



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière
Département de chimie

No d'ordre :
No de série:

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité: Chimie
Présentée par :

OUCIF KHALED Mohammed Tayeb

Thème :

**Mise en valeur des dérivés de
dattes de la région d'Oued Souf
pour la production de bioéthanol**

Soutenue publiquement le: 16/05/2017

Devant le jury composé de :

<i>Nom et prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Etablissement</i>	<i>Qualité</i>
Mr. SAIDI Mokhtar	Professeur	UKMO	Président
Mr. OUAHRANI Med Rédha	Professeur	U. ElOued	Examineur
Mr. GHERRAF Noureddine	Professeur	U. Oum El-Bouaghi	Examineur
Mr. DOUADI Ali	MCA	UKMO	Examineur
Mr. LAOUINI Salah Eddine	MCA	U. ElOued	Examineur
Mr. LADJEL Segni	Professeur	UKMO	Encadreur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ ﴿ وهزي إليك بجدع النخلة تساقط عليك رطبا جنيا ﴾ ﴾

سورة مريم/25

﴿ ﴿ ومن ثمرات النخيل والأعناب تتخذون منه سكرا ورزقا حسنا إن في ذلك لآية لقوم يعقلون ﴾ ﴾

سورة النحل/67

صدق الله العظيم

Dédicaces

Je dédie ce travail à:

*La mémoire de mon père. Que Dieu le Tout Puissant
l'accueille en son Vaste Paradis;*

Toute ma famille;

Tous mes amis

Remerciements

Avant tout, mes remerciements infinis sont adressés à « Dieu le Tout Puissant » de m'avoir donné la santé et le courage pour achever ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur le professeur **Ladjel Segni** pour avoir accepté de rapporter cette thèse ainsi que pour sa constante disponibilité, son aide précieuse, ses conseils, pour m'avoir fait confiance, m'avoir encouragé et conseillé tout en me laissant une grande liberté. Pour son soutien et sa grande générosité, tout le long de mon travail de thèse, qu'il soit assuré de ma profonde gratitude.

Mes remerciements s'adressent à **Mr SAIDI Mokhtar**, professeur à l'Université Kasdi Merbah Ouargla, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider mon jury de thèse.

Je remercie infiniment et exprime toute ma reconnaissance à **OUAHRANI Med Rédha**, professeur à l'Université Hamma Lakhdar d'El Oued; à **Mr GHERRAF Noureddine**, professeur à l' Université Larbi Ben Mhidi de Oum El Bouaghi; à **Mr LAOUINI Salah Eddine**, maître de conférence à l'Université Hamma Lakhdar d'El Oued et à **Mr DOUADI Ali**, maître de conférence à l'Université Kasdi Merbah Ouargla pour avoir accepté d'examiner cette thèse.

J'exprime également toute ma reconnaissance et mes remerciements à **Mr Jamil Ahmed Malkawi**, (DR) à l' Université des sciences et de la technologie Jordan, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire de recherche.

Je suis reconnaissant et exprime mes vifs remerciements à **Mr Mohamed Bouaziz**, professeur à l'Institut Supérieur de Biotechnologie de Sfax Tunisie, pour sa contribution fructueuse en réalisant une partie de l'optimisation des paramètres.

Mes vifs remerciements et toute ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Résumé

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) constitue, pour les régions sahariennes l'élément essentiel de l'écosystème oasien. Il joue un important rôle, dû à son importance économique. En l'Algérie, le nombre de palmiers dattiers est plus de 18 millions avec un nombre de variétés qui dépasse les mille variétés avec une production nationale d'environ 800.000 t/an, 50% de ces dattes sont de faibles valeurs marchandes.

Ce travail rentre dans le cadre de la valorisation de quatre variétés de dattes (Ghars, Tinissine, Taquermeste et Boucheire) cultivés au sein de la région d'El Oued souf en vu de l'obtention de l'éthanol au niveau de laboratoire par fermentation du moût de ces variétés de dattes et l'optimisation des paramètres de la fermentation alcoolique du moût des dattes (Température, le pH du milieu, la quantité de la levure, la durée de la réaction et le taux de remplissage du bioréacteur). Après la modélisation de l'influence des paramètres de la fermentation du moût de dattes sur le rendement en bioéthanol, nous avons élaboré un programme Fortran permettant le calcul du rendement attendu en introduisant les paramètres de la fermentation.

L'application de cette étude permet l'exploitation et la commercialisation de dattes de mauvaise qualité et donc une prise de bénéfices importantes pouvant aller jusqu'à 2,9 € pour le kilogramme de dattes.

Mots clés: Palmier dattier, Dattes, Fermentation, Bioéthanol, Oued Souf.

Abstract

The plam tree (*Phoenix dactylifera* L.) is an essential element of the ecological balance of the oases and it is so important in the economic fields, Algeria has more than 18 million plam trees, and more than 1.000 varieties, more than 800.00 tons annually. However 50% of these dates are for poor quality and difficult to market.

Our work is to study the conversion of four varieties of dates produced in Oued Souf (Ghars, Tinissine, Taquermeste and Boucheire) into ethanol through alcohol fermentation in a laboratory.

After modeling the effect of temperature, pH, yeasts quantity, reaction time and bio-reactor filling rate on ethanol yield, we developed a program by Fortran langue that helps in calculating the expected yield from fermentation conditions.

The application of this study allows for exploitation and marketing of dates from poor quality, consequently achieving a geat profit of 2.9 euros per kilogram of dates.

Key words: Date palm, Dates, Fermentation, Bioethanol, Oued Souf.

ملخص

تعد شجرة النخيل عنصرا أساسيا في التوازن البيئي لمنطقة الواحات ، كما تلعب دورا هاما نظرا لأهميتها الاقتصادية. وفي الجزائر يُفوق عدد النخيل 18 مليون نخلة وعدد أصنافها يتجاوز الألف صنف و الإنتاج الوطني يتعدى الـ 800 ألف طن سنويا إلا أنه 50% من هاته التمور ذات نوعية رديئة يصعب تسويقها.

إن عملنا هذا يتمثل في دراسة تحويل أربع أصناف من التمور المنتجة في منطقة وادي سوف (الغرس، تنيسين، تكرمست والشعير) تحويلها إلى إيثانول من خلال التخمر الكحولي على مستوى المخبر، بعد نمذجة تأثير كلا من درجة الحرارة، ودرجة حموضة الوسط، كمية الخميرة، مدة التفاعل وكذا نسبة امتلاء المفاعل الحيوي على مردود الإيثانول قمنا بتطوير برنامج بلغة الفورتران يساعد على حساب المردود المتوقع انطلاقا من ظروف التخمر.

إن تطبيق هذه الدراسة يتيح استغلال وتسويق التمور ذات النوعية الرديئة، وبالتالي تحقق

أرباحا كبيرة تصل إلى 2,9 يورو للكيلوغرام الواحد من التمور.

الكلمات المفتاحية: شجرة النخيل، التمر، التخمر، الإيثانول الحيوي، وادي سوف.

Liste des tableaux

Tableau I-1: Classification botanique du palmier dattier.....	2
Tableau I-2 : Cycle végétatif du palmier dattier	7
Tableau I-3: Stades d'évolution de la datte	10
Tableau I-4: Composition biochimique de la datte variété Deglet Nour	12
Tableau I-5: Classement des dattes selon leurs compositions.....	14
Tableau I-6: Critères d'évaluation qualitative des dattes.....	15
Tableau I-7: Répartition de la production mondiale	16
Tableau I-8 : Production mondiale de dattes	17
Tableau I-9: Production nationale par wilaya	18
Tableau II-1: Evolution de la production de bioéthanol dans le monde de 2007 à 2011 en millions de litres	27
Tableau II-2: Evolution de la consommation de bioéthanol dans le monde de 2007 à 2011 en millions de litres.	28
Tableau II-3: Evolution des parts de la consommation nationale de bioéthanol dans la consommation mondiale de 2007 à 2011 en %.	28
Tableau II-4: Caractéristiques physico-chimiques de l'éthanol comme combustible liquide.....	29
Tableau II-5: Rendement en bioéthanol de quelques produits	31
Tableau II-6: Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques	33
Tableau II-7: Composition de biomasse lignocellulosique.....	34
Tableau II-8: Propriétés de l'essence et du bioéthanol.....	38
Tableau II-9: Avantages et inconvénients du bioéthanol.....	39
Tableau III-1: Levures Saccharomyces et non Saccharomyces.....	48
Tableau III-2: Composition approximative de Saccharomyces cerevisiae en ions métalliques, besoins et limites dans le milieu	52
Tableau III-3: Principaux avantages, principaux inconvénients et ordre de grandeur de la productivité atteinte par différents procédés de production d'éthanol	57
Tableau V-1: Caractéristiques physiques de dattes étudiés	70
Tableau V-2: Teneurs en sucres de dattes étudiés.....	70
Tableau V-3: Influence de la température sur le rendement pour 1kg de dattes	

dénoyautées	72
Tableau V-4: Influence de la quantité de levure sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées.....	73
Tableau V-5: Influence du pH sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées.....	74
Tableau V-6. Produits secondaires formés par <i>S. cerevisiae</i> à différents pH du moût... ..	75
Tableau V-7: Influence de la durée de la réaction sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées.....	75
Tableau V-8: Influence du taux de remplissage du bioréacteur sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées.....	76
Tableau V-9: Matrice du système.....	78

Liste des figures, photos et des schémas

Liste des figures

Figure I-6. Carte de répartition du genre <i>Phoenix</i>	9
Figure I-9. Techniques de transformation et de valorisation des dattes.....	21
Figure II-2. Répartition des principaux pays producteurs de bioéthanol.....	24
Figure II-3. Les principaux consommateurs de bioéthanol	25
Figure II-4. Répartition de la production de biodiesel et d'éthanol par grandes zones en 2010	26
Figure II-5. La molécule de l'éthanol.....	29
Figure II-7: Structure de l'amylose.....	33
Figure II-8: Structure moléculaire de l'amylopectine.....	33
Figure II-9. Structure du cellulose.....	35
Figure II-10. Exemple de structure d'hémicelluloses.....	36
Figure II-11. Production de l'éthanol à partir de biomasse cellulosique.....	37
Figure III-2. Transformation de l'acide pyruvique en éthanol.....	43
Figure III-3. Structure cellulaire des levures.....	45
Figure III-4. La multiplication par bourgeonnement.....	45
Figure III-5. La reproduction sexuée.....	46
Figure III-6. Métabolisation du glucose.....	49
Figure IV-1. Situation géographique et la carte de la wilaya d'El Oued.....	60
Figure IV-8. Courbe d'étalonnage de D(+) Glucose.....	64
Figure V-1: Influence de la température sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées	72
Figure V-2: Influence de la quantité de levure sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées	73

Figure V-3. Influence du pH sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées	74
Figure V-4. Influence de la durée de la réaction sur le rendement pour 1kg de datte dénoyautées	76
Figure V-5. Influence du taux de remplissage du bioréacteur sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées.....	77
Figure V-6. Prédiction du rendement pour la régression non linéaire.....	79
Figure V-7. Prédiction du rendement pour la régression linéaire.....	79

Liste des photos

Figure I-1 : Un palmier dattier en fructification.....	1
Figure I-4. fleur femelle.....	5
Figure I-5. Inflorescences mâle.....	6
Figure I-8. Photo datte entier et en coupe.....	10
Figure IV-2. Photo de dattes variété Ghars.....	61
Figure IV-3. Photo de dattes variété Tinissine.....	61
Figure IV-4. Photo de dattes variété Taquermest.....	61
Figure IV-5. Photo de dattes variété Boucheire.....	61
Figure IV-11. Photo d'un alcoomètre.....	69

Liste des schémas

Figure I-2. Présentation schématique du palmier dattier.....	3
Figure I-3. Schéma d'une palme.....	4
Figure I-7. Schéma datte et son noyau	10
Figure II-1. Diagramme de synthèse des biocarburants de 1 ^{ère} et de 2 ^{ème} génération.....	24
Figure II-6 Production de bioéthanol à partir des plantes sucrés et amylacés.....	32
Figure III-1. Schéma de la glycolyse.....	42

Figure III-7: Production des alcools supérieurs.....	51
Figure IV-6. Déshydratation des glucides en milieu acide.....	63
Figure IV-7. L'action des phénols sur les furfurals	63
Figure IV-9. Hydrolyse du saccharose en milieu acide.....	65
Figure IV-10. Diagramme de production de l'éthanol.....	67

Liste des abréviations

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'agriculture en Anglais : (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*).

