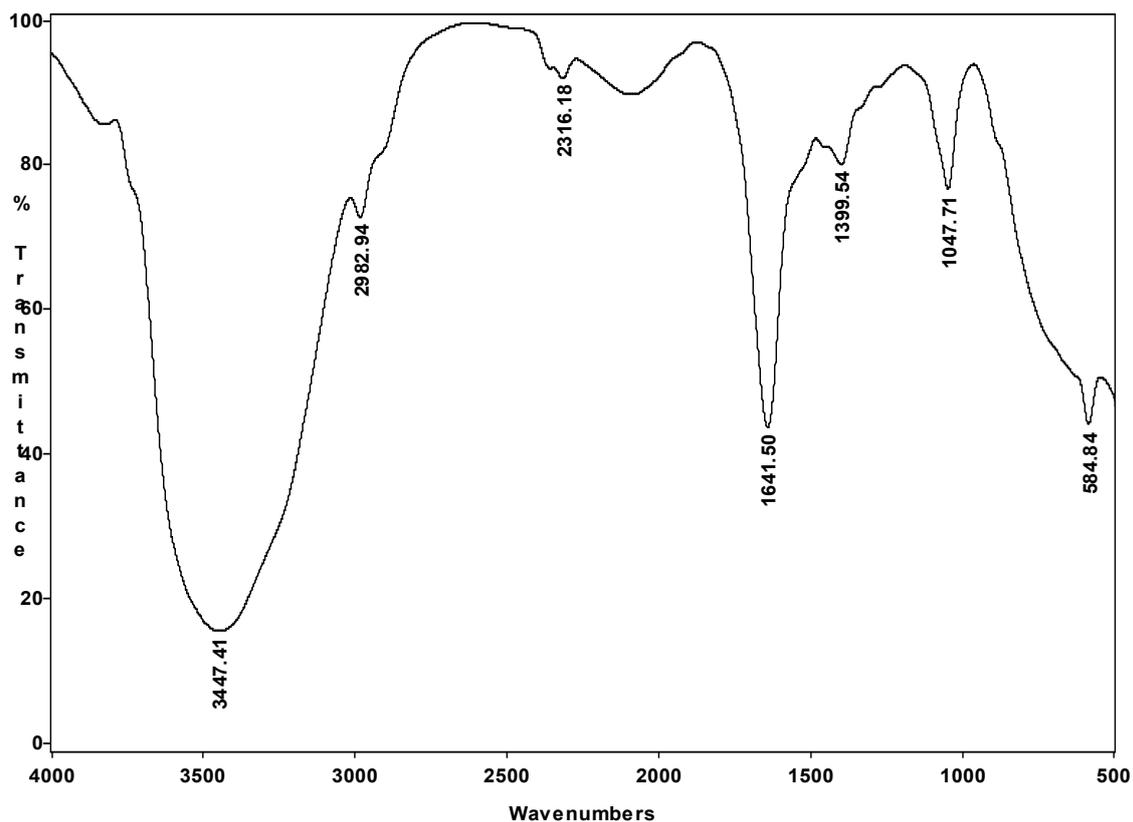


Figure IV.5 : Spectre IRTF du bioéthanol élaboré au niveau du laboratoire

Nous pouvons constater, que la bande d'absorption caractéristique de notre alcool en spectroscopie infrarouge est celle de l'élongation de la liaison O–H du groupement hydroxyle. Cette bande plutôt large et de forte intensité se situe à $3447,41 \text{ cm}^{-1}$ [39].

Il est à noter que plus la solution devient concentrée, plus les molécules d'éthanol peuvent former des ponts hydrogène entre elles, pour ainsi offrir une bande large d'absorption de la liaison O-H

La bande d'absorption de l'élongation de la liaison C–O de notre alcool est entre 1500 cm^{-1} et 1000 cm^{-1} et se situe à $1047,71 \text{ cm}^{-1}$, cette bande correspond à l'alcool primaire [39]. A partir du spectre, nous pouvons observer qu'il y a l'apparition des deux bandes d'absorption des liaisons C–H et O–H d'alcane à $2982,94 \text{ cm}^{-1}$ et $2316,18 \text{ cm}^{-1}$ respectivement.