UNEP : Programme d'Environnement des Nations Unies en Anglais (*United Nations Environmental Programme*).

OCDE : L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques.

Mtep : Million de tonnes équivalent pétrole.

UE : Union Européenne.

DO : Densité Optique.

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I: Généralités sur les palmiers dattiers

I- Généralités sur les palmiers dattiers	1
I-1- Définition	1
I-2- Classification botanique	2
I-3- Biologie du palmier dattier	2
I-3-1- Présentation de l'espèce	2
I-3-2- Morphologie du palmier dattier	3
I-3-2-1- Le système racinaire	4
I-3-2-2- Le stipe ou tronc	4
I-3-2-3- Les feuilles	4
I-3-2-4- Les organes floraux	4
I-3-3- La pollinisation	6
I-3-4- Cycle de développement	6
I-4-Écologie des palmiers dattiers	7
I-4-1- Distribution naturelle, historique et actuelle du dattier	8
I-5- Les dattes	9
I-5-1- Présentation des dattes	9
I-5-2- Cycle de développement des dattes	10
I-5-3- Les variétés de dattes	11
I-5-4- Caractéristiques morphologiques des dattes	12

I-5-5- Caractéristiques biochimiques des dattes.....	12
I-5-6- Classification des dattes.....	13
I-5-7- Vérification et contrôle de qualité des dattes.....	14
I-6- Production des dattes	15
I-6-1- Production des dattes dans le monde.....	15
I-6-2- Production des dattes en Algérie	18
I-7- Transformation des dattes.....	19
I-7- 1- La pâte de dattes.....	19
I-7- 2- La farine de dattes.....	19
I-7- 3- Les Sirops, les crèmes et les confitures de dattes.....	20
I-8- La mise en valeur des déchets.....	20

Chapitre II: Biocarburants et le bioéthanol

II- Biocarburants et le bioéthanol.....	22
II-1-Introduction.	22
II-2-Première et deuxième génération.....	23
II-3- Production et consommation des biocarburants.....	25
II-3-1- La production de bioéthanol	26
II-3-2- La consommation mondiale de bioéthanol	27
II-4- Le Bioéthanol	28
II-4-1- Définition	28
II-4-2- Matières premières et technologies de production du bioéthanol.....	30
II-4-3- Technologie de la production du bioéthanol à partir de biomasse sucrée ou amylacée	31
II-4-3-1- Conversion de l'amidon en sucre	32
II-4-4- Technologie de la production du bioéthanol à partir de biomasse	34

cellulosique	
II-4-5- L'utilisation du bioéthanol.....	38
II-4-6- Avantages et inconvénients du bioéthanol.....	38
Chapitre III: Généralités sur la fermentation	
III- Généralités sur la fermentation	40
III-1- Définition.....	40
III-2- Fermentation alcoolique.....	40
III-2- 1- La glycolyse.....	40
III-2-2- La fermentation alcoolique.....	42
III-3- Les levures.....	43
III-3-1-Structure cellulaire des levures.....	43
III-3-2-Reproduction des levures.....	45
III-3-2-1- La multiplication asexuée.....	45
III-3-2-2- La reproduction sexuée.....	46
III-4- Les microorganismes utilisés	46
III-4-1-La levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>.....	47
III-4-2-Taxonomie des levures <i>Saccharomyces</i>	47
III-4-3-Les souches de levures <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	48
III-4-4- Voies métaboliques de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>.....	49
III-4-4-1. Métabolisme oxydatif.....	49
III-4-4-2. Le métabolisme fermentaire.....	49
III-4-4-3- Rôle de l'oxygène en fermentation alcoolique	
	51
III-5-Effet des paramètres physico-chimiques sur la fermentation alcoolique.....	51

III-5-1- La composition du milieu.....	51
III-5-2- La température.....	52
III-5-3- L'acidité.....	53
III-5-4- L'éthanol.....	53
III-6- Les procédés de fermentation alcoolique	54
III-6-1- Fermentation type batch.....	54
III-6-2- Fermentation type fed-batch.....	54
III-6-3- Fermentation type continu.....	55
III-6-3-1- A un étage.....	55
III-6-3-2- A plusieurs étages.....	55
III-6-3-3- A haute densité cellulaire et/ou recyclage de la biomasse.....	56
III-6-4- Comparaison des types de fermentation.....	56
III-7- Autres types de fermentation.....	57
III-7-1- Fermentation lactique.....	57
III-7-2- Fermentation acétique.....	58
III-7-3- Fermentation propionique.....	59
Chapitre IV : Matériels et Méthodes	
IV-1- La région d'El Oued	60
IV-2- Choix des variétés	60
IV-3- Caractérisation physico-chimique de la matière première.....	61
IV-3-1- Méthodes et techniques d'analyses physiques de la matière première.....	61
IV-3-2- Méthodes et techniques d'analyses chimiques de la matière première.....	62
IV-3-2-1- Dosage des sucres réducteurs.....	62
IV-3-2-2- Dosage des sucres totaux.....	64
IV-3-2-3- Teneur en saccharose.....	65

IV-4- Matériel biologique.....	65
IV-5- Etapes de la production de l'éthanol par fermentation des dattes.....	66
IV-5-1- Préparation du moût.....	66
IV-5-2-Procédé de la fermentation alcoolique.....	66
IV-5-3-Distillation et rectification.....	66
IV-6- Optimisation des paramètres de la fermentation.....	68
IV-6-1-Pour la température.....	68
IV-6-2-La quantité de levure.....	68
IV-6-3-Le pH.	68
IV-6-4-La durée de la réaction.....	68
IV-6-4-Le taux de remplissage du bioréacteur.....	68
IV-7- Analyses du produit fini.....	69
IV-7- 1- Le degré d'alcool.....	69
IV-7- 2- L'indice de réfraction.....	69
IV-7- 3- L'inflammabilité.....	69
IV-8- Modélisation du rendement en bioéthanol.....	69
Chapitre V: Résultats et discussions	
V-1- Résultats d'analyses physiques.....	70
V-2-Résultats d'analyses chimiques.....	70
V-3-Résultats de l'optimisation.....	71
V-3-1-Influence de la température.....	71
V-3-2- Influence de la quantité de levure.....	72
V-3-3- Influence du pH.	73
V-3-4- Influence de la durée de la réaction.....	75
V-3-5- Influence du taux de remplissage du bioréacteur.....	76

V-4- Résultats de l'analyse de produit fini.....	77
V-4- 1- Le degré d'alcool.....	77
V-4- 2- L'indice de réfraction.....	77
V-4- 3- L'inflammabilité.....	77
V-5- Etude technico - économique du procédé	77
V-6-Résultats de modélisation	78
V-6-1- Matrice du système.....	78
V-6-2- Résultats du régression non linéaire.....	79
V-6-3- Résultats du régression linéaire.....	79
V-6-4- Choix du modèle.....	80
Conclusion	81
Références bibliographique	
Annexe	

Introduction générale

Introduction générale

Le palmier dattier constitue l'élément fondamental de l'écosystème oasien. Il joue un rôle primordial sur le plan économique grâce à la production de la dattes et des sous-produits (pâtes, farine, sirop, vinaigre, levure, alcool, confiserie,...).

En l'Algérie, le nombre de palmiers dattiers est plus de 18 millions avec un nombre de variétés dépasse les mille variétés. Malgré la production important des dattes en Algérie, la technologie de transformation des dattes, se limite à son conditionnement et la production de pâtes et de farine à partir des variétés molles et sèches respectivement. Les difficultés de conservation liées en particulier à l'importance des dattes molles et à l'absence de traitement des dattes aussi bien avant qu'après la récolte, un faible pourcentage de production commercialisable qui s'explique en particulier par la relative importance des variétés de faible qualité marchande. Hormis Déglet Nour, les autres variétés restent peu connues et donc peu appréciées.

Les dattes de faibles valeurs marchandes présentent environ de 50% de la production totale des dattes, ces dattes, par son teneur élevé en sucres fermentables et son faible prix sur le marché peut utiliser comme biomasse pour la production du bioéthanol par bioconversion anaérobie des dattes en présence de levures sélectionnées *Saccharomyces cerevisiae*.

Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse, consiste à une valorisation de quatre variétés de dattes (Ghars, Tinicine, Taquermeste et Boucheire) en vue de l'obtention d'un produit largement utilisé. Il s'agit précisément de produit de l'éthanol au niveau du laboratoire par fermentation du moût de ces variétés de dattes et l'optimisation des paramètres de la fermentation alcoolique du moût des dattes (température, le pH du milieu, la quantité de la levure, la durée de la réaction et le taux de remplissage du bioréacteur). Et enfin, la proposition d'un protocole de la production du bioéthanol à partir des dattes et l'élaboration d'un programme de calcul donnant le rendement en bioéthanol attendu en fonction des paramètres de la fermentation.

Dans ce manuscrit, nous présenterons tout d'abord dans la partie synthèse bibliographique des généralités sur les dattes et les palmiers dattiers dans le premier chapitre, le second chapitre est réservé pour les biocarburants et le bioéthanol, des

généralités sur la fermentation sont présentés dans le troisième chapitre. Une partie ‘matériels et méthodes’ présentera les protocoles de la caractérisation physico-chimique de la matière première, les étapes de la production de l’éthanol par fermentation des dattes et les techniques de l’optimisation et la modélisation des paramètres de la fermentation des dattes. Nous présenterons en suite les résultats obtenus. Nous terminerons classiquement en rappelant les principales conclusions de notre étude.

Chapitre I
Généralités sur
les palmiers
dattiers

I- Généralités sur les palmiers dattiers

I-1- Définition

Le Palmier dattier ou Dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une plante monocotylédone de la famille des Arécacées (Palmiers), largement cultivé d'abord pour ses fruits: les dattes. Dans l'agriculture d'oasis saharienne, c'est la plante qui domine la strate arborée des arbres fruitiers qui poussent à son ombre et qui, eux-mêmes, couvrent cultures maraîchères, fourragères. La nomenclature provient du mot *Phoenix* qui signifie dattier chez les phéniciens, et *dactylifera* dérive du terme grec "*dactulos*" signifiant doit, allusion faite à la forme du fruit (Djerbi,1994).



Figure I-1 : Un palmier dattier en fructification

L'origine géographique précise du palmier dattier paraît très controversée, selon (Munier, 1973), est le résultat de l'hybridation de plusieurs types de *Phoenix*. Bien que, plusieurs hypothèses ont été abordées sur son origine, mais toujours ont révélé que son origine fréquemment dans la Bible (se trouve à Babylone et datent de 4 000 ans avant Jésus. Christ). Alors que dans la région du Golfe arabe. Depuis ce lieu d'origine, la culture du palmier dattier s'est étendue vers l'Est et vers l'Afrique orientale (15^{ème} siècle) et du nord (11^{ème} siècle). Dès le 20^{ème} siècle, il est introduit en Amérique par les conquêtes espagnoles et en Australie (Nixon, 1978). Par contre, la propagation du palmier dattier au pays du Maghreb s'est effectuée en suivant plusieurs voies: par les navigateurs arabes, qui

remplaçant le commerce caravanier à travers le Sahara, et l'introduction des noyaux de dattes par les esclaves; par la sélection paysanne dans les anciennes transactions commerciales où les dattes étaient utilisées comme monnaie d'échange; et par la colonisation qui favorisant la plantation de la variété Deglet Nour (Ouennoughi, 2005).

I-2- Classification botanique

Le palmier dattier est un arbre de la famille des palmacées, sous famille des Coryphoideaes. Phoenix est l'un des genres de cette famille, comprenant une douzaine d'espèces, dont principalement le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), qui peut être systématiquement classé comme suit (Feldman, 1976):

Tableau I-1: Classification botanique du palmier dattier

- Groupe:	Spadiciflora
- Ordre:	Palmea
- Famille:	Palmaceae
- Sous-famille:	Coryphoideaes
- Tribu:	Phoeniceae
- Genre:	<i>Phoenix</i>
- Espèce:	<i>Phoenix dactylifera</i> L.

I-3- Biologie du palmier dattier

I-3-1- Présentation de l'espèce

Le palmier dattier est une plante dioïque. Il comporte des pieds mâles (dokkar) et des pieds femelles (nakhla). Il se multiplie aussi bien par semis de graines (noyaux) que par plantations des rejets (djebbars). La multiplication par noyaux ne reproduit pas fidèlement la « variété » dont il est issu. On obtient en moyenne par semis de noyaux, 50% de sujets mâles et 50% de sujets femelles. L'hétérozygotie des plants originaux provoque une très forte hétérogénéité de la descendance. A l'origine, cette méthode de multiplication permettait aux phoeniculteurs d'opérer des sélections parmi les meilleurs plants issus de noyaux et de les multiplier ensuite par voie végétative. Ainsi, les individus de palmiers actuels ne sont que le produit de cette sélection et ne sont en fait que des cultivars (Buelguedj, 2007).

I-3-2- Morphologie du palmier dattier

La figure suivante montre une présentation schématique du palmier dattier.

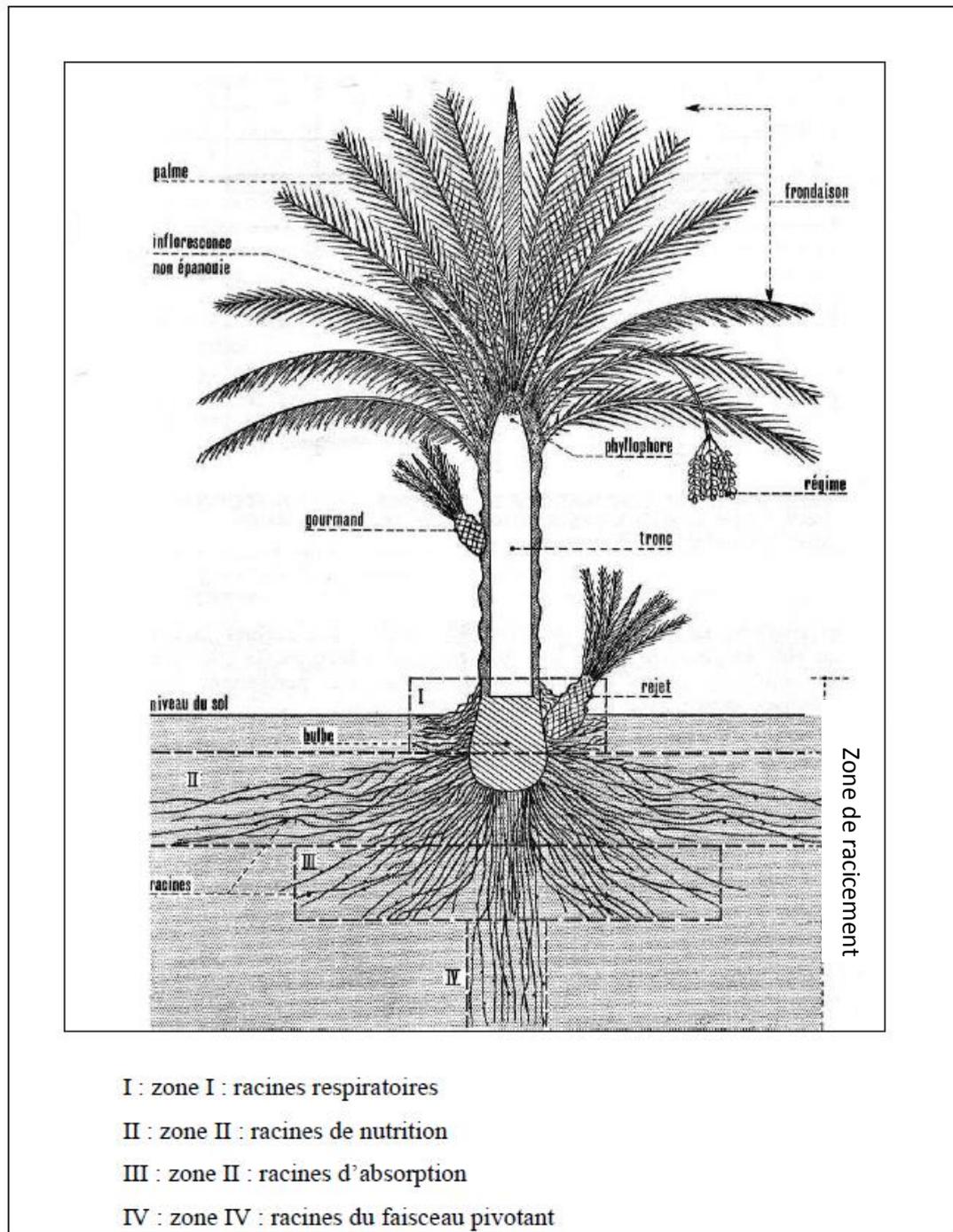


Figure I-2. Présentation schématique du palmier dattier (Munier, 1973).

I-3-2-1- Le système racinaire

Le système racinaire est de type fasciculé. Les racines ne se ramifient pas et n'ont relativement que des radicules et le bulbe ou plateau racinaire est volumineux, émergé en partie au-dessus du niveau du sol (Fig. I-2) (Munier, 1973).

I-3-2-2- Le stipe ou tronc

Le stipe est d'une grosseur variable selon les variétés, il peut varier selon les conditions du milieu pour une même variété. Ainsi, il possède une structure très particulière, il est formé de vaisseaux disposés sans ordre et noyés dans un parenchyme fibreux. Et d'après Wertheimer (1956), le stipe est recouvert par les bases des palmes qu'on appelle « cornaf ». Un palmier peut donner environ 17 rejets au cours de son existence.

I-3-2-3- Les feuilles

Les feuilles du dattier sont appelées palmes ou djerids, elles ont une forme pennée et sont insérées en hélice, très rapprochées sur le stipe par une gaine pétiolaire bien développée « cornaf » enfouie dans le « life » (Belhabib, 1995) (Fig.3). Les palmes sont en nombre variable sur palmier. Le palmier le mieux tenu contient de 50 à 200 palmes (Ben Chenouf, 1971). De nombreuses palmes constituent la couronne (Munier, 1973).

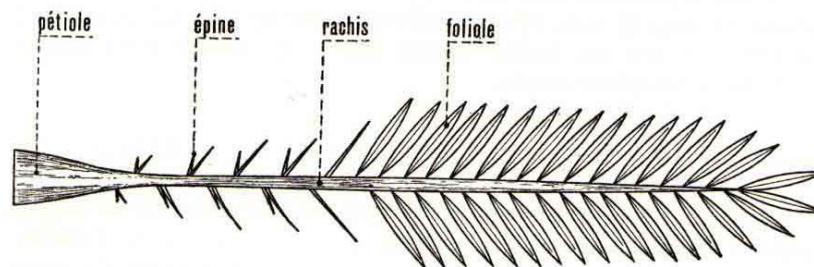


Figure I-3. Schéma d'une palme

I-3-2-4- Les organes floraux

D'après Peyron (2000), tous les *Phoenix*, et donc le palmier dattier, sont des arbres dioïques. Les sexes étant séparés, il existe donc des pieds mâles donnant du pollen et des pieds femelles produisant des fruits, les dattes. Les fleurs sont portées par des pédicelles, ou des épillets qui sont à leur tour sont portés par un axe charnu, la hampe ou spadice.

Selon le même auteur, l'ensemble est enveloppé dans une grande bractée membraneuse close, la spathe.

a-La fleur femelle

Elle est globuleuse, d'un diamètre de 3 à 4 mm et est formée de 3 sépales soudés. Une corolle formée de 3 pétales ovales et arrondies et 6 étamines avortées. Le gynécée comprend 3 carpelles indépendants à un seul ovule (Munier, 1973) (Figure I-4). Selon Amorsi (1975), la sortie des fleurs « Talâa » a lieu de la fin Janvier jusqu'au début Mai selon les variétés et l'année.



Figure I-4. fleur femelle

b-La fleur mâle

De forme allongée, constituée d'un calice composé de 3 spathe soudées par leurs bases, de 3 pétales légèrement allongées formant la corolle. La fleur possède 6 étamines à déhiscence interne et trois pseudo-carpelles (Daher Meraneh, 2010). Après l'éclatement de la spathe mâle (fin Janvier), la fleur laisse échapper un pollen.



Figure I-5. Inflorescences mâle

I-3-3- La pollinisation

La pollinisation est effectuée soit naturellement par le vent ou les insectes dans les jardins oasiens familiaux et dans les palmeraies spontanées, soit artificiellement par les exploitants qui placent quelques épillets de fleurs mâles (1 à 12) au sein des épillets femelles (Enaimi et Jafer, 1980). Dans les plantations industrielles, la pollinisation est mécanisée (poudre de pollen diluée avec du talc ou de la cendre de bois tamisé afin d'améliorer la nouaison (Monciero, 1954; Ben-Abdalla, 1990).

A l'ouverture des spathes, le pollen des fleurs mâles est mature et peut se conserver pendant plusieurs années, à condition que l'on garde dans un endroit sec, frais et à l'abri de la lumière afin de préserver la qualité de son pouvoir germinatif.

Des études de pollinisation ont montré l'absence d'incompatibilité pollen / carpelle chez le palmier dattier (Ben-Abdalla, 1990 ; Leroy, 1958). Cependant, tous les pollens n'ont pas la même capacité de fécondation. Le pourcentage de nouaison dépend de la qualité du pollen, du cultivar et des conditions de température et d'humidité régnant lors de la pollinisation. La nouaison est maximale (90 à 100%) lorsque la pollinisation est effectuée dès l'ouverture de la spathe femelle. Elle décroît ensuite car la réceptivité des fleurs femelles est limitée à une semaine au maximum (Leroy, 1958).

I-3-4- Cycle de développement (Belguedj, 2002)

Le palmier dattier en Algérie comporte généralement quatre phases de développement:

I-3-4-1– Phase jeune

Depuis la plantation jusqu'aux premières productions. Cette phase dure entre 5 à 7 années, selon le milieu et les soins apportés à la culture.

I-3-4-2– Phase juvénile

C'est la pleine production. Elle se situe autour de 30 ans d'âge du palmier.