Nous tenons à signaler, que la bande $1641,50 \text{ cm}^{-1}$, est due à la mauvaise qualité du KBr utilisée.

VI. Résultats de l'identification du bioéthanol par chromatographie en phase gazeuse:

Les résultats de l'analyse chromatographique CPG du mélange du bioéthanol des deux variétés ainsi que de l'éthanol à 99,8 % (étalon) sont montrés dans les figures suivantes :

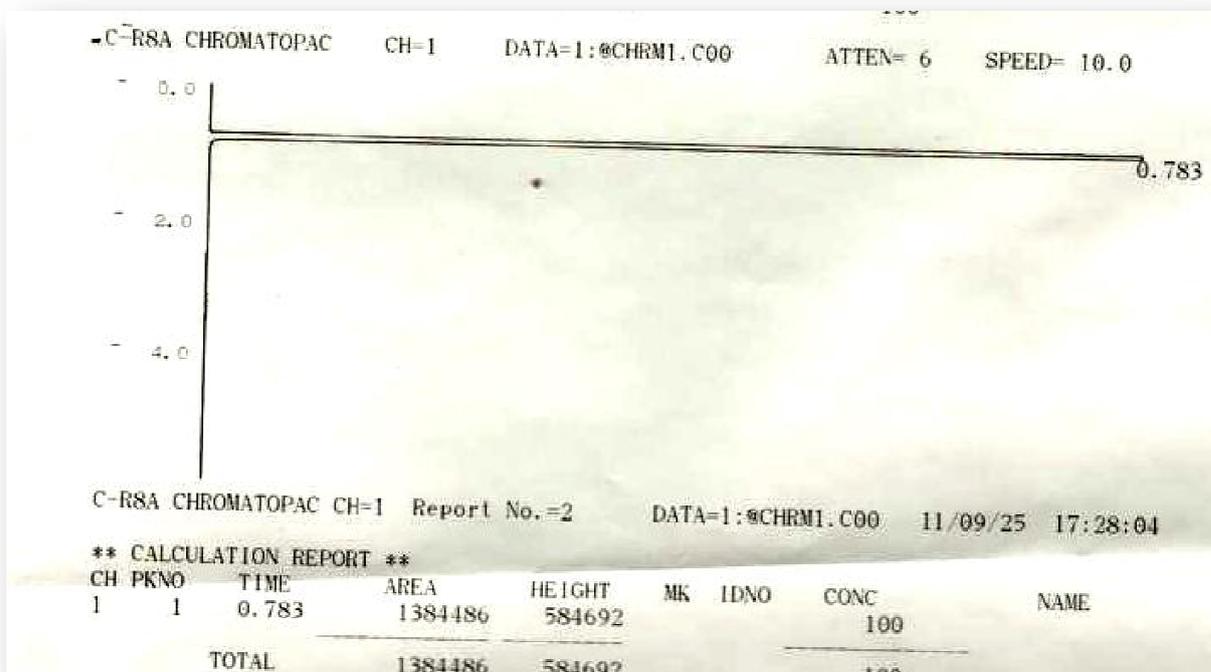


Figure IV.6 : Chromatogramme du distillat alcoolique des deux variétés de dattes

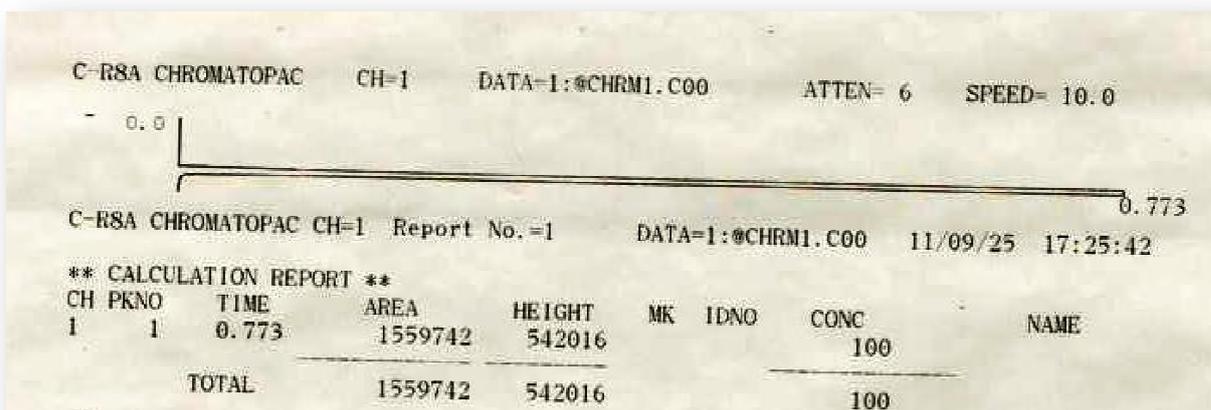


Figure IV.7 : Chromatogramme de l'éthanol absolu (étalon)

D'après le chromatogramme obtenu, le distillat est d'une pureté très élevée, ce qui donne une importance particulière aux substrats et à la levure utilisées. L'identification de

notre bioéthanol se fait à travers l'identification de son étalon, pour notre cas d'étude le temps de rétention (t_R) des deux chromatogrammes est quasi proche, car il représente une valeur de 0,783 et 0,773 respectivement pour l'éthanol absolu et le bioéthanol.

L'augmentation de la température de la colonne à permis d'obtenir le chromatogramme ci-dessous :