I-3-4-3– Phase adulte

Autour de 60 ans d'âge, début de décroissance de la production surtout si le palmier est dans des conditions de culture médiocres.

I-3-4-4- Phase de sénescence

Après 80 ans et plus, chute de la production. Dans le tableau ci-dessous, nous présentons le cycle végétatif annuel du palmier dattier

Tableau I-2 : Cycle végétatif du palmier dattier (Belguedj, 2002)

Stade et période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Apparition des spathes (floraison)	■											
Croissance des spathes		■										
Ouverture des spathes(fécondation)			■	■								
Nouaison					■							
Grossissement des fruits						■	■					
Prématuration (Bser)								■				
Maturation (Tmar)									■			
Récolte										■	■	
Repos végétatif											■	■

I-4-Ecologie des palmiers dattier

Le palmier dattier est cultivé comme arbre fruitier dans les régions chaudes arides et semi-arides. cet arbre peut s'adapter à de nombreuses conditions grâce à sa grande variabilité (Gilles,2000). Le dattier est une espèce thermophile; elle exige un climat chaud, sec et ensoleillé. C'est un arbre qui s'adapte à tous les sol. Il est sensible à l'humidité pendant la période de pollinisation et au cours de la maturation (Munier, 1973; Toutain,1979)

I-4-1- Distribution naturelle, historique et actuelle du dattier(Muriel Gros-Balthazard, 2013)

L'étude de l'origine géographique et de la biogéographie historique du dattier cultivé nécessite de connaître la distribution naturelle de cette espèce au temps de sa domestication. La longue histoire de sa culture au Moyen-Orient et dans le nord de l'Afrique ayant probablement étendu la distribution de cette espèce loin de son aire originale (Barrow 1998). La culture du dattier nécessite en effet des températures élevées, une faible hygrométrie mais une humidité édaphique constante. Inférer la distribution naturelle peut se faire sur la base de restes végétaux antérieurs à la domestication et à la diffusion de la culture. Il est généralement admis qu'elle se trouve au Moyen-Orient (Zohary et al. 2012). L'aire de culture traditionnelle ou historique potentielle se trouve dans les zones arides et semi-arides chaudes de l'Ancien Monde (Zohary et al. 2012): l'Afrique du Nord et le sud de l'Espagne, le Moyen-Orient, le Pakistan et le Nord-Ouest de l'Inde (Munier 1973, Barrow 1998). L'aire de distribution du dattier n'est plus aujourd'hui restreinte à ces zones de culture historiques. En effet, elle intègre des régions où le dattier a été introduit au cours des siècles derniers non seulement comme arbre fruitier mais aussi pour des rites religieux et comme essence ornementale. On retrouve également le dattier sur la côte méditerranéenne où il joue un rôle ornemental. En Afrique, le dattier n'est plus restreint au Nord, il a été introduit dans les îles telles que Madagascar, les Comores et l'archipel des Mascareignes et au XXe siècle en Afrique du Sud (Munier 1973). En Australie, il a d'abord été introduit par voie de graines au XIXe siècle et plus tard via des rejets importés des États Unis, d'Irak et d'Algérie, qui ont permis le développement de grandes palmeraies destinées à l'écotourisme (Ouennoughi & Dubost 2005). L'introduction des palmiers dattiers en Nouvelle-Calédonie est liée à la déportation d'Algériens au cours des luttes anticoloniales de 1871 (Ouennoughi & Dubost 2005). Le dattier a également été introduit en Amérique dans plusieurs pays à partir du XVIIIe siècle; il a une importance commerciale en Californie aux États- Unis (Munier 1973). Ainsi, dans le monde, 800 000 ha seraient dédiés à la culture du dattier (Elhoumaizi et al. 2002) et le nombre de dattiers dans le monde est évalué à environ 100 millions (Zaid 2002), effectif qui augmente chaque année (FAOSTAT, 2010).

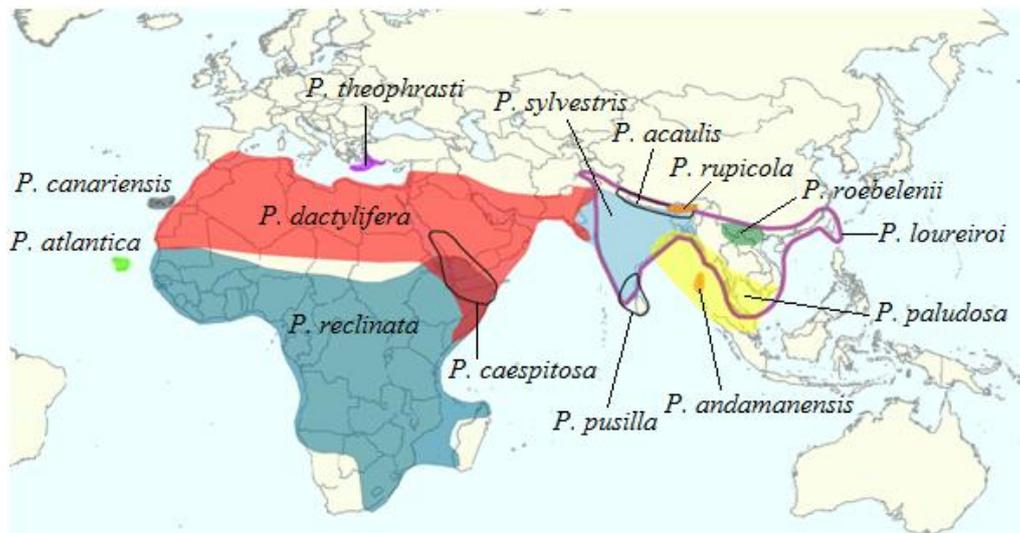


Figure I-6. Carte de répartition du genre *Phoenix* (Muriel Gros-Balthazard, 2013)

I-5- Les dattes

I-5-1- Présentation des dattes

Le fruit du Palmier Dattier (figures 7 et 8) est une baie appelée « Datte, Tmar en arabe », contenant une seule graine « noyau » après fécondation, l'ovule évolue pour donner un fruit de couleur verte (taille d'un pois puis d'un fruit de raisin jusqu'à la taille normale de la datte). Elle est de forme généralement allongée, oblongue ou arrondie, ovoïde, parfois sphérique. Cas de la variété TANTEBOUCHET ou TAKERMEST, elle est composée d'un noyau, ayant une consistance dure, entouré de chair (Djouab, 2007). La partie comestible de la datte, dite chair ou pulpe, est constituée de trois enveloppes (péricarpe, mésocarpe et endocarpe) (Espiard, 2002). Les dimensions de la datte sont très variables, de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 grammes selon les variétés. Leur couleur va du blanc jaunâtre au noir en passant par les couleurs ambre, rouges, brunes plus ou moins foncées (Djerbi, 1994).

La partie comestible de la datte, dite chair ou pulpe, est constituée de:

- un péricarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau;
- un mésocarpe généralement charnu, de consistance variable selon sa teneur en sucre et est de couleur soutenue;
- un endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane parcheminée entourant le noyau (Espiard, 2002).

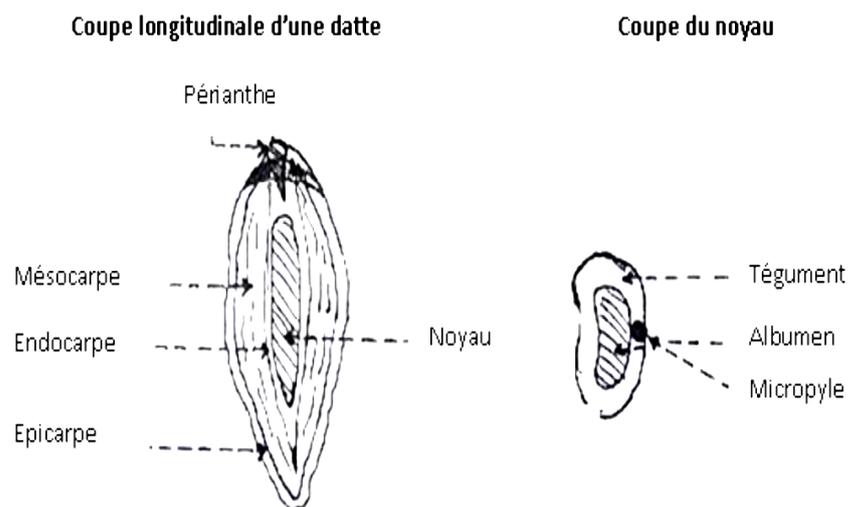


Figure I-7. Schéma d'une datte et son noyau (Belguedj, 2001)



Figure I-8. Photos des dattes entières et en coupes

I-5-2- Cycle de développement des dattes

La datte passe par différentes stades d'évolution (Sawaya et al., 1983; Benchabane, 1996; Al-Shahib et Marshall, 2002). Le tableau suivant regroupe les stades d'évolution de la datte et les appellations utilisées en Afrique du Nord et en Irak.

Tableau I-3: Stades d'évolution de la datte (Djerbi, 1994)

pays	Stades de développement de la datte				
	I	II	III	IV	V
Irak	hababouk	kimiri	khalal	routab	tmar
Algérie	loulou	khalal	besr	martouba	tmar
Libye	-	gameg	besr	routab	tmar
Mauritanie	zei	tafegena	enguei	ballh	tmar

•**Hababouk (loulou) :** Ce stade commence juste après la fécondation et dure environ cinq semaines. A ce stade le fruit est entièrement recouvert par le périanthe et se caractérise par une croissance lente.

•**Kimiri (khalal) :** Il se caractérise par la couleur verte, un grossissement rapide du fruit, une augmentation de la concentration de tanins et en amidon, une légère augmentation de sucres totaux de la matière sèche. Ce stade dure neuf à quatorze semaines.

•**Khalal (beser) :** 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. Cette phase est marquée par une augmentation rapide de la teneur en sucres totaux, de l'acidité active, par contre la teneur en eau diminue. Elle dure trois à cinq semaines.

•**Routab :** La couleur jaune ou rouge du stade khalal passe au foncée ou au noir. Certaines variétés deviennent verdâtres comme la *khadraoui* (Irak) et la *Bouskri* (Maroc). Ce stade se caractérise par:

- La perte de la turgescence du fruit suite à la diminution de la teneur en eau.
- L'insolubilisation des tanins qui se fixent sous l'épicarpe du fruit.
- L'augmentation de la teneur des monosaccharides.

Ce stade dure de deux à quatre semaines.

•**Tamr :** C'est le stade final de maturation de la datte. La consistance du fruit à ce stade est comparable à celle du raisin et des prunes. Dans la plupart des variétés, la peau adhère à la pulpe et se ride à mesure que celle-ci diminue de volume. Toutefois, dans certains cas, la peau très fragile craque lorsque la pulpe se réduit et laisse ainsi exposés des fragments de chair poisseuse qui attirent les insectes ou agglutinent des grains de sable. La couleur de l'épiderme et de la pulpe fonce progressivement.

I-5-3- Les variétés de dattes

Les variétés de dattes sont très nombreuses, seulement quelques unes ont une importance commerciale. Elles se différencient par la saveur, la consistance, la forme, la couleur, le poids et les dimensions (**Djerbi, 1994 ; Buelguedj, 2001**).

En Algérie, il existe plus de 940 cultivars de dattes (**Hannachi et al., 1998**). Les principales variétés cultivées sont:

I-5-3-1- La Deglet-Nour : Variété commerciale par excellence. C'est une datte demi-molle, considérée comme étant la meilleure variété de datte du fait de son aspect, son onctuosité et sa saveur. A maturité la datte est d'une couleur brune ambrée avec un

épicarpe lisse légèrement plissé et brillant, le mésocarpe présente une texture fine légèrement fibreuse.

I-5-3-2- Les variétés communes : Ces variétés sont de moindre importance économique par rapport à *Deglet-Nour*. Les variétés les plus répandues sont : Ghars, Degla-Beïda et Mech-Degla (**Dakhia, 2013**).

I-5-4- Caractéristiques morphologiques des dattes

La datte est constituée d'une partie charnue, la chaire et d'un noyau. Les dattes des cultivars présentent des caractéristiques morphologiques différentes. Elle varie selon la couleur, la forme et le goût. Une datte est dite de qualité physique acceptable, quand elle présente (AÇOUREN, 2001):

- Aucune anomalie et non endommagée.
- Un poids de la datte supérieur ou égal à 6g.
- Un poids en pulpe supérieur ou égal à 5g.
- Une longueur supérieure ou égale 3,5cm.

I-5-5- Caractéristiques biochimiques des dattes

La datte est considérée depuis longtemps comme un aliment de base des populations sahariennes, mais aussi un produit diététique dont la composition biochimique détermine la qualité des dattes, et elle présente une bonne valeur alimentaire (riche en sucres et en sels minéraux). Le tableau suivant regroupe la composition biochimique de datte variété Deglet Nour (Abbès, 2011)

Tableau I-4: Composition biochimique de datte variété Deglet Nour (Abbès, 2011)

Composant	
Total des solides solubles (° Brix)	75.4
L'humidité (en g/100 g de poids frais)	18.81
Sucres solubles (en g/100 g de poids sec)	77.55
Les sucres réducteurs(en g/100 g de poids sec)	23.17
Saccharose (en g/100 g de poids sec)	54.04
Polysaccharide(en g/100 g de poids sec)	17.35
Cendre (en g/100 g de poids sec)	2.291
Potassium (en mg/100 g de poids sec)	782.92

Magnésium (en mg/100 g de poids sec)	75.28
Sodium (en mg/100 g de poids sec)	5.98
Calcium (en mg/100 g de poids sec)	136.06
Zinc (en mg/100 g de poids sec)	0.478
Le phosphore (en mg/100 g de poids sec)	75.5
Protéine (en g/100 g de poids sec)	3.12
Graisses (en g/100 g de poids sec)	0.687
Las phénoliques (mg de l'acide gallique par 100 g de poids sec)	253.10

I-5-6- Classification des dattes

Les dattes peuvent être classés selon:

I-5-6-1- La teneur en eau

L'humidité est considérée comme un facteur important pour déterminer la qualité des dattes (Estanove, 1990). Les dattes sont classées en trois catégories, d'après leur consistance. Celle-ci dépend de la teneur en eau et en sucres. D'après **Espiard (2002)**, la consistance de la datte est variable. Selon le taux d'humidité, les dattes sont réparties en trois catégories:

Les dattes molles : taux d'humidité supérieur ou égal à 30%, tel que Ghars, Hamraia, Litima.....etc.

Les dattes demi-molles : de 20 à 30% d'humidité, elles occupent une position Intermédiaire à l'exception de la *Deglet-Nour*, datte à base de saccharose par excellence (**Cook et Furr,1952**).

Les dattes sèches : dures, avec moins de 20% d'humidité, riche en saccharose. Elles ont une texture farineuse telle que Meche-Degla, Degla Beida.....etc

I-5-6-2- Classification selon le rapport sucres/ eau

En 1961, Munier définit un indice « r » de qualité ou de dureté : il est égal au rapport de la teneur en sucres sur la teneur en eau des dattes.

$$r = \text{teneur en sucres} / \text{teneur en eau}$$

permet de classer les dattes (MUNIER, 1973) :

- Si le rapport « r » est supérieur à 3.5, la datte est considéré sèche.
- Si le rapport « r » est inférieur à 2, la datte est molle.

- Si le rapport « r » est entre 2 – 3.5, la datte est demi molle.

I-5-6-3- Classification des dattes selon leur composition

Selon Pierre Estanove (1990), une étude prospective réalisée par Toutain et Ferry sur dix Pays phoenicicoles ont permis de tirer les conclusions suivantes:

Tableau I-5: Classement des dattes selon leurs compositions

Classe 1	Classe 3
Saccharose = 40 à 65%	Saccharose = 0 à 10 %
Glucose + fructose = 20 à 40%	Glucose + fructose = 65 à 90 %
Eau = 15 à 25%	Eau = % 10 à 35
Classe 2	Classe 4
Saccharose = 10 à 35 %	Saccharose = 0%
Glucose + fructose = 40 à 75%	Glucose + fructose = 35 à 75 %
Eau = 10 à 30%	Eau = % 35 à 65

Selon Dawson V H W (1963), a distingué, en 1911 deux catégories de dattes : celles à saccharose (sucre non réducteurs) et celles à sucres réducteurs. Cette distinction a de l'importance pour le conditionneur car le traitement requis varie selon le cas. D'autres études ont permis de fixer d'autres critères de classification des dattes.

I-5-7- Vérification et contrôle de qualité des dattes

Meligi et Sourial (1982) et Mohamed et al. (1983), suites à des études de caractérisation des cultivars irakiens ont proposé des critères d'évaluation qualitative des dattes:

Tableau I-6: Critères d'évaluation qualitative des dattes

Longueur du fruit	Réduite	<3.5cm	Mauvais caractère
	Moyenne	3.5-4cm	Acceptable
	Longueur	>4cm	Bon caractère
Poids du fruit	Faible	<6g	Mauvais caractère
	Moyen	6-8g	Acceptable
	Elevé	>8g	Bon caractère
Poids de la pulpe	Faible	<5g	Mauvais caractère
	Moyen	5-7g	Acceptable
	Elevé	>7g	Bon caractère
Diamètre du fruit	Faible	<1.5cm	Mauvais caractère
	Moyen	1.5-1.8cm	Acceptable
	Elevé	>1.8cm	Bon caractère
Humidité	Très faible	<10%	Mauvais caractère
	Moyenne	10-24%	Bon caractère
	Elevé	25-30%	Acceptable
	Très élevée	>30%	Mauvais caractère
pH	pH acide	<5.4	Mauvais caractère
	Compris entre	5.4-5.8	Acceptable
	Supérieur	>5.8	Bon caractère
Sucres totaux	Faibles	<50%	Mauvais caractère
	Moyennes	60-70%	Acceptable
	Elevés	>70%	Bon caractère

I-6- Production des dattes

I-6-1- Production des dattes dans le monde (FAO, 2010)

La production mondiale de dattes varie autour de 7 millions de tonnes par année, a plus que doublé depuis les années 1980. Cela place la datte au 5^{ème} rang des fruits les plus produits dans les régions arides et semi-arides, après les agrumes, la mangue, la banane et l'ananas. Elle est bonne première parmi les fruits séchés, avant les raisins, les figues et les pruneaux. On en produit dans plus de 30 pays, les plus importants étant l'Égypte, l'Iran, l'Arabie saoudite, les Émirates arabes, l'Irak, le Pakistan et l'Algérie (tableau 6). (Statistiques mondiales en temps réel, FAO, 2010). Le tableau 7 montre la production mondiale de dattes au cours de la période allant de 2007 à 2010.

Tableau I-7: Répartition de la production mondiale (FAOSTAT, 2011)

Production en tonnes.		
Egypte	1373570	18%
Arabie Saoudite	1122820	15%
Iran	1016610	14%
Emirates arabes unis	900000	12%
Algérie	690000	9%
Irak	619182	8%
Pakistan	557279	7%
Oman	268011	4%
Tunisie	180000	2%
Libye	165948	2%
Chine	150000	2%
Maroc	119473	2%
Autres pays	342091	5%
Total	7504984	100%

Tableau I-8 : Production mondiale de dattes (2007 à 2010) (FAO, 2010)

Production de dattes en tonne (t)				
Années / Pays	2007	2008	2009	2010
Monde	7203043.00	7066768.00	7.214.008.00	7.626.447.60
Afrique	2591404.00	2655714.00	2791816.00	3012389.00
Algérie	526921.00	600696.00	600696.00	710000.00
Bénin	1150.00	1200.00	1330.00	1,200.00
Cameroun	422.00	444.00	447.00	450.00
Tchad	18,300.00	18,658.00	18,780.00	19,400.00
Djibouti	80.00	77.00	78.00	70.00
Egypte	1.313.700.00	1.326.130.00	1.270.480.00	1.352.950.00
Kenya	938.00	1,153.00	1,108.00	1,100.00
Libye	150,000.00	150,000.00	160,101.00	161,000.00
Mauritanie	20,000.00	19,200.00	20,000.00	19,900.00
Maroc	74,300.00	72,700.00	84,580.00	119,360.00
Niger	13,000.00	16,589.00	37,794.00	39,684.00
Somalie	11,888.00	11,870.00	11,866.00	10,600.00
Soudan	336,000.00	339,300.00	422,000.00	431,000.00
Tunisie	124,000.00	145,000.00	162,000.00	145,000.00
Asie	4580837.00	4375100.00	4382501.00	4567126.60
Bahreïn	13,293.00	13,180.00	12,887.00	14,000.00
Chine	130,000.00	135,000.00	140,000.00	147,600.00
Iran	1.307.880.00	1.023.130.00	1.023.130.00	1.023.130.00
Irak	430,861.00	476,318.00	507,002.00	566,829.00
Palestine occupée	17,377.00	18,078.00	23,231.00	21,600.60
Jordanie	6,532.00	7,437.00	9,681.00	11,241.00
Koweït	16,000.00	16,000.00	16,000.00	16,700.00
Palestine	3,030.00	3,997.00	4,266.00	4,500.00
Qatar	21,564.00	21,560.00	21,600.00	23,500.00
Arabie Saoudite	982,546.00	986,409.00	991,660.00	1.078.300.00
Syrie	3,450.00	3,485.00	1,803.00	2,000.00
Turquie	23,713.00	24,302.00	25,281.00	26,277.00
E.A.U	757,600.00	757,600.00	759,000.00	775,000.00
Yémen	53,596.00	55,204.00	56,760.00	57,849.00
Europe	13,000.00	13,481.00	14,500.00	16,121.00
Espagne	5,000.00	4,481.00	5,000.00	5,200.00
Amérique	17,802.00	22,473.00	25,191.00	30,811.00
Etats-Unis	14,787.00	18,960.00	21,500.00	26,308.00
Mexique	2,788.00	3,067.00	3,336.00	4,150.00
Pérou	207.00	426.00	335.00	337.00

I-6-2- Production des dattes en Algérie (SIDAB, 2015)

En Algérie, selon les statistiques récentes disponibles, occupe une superficie évaluée à 164 000 hectares pour un nombre de palmiers estimé à plus de 18 millions d'unités et une production de dattes, toutes variétés confondues, de près de 790.000 tonnes par an. Les régions phoenicicoles se situent généralement au sud de l'atlas saharien et couvrent 17 wilayas (en réalité 16 wilayas seulement car la wilaya de M'sila a perdu son potentiel phoenicicole). La wilaya de Biskra est la première région phoenicicole avec 25,6% de la superficie totale, 23,1 % du nombre total de palmiers dattiers, 37% de la production nationale de dattes. Elle est suivie par la wilaya d'El Oued avec respectivement 22%, 20,5% et 25,6%. Ces deux wilayas totalisent à elles seules 62,6% de la production nationale des dattes.

La production par variété de dattes est variable selon les années. Elles se situent à près de :

- 300 000 tonnes pour deglet nour
- 110 000 tonnes pour ghers et analogues
- 220 000 tonnes pour degla beïda et analogues

En termes d'exportation, le volume de dattes exportées est variable selon les années et se situe aux environs de 12 000 tonnes par an. La datte deglet nour est exportée vers plus de 35 pays.