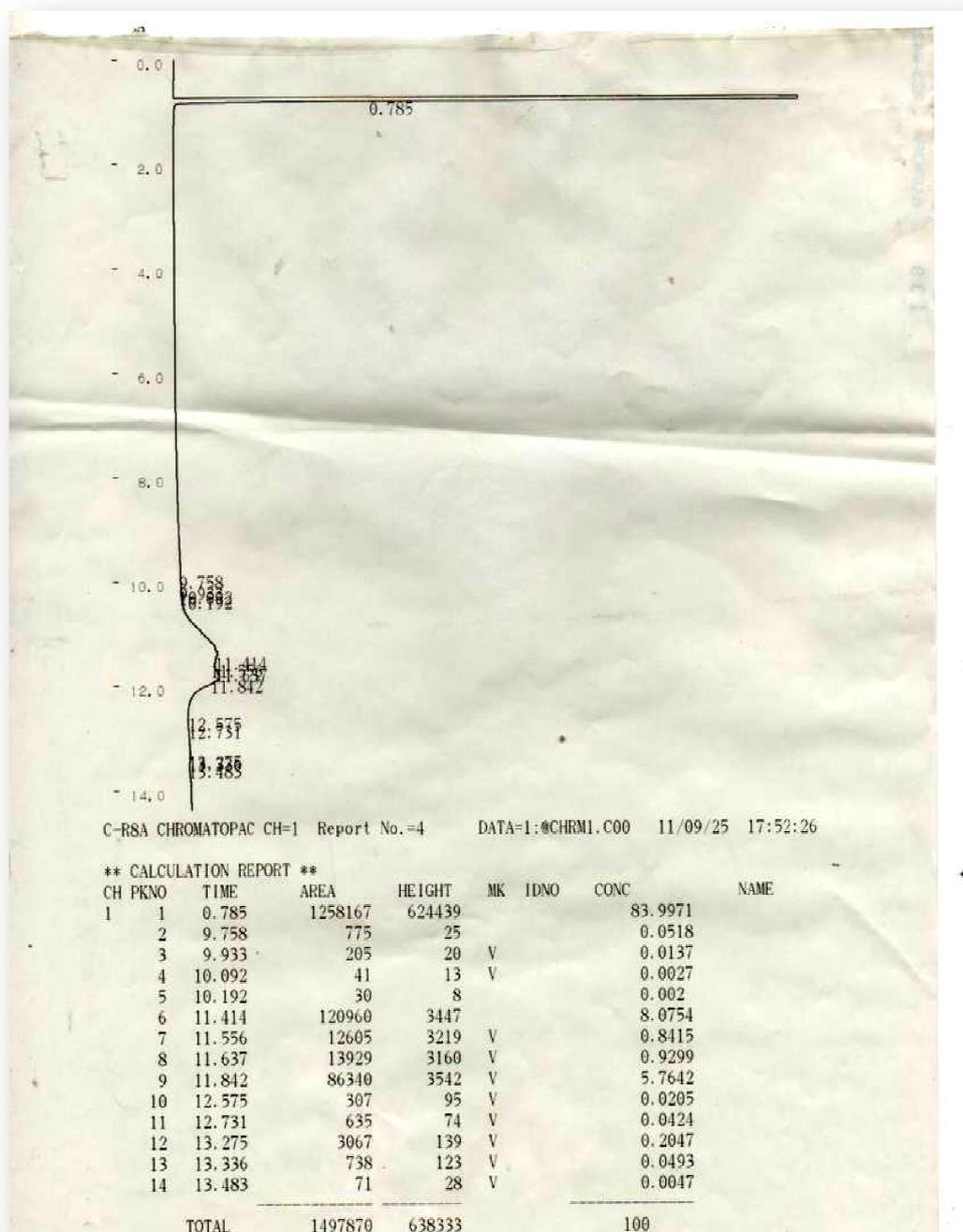


Figure IV.8 : Chromatogramme du bioéthanol

Telle qu'illustrée sur la figure IV.8, l'analyse chromatographique a montré que l'augmentation de la température a favorisée l'apparition d'autres produits volatils qui sont probablement des composés aromatiques. Cependant, leur concentration est très faible par rapport au bioéthanol.

VII. Résultats et interprétation de l'application du bioéthanol dans la reformulation des essences super sans plomb :

Les résultats de la reformulation des deux bases d'essences super sans plomb avec de l'éthanol ainsi qu'avec le bioéthanol sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau IV.4 : résultats des spécifications recherchées des deux essences reformulées avec de l'éthanol

Essences	Indice d'octane NOR	Tension de vapeur TVR (kPa)	Densité à 15°C (g/cm³)
Essence 1	92	48,1	0,7520
Essence 2	91,4	52,9	0,7610

Tableau IV.5 : résultats des spécifications recherchées des deux essences reformulées avec du bioéthanol

Essences	Indice d'octane NOR	Tension de vapeur TVR (kPa)	Densité à 15°C (g/cm³)
Essence 1	90,5	49,3	0,7700
Essence 2	90	53,2	0,7632

D'après les résultats obtenus de la caractérisation des essences reformulées et cela pour les deux bases, nous remarquons que l'indice d'octane NOR des deux essences reformulées avec l'éthanol est légèrement supérieur à celui des essences reformulées avec le bioéthanol. Par ailleurs concernant les paramètres des densités et des TVR, nous constatons qui sont assez proches bien que nous distinguons que les densités et les TVR des essences

reformulées avec du bioéthanol sont plus élevées à celles des essences reformulées avec de l'éthanol. Cependant, la composition des bases utilisées et la quantité de l'éthanol (ou bioéthanol) ajoutée influencent sur la valeur d'indice d'octane NOR.

Ces résultats sont assez encourageant pour la substitution de l'éthanol par le bioéthanol issu de dattes de faible valeur marchande, pour la reformulation des essences super sans plomb, reste à approfondir l'étude sur les moyen de sa purification.

CONCLUSION GENERALE

A la lumière des résultats obtenus le moût de dattes apparait comme un milieu riche, apte à réussir un processus fermentaire, avec une bonne productivité d'alcool.

Par ailleurs, l'étude de la composition en sucres montre que le jus des deux variétés de dattes « Hamraya » et les rebuts de « Deglet-Nour » est assez pourvu en sucre réducteurs, facilement assimilable par la levure de *Saccharomyces cerevisiae*. Toutefois la valeur maximale du degré alcoolique obtenu concerne la variété « Hamraya » qui dispose d'un taux de sucre le plus élevé.

Par conséquent, les variétés de dattes communes étudiées offrent d'énormes possibilités si l'on envisage leurs valorisations par une technologie de biotransformation via un procédé simple à réaliser.

En 72h, l'assimilation des sucres était presque totale, et le rendement en alcool est assez intéressant. Ce pendant, après une première distillation nous sommes parvenus à une quantité d'alcool, non négligeable, de 210 mL pour 1000 mL de jus fermenté (Hamraya) et 146 ml pour 1000 ml de jus fermenté (rebut Deglet-Nour). La deuxième distillation pour les deux échantillons recueillis ainsi que leurs déshydratations par tamis moléculaire nous a permis d'avoir un alcool plus concentré.