Au plan mondial, l'Algérie se classe à la 5^{ème} position en terme de production derrière l'Egypte (1^{er} producteur mondial), l'Iran, l'Arabie Saoudite et les EAU. L'Algérie produit environ 10% de la production mondiale des dattes (FAOSTAT, 2011).

Tableau I-9: Production nationale par wilaya (SIDAB, 2015)

Wilaya	Superficie (hectare)	Nombre de palmiers dattiers	Production en quintaux
Biskra	42 000	4 213 000	2 917 180
El Oued	36 200	3 730 000	2 022 870
Adrar	27 700	3 705 000	865 080

Ouargla	21 400	2 507 000	1 131 300
Béchar	13 900	1 591 000	239 240
Ghardaïa	10 500	1 214 000	470 000
Tamanrasset	7 000	689 000	108 590
Illizi	1 200	126 000	15 580
El Bayadh	920	78 000	6 810
Tebessa	810	61 000	18 000
Khenchela	750	122 000	58 900
Naâma	500	51 000	8 800
Tindouf	430	45 000	6 080
Laghouat	310	33 000	10 860
Batna	190	29 000	12 790
Djelfa	100	9 000	1 500
Total	163 910	18 203 000	7 893 580

I-7- Transformation de dattes

Dans le domaine de la transformation, les opérations technologiques sont très diverses et pratiquement indénombrables.

I-7- 1- La pâte de dattes

Les dattes molles ou ramollies par humidification donnent lieu à la production de pâte de dattes. La fabrication est faite mécaniquement. Lorsque le produit est trop humide, il est possible d'ajouter la pulpe de noix de coco ou la farine d'amande douce. La pâte de datte est utilisée en biscuiterie et en pâtisserie (**Espiard, 2002**).

I-7- 2- La farine de dattes

Elle est préparée à partir de dattes sèches ou susceptibles de le devenir après dessiccation. Riche en sucre, cette farine est utilisée en biscuiterie, pâtisserie, aliments pour enfants (**Aït-Ameur, 2001**) et yaourt (**Benamara et al., 2004, Amellal, 2008**).

I-7- 3- Les Sirops, les crèmes et les confitures de dattes

Ces produits sont également fabriqués à base de dattes saines car il est important d'éviter tout arrière goût de fermentation. Selon **Espiard (2002)**, cette gamme de produit est basée sur l'extraction des sucres par diffusion de ces derniers et des autres composants solubles de la datte. Par mélange et cuisson de pâte ou de morceaux de dattes et de sirop, nous pouvons obtenir des crèmes ou des confitures d'excellente qualité (**El-Nagga, 2012, Estanove, 1990**).

I-8- La mise en valeur des déchets

Les dattes abîmées et de faible valeur marchande peuvent être utilisées en raison de leur forte teneur en sucre pour la production de:

- Les alcools

Les dattes constituent un substrat de choix pour la production de l'alcool éthylique. Selon (**Touzi, 1997, Kaidi, 2001, Ould El Hadj, 2012, Al-Abid, 2006**).

- Le vinaigre

Les dattes peuvent être utilisées pour l'élaboration de nombreux produits alimentaires parmi lesquels le vinaigre (**Ould El Hadj et al., 2001**). Ce dernier peut produire par culture de la levure *Saccharomyces uvarum* sur un extrait de dattes (**Chandrasekaran, 2012, Al-Abid, 2006**).

- Les aliments de bétail

Les rebuts et les noyaux de dattes constituent des sous produits intéressants pour l'alimentation du bétail. La farine des noyaux de dattes peut être incorporée avec un taux de 10 % dans l'alimentation des poulets sans influencer négativement leurs performances (**Gualtieri et Rappaccini, 1994**).

- Autres produits

La datte constitue un substrat de choix pour la production de nombreux autres produits tels que : Acide Citrique (**Siboukeur, 2001**), le vin (**Espiard, 2002**), le jus de dattes (**Siboukeur, 1997**), levures (**Acourène, 2001**). L'organigramme figure I-9 résume les techniques de transformation et de valorisation des dattes:

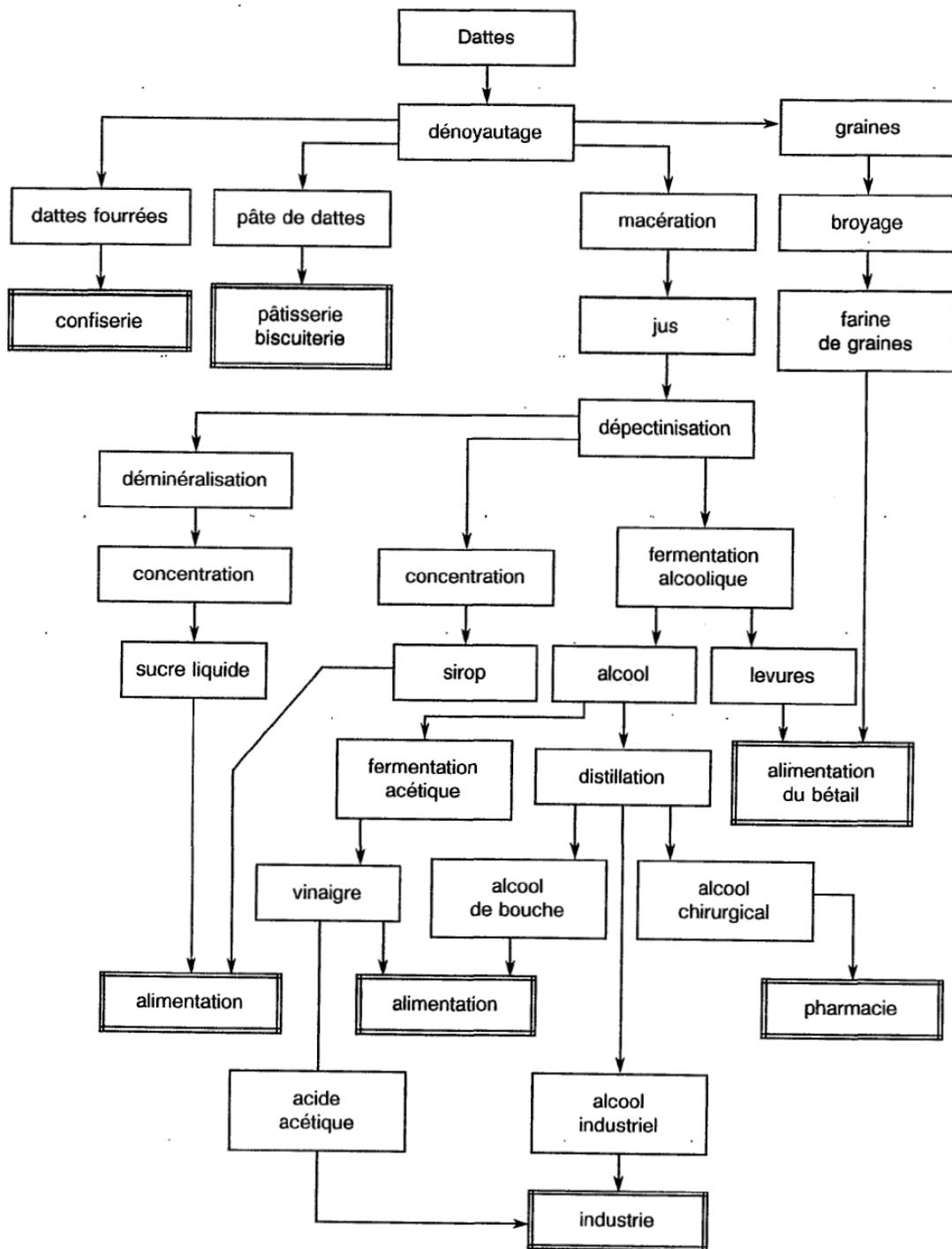


Figure I-9. Techniques de transformation et de valorisation des dattes (Estanove, 1990)

Chapitre II
Biocarburants et
le bioéthanol

II- Biocarburants et le bioéthanol

II-1-Introduction

Dans notre monde, et avec le développement continu de l'industrie et des transports, la demande en énergie est en accroissement jour après jour. Le pétrole, voire tous les combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole), fournissent actuellement la quasi-totalité de cette énergie. Or ces ressources ne sont pas renouvelables et leur consommation au rythme actuel mènera à la disparition des réserves dans quelques dizaines d'années. En plus, la combustion des dérivés pétroliers libère, sous forme de CO₂, le carbone fossile emprisonné depuis des millions d'années dans le sous-sol (qui est sorti depuis longtemps du cycle de carbone), ce qui contribue à la pollution de l'air et l'augmentation du taux des gaz à effet de serre. De même, avec le souci du réchauffement climatique, les gouvernements se mettent en alerte et cherchent à trouver le plus tôt possible une solution à ce problème et encouragent la diminution de l'utilisation des carburants fossiles. Le transport, étant une source de pollution importante et un consommateur majeur des ressources pétrolières, doit subir un changement rapide et immédiat. Alors la question suivante se pose: Peut-on trouver un carburant aussi efficace et plus écologique que les combustibles fossiles classiques, et qui peut les remplacer au futur? Un alternatif existe actuellement et est déjà au marché en Europe, dans le continent Américain et même en Asie: les biocarburants. Dans les dernières années, l'utilisation de ces carburants dans le secteur des transports est devenue de plus en plus soutenue par les politiques, vu leur effet moins nuisible à l'environnement. Mais, sans doute, les biocarburants ont aussi leurs contraintes.

Donc les biocarburants présentent une alternative aux carburants traditionnels. Mais ils ne sont qu'une solution parmi d'autres au problème des émissions de gaz à effet de serre. Les biocarburants sont des carburants produits principalement à partir de matières premières végétales. Le préfixe 'bio' n'est pas labellisé comme l'agriculture biologique. On préférera donc parler d'agrocaburants plutôt que de biocarburants car ils ne sont pas forcément produits dans des conditions respectueuses de l'environnement. Ils soulèvent également des questions éthiques, sociales et économiques par rapport à l'utilisation de produits alimentaires issus de pays en voie de développement.

Le Parlement européen donne la définition suivante aux biocarburants: un combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de biomasse. Dans l'article 2 de la directive 2003/30/CE du Parlement européen, alinéa 2, la directive énonce une liste non limitative de 10 produits qui peuvent être considérés comme des biocarburants (Pasty, 2004):

Bioalcool : Bioéthanol, Biométhanol ;

Biodiesel: ester méthylique de qualité diesel produit à partir d'une huile végétale ou animale;

Biogaz: gaz combustible produit à partir de la biomasse et/ou de la fraction biodégradable des déchets, purifié jusqu'à obtention d'une qualité équivalente à celle du gaz naturel;

Biodiméthyléther;

Bio-ETBE (éthyl-tertio-butyl-éther), le ETBE produit à partir de bioéthanol. Le pourcentage en volume de biocarburant dans le bio-ETBE est de 47 %;

Bio-MTBE (méthyl-tertio-butyl-éther): un carburant produit à partir de biométhanol. Le pourcentage en volume de biocarburant dans le bio-MTBE est de 36 %;

Biocarburants synthétiques: hydrocarbures synthétiques ou mélanges d'hydrocarbures synthétiques produits à partir de la biomasse;

Biohydrogène: hydrogène produit à partir de la biomasse et/ou de la fraction biodégradable des déchets;

Huile végétale pure: huile produite à partir de plantes oléagineuses par pression, extraction ou procédés comparables, brute ou raffinée, mais sans modification chimique, dans les cas où son utilisation est compatible avec le type de moteur concerné et les exigences correspondantes en matière d'émissions.