L'identification par spectrométrie infrarouge nous a permis de caractériser le groupement fonctionnel alcool (-OH) qui est à 3447.41 cm^{-1} ainsi que la chromatographie en phase gazeuse, a démontré une pureté considérable.

L'introduction du bioéthanol dans la reformulation de l'essence super sans plomb a été réalisé à des fins purement écologiques, et dans les mêmes conditions l'éthanol industriel a été utilisé à titre comparatif, ce qui nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Concernant la valeur de l'indice d'octane, l'additif bioéthanol présente une efficacité assez similaire de l'éthanol industriel. Ce paramètre essentiel, et pour les deux différentes bases, est de 91 pour l'essence contenant le bioéthanol au lieu de 92 pour la seconde qui contient de l'éthanol. Pour la deuxième base la valeur d'indice d'octane est de 90 au lieu de 91.4.

- Par conséquent, nous constatons une légère différence entre les deux compositions pour chaque base représentant un résultat assez satisfaisant, bien que nous recommandions d'autres moyens de purification du bioéthanol utilisé.
- Les résultats obtenus des autres paramètres restent quasi proches, confirment une comparaison assez réussie.

Dans cette optique, nous proposons quelques recommandations :

- L'étude d'autres variétés de dattes communes appréciées dans la production alcoolique.
- L'étude économique précise est indispensable afin de fixer le coût de production et de bénéfice de cette valorisation des dattes pour industrialiser ce moyen de production du bioalcool.
- Une étude approfondie de la reformulation des essences avec l'ajout du bioéthanol comme additif avec la combinaison d'autre base afin de choisir celle donnant un résultat optimal d'indice d'octane.
- L'étude complète de l'impact écologique avec la réalisation d'un plus grand nombre de combinaisons expérimentales.

Enfin, les résultats obtenus suite à ce travail, bien que préliminaire, ouvrent des voies prometteuses pour pouvoir fournir, un moyen de production du bioéthanol à partir d'un produit local de faible valeur marchande.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] IEA Bioenergy Task 42 on Biorefinery & EC FP6 IP BIOSYNERGY, « *Adding Value to the Sustainable Utilisation of Biomass* », Biorefinery Training Course, Gent, Ed de jong.(2009).
- [2] Document, «*Statistiquement Agricoles* »Ministère de L'Agriculture , (1998).
- [3] K.IBELAID «Reformulation de super carburant sans plomb par ajout des composés oxygénés », Rapport de synthèse, CRD SONATRACH (2005).
- [4] X.NORMAND, «Leçon sommaires sur l'industrie du raffinage du pétrole » tome 1, institut français de pétrole, édition TECHNIP, 1976.
- [5] J.C.GUIBET «Carburants et moteurs » tome 1, institut français de pétrole, édition TECHNIP (1997).
- [6] Y.DURIER« Caractéristiques des carburants et combustibles et leurs influences sur le fonctionnement des moteurs » institut français de pétrole, édition TECHNIP (1971).
- [7] P.WUITHIER« Raffinage et génie chimique» tome 1,2, institut français de Pétrole, édition TECHNIP (1972).
- [8] R.PERRIN et J.PSCHARFF« Chimie industrielle» université Claude Bernard Lyon édition (1999).
- [9] J.S. Yuan., K.H. Tiller., H. Al-Ahmad., N.R. Sterwat., Jr.C. Neal Steward , « Plants to power bioenergy to fuel the future » .trends in plant science V13, 421-429 (2008).
- [10] E. POITRAT, école d'ingénierie. « biocarburants » Doc. BE 8 550v2. (2009).
- [11] A.Fromntin., F.Biollay., A.Dauriat., H.Lucas-Posta., Prof.J-D.Marchand., Prof.G.Sarlos., « Caractérisation de filière de production de bioéthanol dans le contexte helvétique » thèse de Magistère, école polytechnique fédérale de Lausanne. (Mars 2000).
- [12] D.CROUZET, R. LAMBERT, F. PREBOIS .«La production de bioéthanol par les levures *Saccharomyces Cerevisiae* ». *Thèse.* (décembre 2008).
- [13] P.C. BADGER, «*An Overview of Ethanol-from-Cellulose* », Appalachian Woody Biomass to Ethanol Conference, Shepherdstown, (2007) .
- [14] M.B Sticklen., « Plant genetic engineering for biofuel production : towards affordable cellulosic ethanol ». *Nature Reviews – Genetics* 9, 433-443 (2008).
- [15] L. Chatin., C. Fombarlt., C.Bernasconi., A.Gauthier et P.Schmelz. « MTBE as a gasoline Blending Components », cata N° 941860, 10 p (1994) .
- [16] M. Feldman. « Taxonomie classification and names of wild », cul an moderne cultivated weats. *Evolution of plants.*120-128. (1976).

- [17] P. Gilles. « Cultiver le palmier dattier ». Ed la librairie du Cidar, Gridao, France. (2000).
- [18] I. Booij et al. « étude de la composition chimique des dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation végétal de divers cultivars de palmier dattier (Phoenix Dactylifera L) v 45 N°6.(1992).
- [19] P. Meunier. « Le palmier dattier ».Ed. Maisonneuve, Paris. (1973) .
- [20] Y. Noui. « Caractérisation physico-chimique comparative des deux constituants de la pulpe de datte Mech- Degla. Thèse de Magistère. Université de Boumerdès. (2007).
- [21] P. Estanove. « Valorisation de la datte » CIHEAM, options Meditterraneennes Ed. IRFA-CIRAD,France.N°11. (1990).
- [22] A.Siboukeur. « Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes ».thèse Magistère INA, El-Harrach (1997).
- [23] K. Yahiaoui. « Caractérisation physico-chimique et l'évolution du brunissement de la datte Deglet-Nour au cours de la maturation » INA, El-Harrach (1998).
- [24] A. Djouab. « Essai de formulation d'une margarine allégée à base d'un extrait de dattes Mech-Degla ». Thèse de Magistère. Université de Boumerdès. (2007).
- [25] A. Mansouri. Et al. « phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (Pheonix Dactylifera) ». Journal of Chemistry, v. 89, 411-420. (2005).
- [26] A. Benchelah. « Les dattes intérêt et nutrition ». Phytothérapie v6,117-121. (2008).
- [27] A.Chehma., H.F Longo et A.Siboukeur. « Estimation du tonnage et valeur alimentaire des sous produits du palmier dattier chez les ovins » (2000).
- [28] F.Kaidi et A. Touzi . « Production et Valorisation – Biomasse » ; production de bioalcool des déchets de dattes. 75-78. (2001).
- [29] M. OULD EL HADJ D. « Etude comparative de la productivité d'alcool brut de dattes selon les variétés ». Recherche Agronomique, N° 9, 91-99.(2001).
- [30] D. Fabienne. « *Génie Fermentaire* », Edition Doin Editeurs, pp. 226 - 229, Paris, (1991).
- [31] S.Acourene et al. << Caractérisation physicochimique des principaux cultivars de dattes de la région des Zibans >>. Recherche agronomique 9,19-30.(1997).
- [32] Anonyme. « Official methods of analysis ». Ed.Washington D.C.1th Edition (1975).
- [33] Q.Audigié et al. « Manipulation d'analyse biochimique », Ed.Dom Paris (1985).
- [34] Anonyme. « Protocole INRAA ».(2006).
- [35] Handbook, 1991-1992
- [36] H.Hasnaa., A.Hamoude., « Etude de quelques critères de qualité des principales variétés de dattes Marocaines »,Erfoud Maroc (2005).

- [37] W.N.Sawaya et al. « Physical and chemical characterization of three saudi date cultivars at various stages of development ». *Can. Ins. Food Sci. Technol. J.* 16, 87-93.(1985).
- [38] M. Cheikh. « Contribution à l'étude de la production d'alcool et de vinaigre par quatre variétés de dattes communes ». Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie ITAS Ouargla.(1994).
- [39] Silverstein « Identification spectrométrique de composés organiques »,5em édition de Boeck université (1998).