II-2-Première et deuxième génération

On distingue les biocarburants de première et de seconde génération. Plusieurs définitions complémentaires coexistent. Une des plus importantes distingue les carburants issus de produits alimentaires, des carburants issus de source ligno-cellulosique (bois, feuilles, paille, etc.) ou de déchets. Ainsi la première génération de biocarburants repose sur l'utilisation des organes de réserve des cultures :

- les graines des céréales (blé, maïs) ou des oléagineux (colza, tournesol, jatropha),
- les racines de la betterave ou la canne à sucre,
- les fruits du palmier à huile.

Ces organes de réserves des plantes stockent le sucre (betterave et canne), l'amidon (blé, maïs), ou l'huile (colza, tournesol, palme, jatropha). Ces organes de réserves étant également utilisés pour l'alimentation humaine, la production de biocarburants se fait en concurrence de la production alimentaire.

Les biocarburants de seconde génération n'utilisent plus les organes de réserve des plantes mais les plantes entières ou des déchets de végétaux. Ce qui est valorisé est la lignine et la cellulose des plantes qui sont contenues dans toutes les cellules végétales. Il est alors possible de valoriser

les pailles, les tiges, les feuilles, les déchets verts (taille des arbres, etc.) ou même des plantes dédiées, à croissance rapide.

Pour cette raison, certains considèrent que la production de biocarburants de deuxième génération nuit moins aux productions à visée alimentaire.

Une autre définition repose sur les moyens utilisés pour produire le carburant avec d'une part les biocarburants produits à partir de processus techniques simples et d'autre part ceux produits à partir de techniques avancées.

La production des biocarburants peut présenter de sérieux inconvénients: une perte de la biodiversité, une augmentation de la consommation d'eau ainsi qu'une consommation importante d'énergie, d'engrais et de pesticides dans les champs. Les bilans écologiques peuvent être très négatifs pour les biocarburants de première génération. Le développement de procédés de fabrication de biocarburants à base de bois, de résidus de récoltes, de plantes énergétiques et de papier (deuxième génération) et même d'algues (troisième génération) n'en est à l'heure actuelle qu'à ses débuts. Il est indispensable d'activer sans tarder non seulement les avancées techniques, mais également l'analyse des questions sociales, éthiques, juridiques et écologiques afin d'éviter les effets négatifs dans le futur (Richard, 2009).

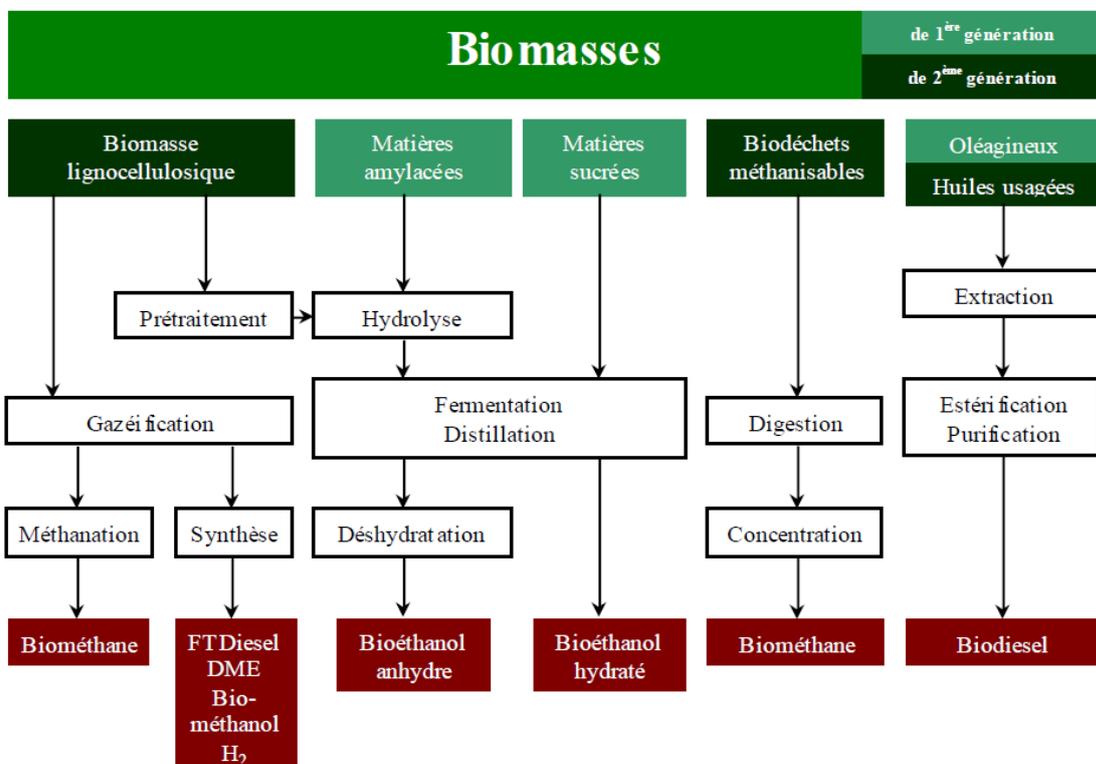


figure II-1. Diagramme de synthèse des biocarburants de 1^{ère} et de 2^{ème} génération

II-3- Production et consommation des biocarburants

Les États-Unis sont en tête des pays producteurs de bioéthanol, avec des capacités de production supérieures à 51 milliards de litres. Le Brésil est classé deuxième avec près de 27 milliards de litres. Ces deux pays réunis représentent 82% des capacités de production d'éthanol en fonctionnement dans le monde. La Chine, troisième, arrive loin derrière avec des capacités supérieures à 2,7 milliards de litres. La France occupe la quatrième place tandis que le Canada clôt le classement des cinq premiers. Pour le biodiesel, Les États-Unis dominent également le classement mondial réalisé, avec des capacités de production de 5,9 milliards de litres. Ils sont talonnés par l'Allemagne. Viennent ensuite l'Espagne, à 5 milliards de litres, puis l'Indonésie (Global Biofuels Center,2010). Ainsi, seuls l'éthanol et le biodiesel de première génération (G1) sont actuellement commercialisés. (Bonnet, 2009).

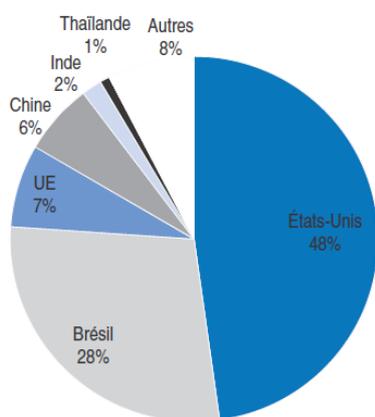


Figure II-2. Répartition des principaux pays producteurs de bioéthanol
Source : Secrétariats de l'OCDE et de la FAO (2013).

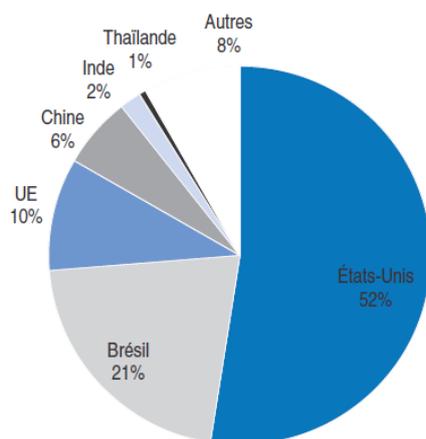


Figure II-3. Les principaux consommateurs de bioéthanol
Source : Secrétariats de l'OCDE et de la FAO (2013).

En 2011, la consommation mondiale de biocarburants a atteint 58,8 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep), un niveau de production qui n'est encore qu'une « goutte » dans le marché. 73% de cette production sont de l'éthanol produit à partir de la fermentation du sucre et pour les motorisations essence et 27% du biodiesel à partir d'huiles végétales pour les motorisations diesel. En 2010, les biocarburants ne représentaient que 3 % de la consommation de carburant dans le monde. En 2008, les biocarburants ont représenté 1,8 % de tous les carburants consommés dans le monde par les transports. (Source Rapport de l'UNEP sur l'évaluation des biocarburants, 2009, page XI.)

Les Etats-Unis sont de loin le premier producteur mondial de biocarburants.

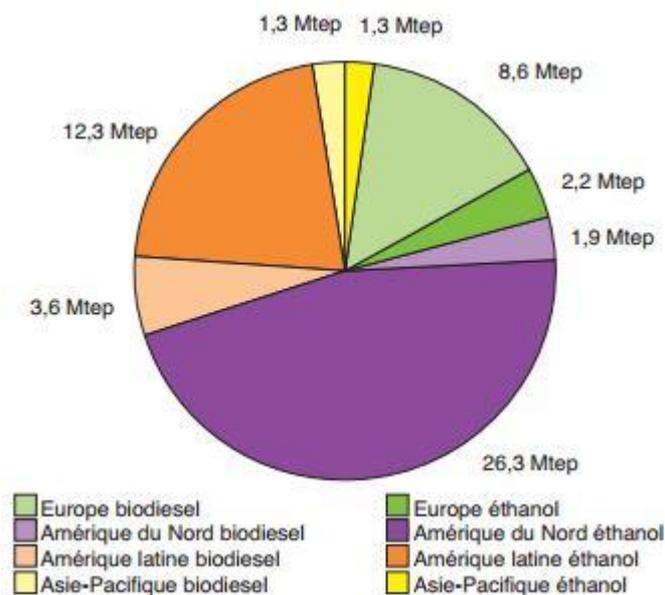


Figure II-4. Répartition de la production de biodiesel et d'éthanol par grandes zones en 2010(Hanne, 2012)

II-3-1- La production de bioéthanol

La production de bioéthanol est en constante augmentation sur la période, de 72 milliards de litres en 2007 à 106 milliards de litres environ en 2011, soit une augmentation de 47% en 5 ans. La production de bioéthanol dans l'UE 27 était de 4 milliards de litres en 2007, soit 6% de la production mondiale, et était de près de 7 milliards de litres en 2011, soit toujours environ 6% de la production mondiale. La production des Etats-Unis est passée sur la même période de 42% à 48% de la production mondiale (30 milliards de litres à 51 milliards de litres). Celle du Brésil a

chuté de 31% à 27% de la production mondiale sur la période, de 22 milliards de litres à près de 29 milliards de litres.

Tableau II-1: Evolution de la production de bioéthanol dans le monde de 2007 à 2011 en millions de litres Source : OCDE dans (Hanne, 2012)

	2007	2008	2009	2010	2011
Canada	921,34	1373,11	1467,08	1607,92	1771,13
UE27	4068,41	5021,00	5700,25	6230,31	6798,42
Etats-Unis	29944,19	35746,35	44354,32	48469,73	51142,03
Argentine	227,53	210,31	321,08	377,51	388,32
Brésil	22327,50	26486,70	25066,44	26720,10	28805,76
Monde	72059,10	83639,95	91909,02	99423,16	105607,97

II-3-2- La consommation mondiale de bioéthanol

La consommation mondiale de bioéthanol a augmenté de 71 milliards de litres en 2007, soit un peu moins que la production mondiale de la même année, à 10,6 milliards de litres en 2011 (Tableau II-2), soit un peu plus que la production mondiale de la même année, des stocks de réserve ayant pu être mobilisés.

La consommation de l'UE27 en bioéthanol est passée de 7,1% de la consommation mondiale en 2007 à 8,7% de la consommation mondiale en 2011. Cette consommation équivalait à 123% de la production de l'UE 27 en bioéthanol en 2007, elle équivaut en 2011 à 137%, soit une dégradation de la balance énergétique, le déficit vis-à-vis de l'extérieur pour le bioéthanol étant passé de 23% à 37%. Les Etats-Unis principaux consommateurs de bioéthanol (44,5% à 49,5% de la consommation mondiale sur la personne) sont également légèrement déficitaires vis-à-vis de l'extérieur (103% de la production nationale est consommée).

Les pays exportateurs potentiels de bioéthanol sont le Brésil, le 2^{ème} principal producteur et consommateur au monde, et l'Argentine.

Tableau II-2: Evolution de la consommation de bioéthanol dans le monde de 2007 à 2011 en millions de litres. Source : OCDE dans (Hanne, 2012)

	2007	2008	2009	2010	2011
Canada	1107,57	1443,41	1429,20	1718,50	2281,94
UE27	5011,00	6698,00	7080,36	7779,98	9310,85
Etats-Unis	31620,65	39196,21	46523,22	48269,73	52810,92
Argentine	142,00	130,00	224,16	366,93	367,97
Brésil	18758,96	21312,84	21828,96	24625,59	25119,33
Monde	70980,04	83377,51	92932,01	99152,15	106628,93

Tableau II-3: Evolution des parts de la consommation nationale de bioéthanol dans la consommation mondiale de 2007 à 2011 en %. Source : OCDE dans (Hanne, 2012)

	2007	2008	2009	2010	2011
Canada	1,6%	1,7%	1,5%	1,7%	2,1%
UE27	7,1%	8,0%	7,6%	7,8%	8,7%
Etats-Unis	44,5%	47,0%	50,1%	48,7%	49,5%
Argentine	0,2%	0,2%	0,2%	0,4%	0,3%
Brésil	26,4%	25,6%	23,5%	24,8%	23,6%

II-4- Le Bioéthanol

II-4-1- Définition

Le bioéthanol ni que l'éthanol ou l'alcool éthylique obtenu à partir de la biomasse. L'éthanol est de formule brute C_2H_5OH (figure II-1) et usuellement désigné par l'abréviation EtOH, l'éthanol est un produit à usages multiples (pharmaceutique, parfumerie, alimentaire, combustible, carburant, etc.). Il est produit chimiquement par hydratation catalytique directe de l'éthylène ($CH_2=CH_2$) et biologiquement par fermentation alcoolique. Le bioéthanol a les mêmes caractéristiques que l'éthanol tableau II-4.

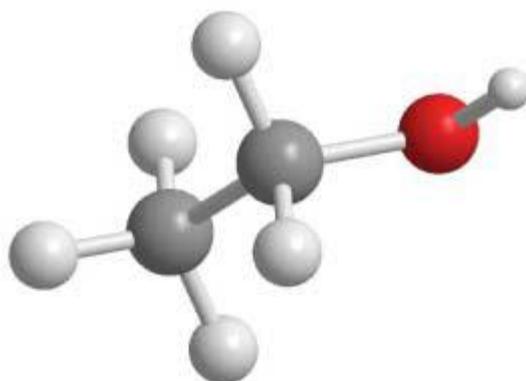


Figure II-5. La molécule de l'éthanol

Tableau II-4: Caractéristiques physico-chimiques de l'éthanol comme combustible liquide (Walker, 2011).

Paramètre	Caractéristique propriétés
Formule moléculaire	C ₂ H ₅ OH
Masse moléculaire	46.07 g/mol
Apparence	liquide incolore
Solubilité dans l'eau	∞ (miscible)
Densité	0.789 kg/L
Température d'ébullition	78.5°C (173°F)
Point de congélation	-117°C
Point d'éclair	12.8°C
Température d'inflammation	425°C
Limites d'explosion	Moins de 3.5% (v/v) plus de 19% (v/v)
Pression de vapeur à 38 ° C	50 mm Hg
Pouvoir calorifique supérieur (à 20 ° C)	29,800 kJ/kg
Pouvoir calorifique inférieur (à 20 ° C)	21,090 kJ/kg
Chaleur spécifique	Kcal/Kg 60°C
Acidité (pKa)	15.9
Viscosité	1.200 mPa·s (20°C)
Indice de réfraction (nD)	1.36 (25°C)
Indice d'octane	99

II-4-2- Matières premières et technologies de production du bioéthanol

Le bioéthanol est obtenu par la fermentation des sucres fermentescibles contenus dans la biomasse en présence d'une levure. Le bioéthanol peut être produit à partir:

- de substrats riches en sucrose:

canne à sucre (Rodri'guez, 2010, Palacios-Bereche et al., 2014, Belboom,2012);

betterave sucrière (Salazar-Ordo'n'ez et al., 2013, Belboom,2012);

les dattes (Kaidi, 2001; OULD EL HADJ, 2012; Boulal et al., 2010).

- de substrats riches en amidon:

maïs (Gu, 2014, Wang, 2015, Rahayu, 2014);

orge et blé (Novak, 2004; GLEIZES, 2013; Ruiz et al., 2012);

pomme de terre (Gnansounou, 2004).

- 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):

Cellulose (Hong-Joo, 2013; Esra et Sukan, 2014);

Les résidus agricoles (Harsono, 2015; Alma, 2015; Kamdem Irénée, 2011);

Bois (Balat, 2011; Nigam, 2001; Lawford, 1993);

-Les algues et les micro-algues (Sekar, 2015; Nitin,2015; Peyman Fasahati,2015; Martín, 2014; Inn Shi Tan, 2015);

Le bioéthanol est donc, peut être produit à partir de n'importe quelle biomasse contenant des quantités significatives d'amidon ou de sucres. Et on peut le produit à partir d'autres produits comme: le lai et leur dérivés (Minakshi, 2012, Nitin, 2015, Pedro, 2010), les huiles végétales (Sharifah, 2015), les déchets solides (Sujit, 2009, Mazaheri, 2012), le citron (Boluda-Aguilar, 2013)...

Le tableau suivant montre le rendement en bioéthanol des principaux matières premières utilisées:

Tableau II-5: Rendement en bioéthanol de quelques produits

Matière première	Rendement en bioéthanol (litres/tonnes)	Références
Cornstalks	225.74	AYHAN, 2005
Betterave à sucre	100	INRA, Teagasc Crops Research Centre. dans Enguídanos, 2002
Blé	350	
Paille	183	
Maïs	350	Novak, 2004
Canne à sucre	83	Ballerini, 2006
Sorgho sucrier	80	
Orge	320	
Topinambour	90	Schaller, 2003
Pomme de terre	120	
Herbe	150	
Mélasse	300	
Petit-lait	23	

II-4-3- Technologie de la production du bioéthanol à partir de biomasse sucrée ou amylacée

Actuellement, il y a une légère prédominance de la production à base de matériaux amylacés (53% du total) (BNDES et CGEE, 2008), comme le maïs, le blé et d'autres céréales et grains. Dans ces cas, la technologie de conversion commence généralement par la séparation, le nettoyage et la mouture du grain. La mouture peut être humide, quand le grain est imbibé et fractionné avant la conversion de l'amidon en sucre (voie humide), ou sèche, quand cela se fait durant le processus de conversion (voie sèche). Dans les deux cas, l'amidon est converti typiquement en sucres au moyen d'un processus enzymatique à haute température. Pour les matériaux sucrés on commence par l'extraction des sucres fermentescibles en principe on utilisant l'eau chaude. Les sucres libérés passent toutes par une étape de fermentation par des levures qui les transforme en éthanol et une étape plus ou moins poussée de distillation qui sépare l'alcool de l'eau. la figure suivante (figure II.6) résume les étapes de la production de bioéthanol à partir des matériaux sucrés et amylacés.

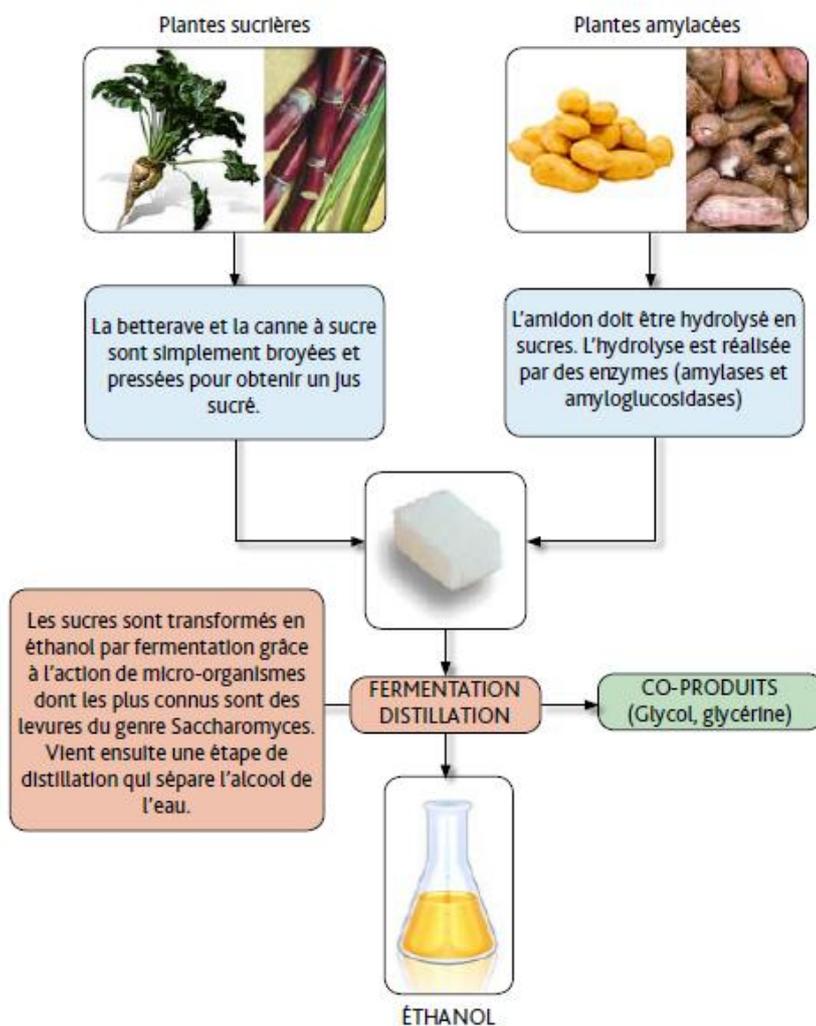


Figure II-6 Production de bioéthanol à partir des plantes sucrées et amylacées

II-4-3-1- Conversion de l'amidon en sucre

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale composé d'unités glucose $C_6H_{12}O_6$. Il est la principale substance glucidique de réserve des plantes supérieures. On le trouve stocké dans les organes de réserve des végétaux tels que les céréales 30-70% de la matière sèche, les tubercules 60-90 % et les légumineuses 25 à 50%)(BOURSIER, 2005). L'amidon constitue la principale source d'énergie pour la vie animale.

L'amidon consiste en deux glucanes structurellement différents : l'amylose (figure II-7), polymère linéaire) et l'amylopectine (figure II-8), polymère fortement branché. L'amylopectine est le constituant principal de la plupart des amidons (MONNET, 2008).

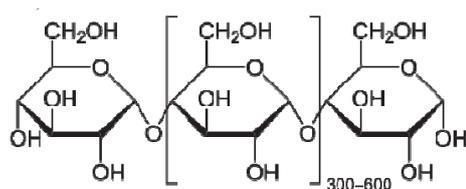


Figure II-7: Structure de l'amylose

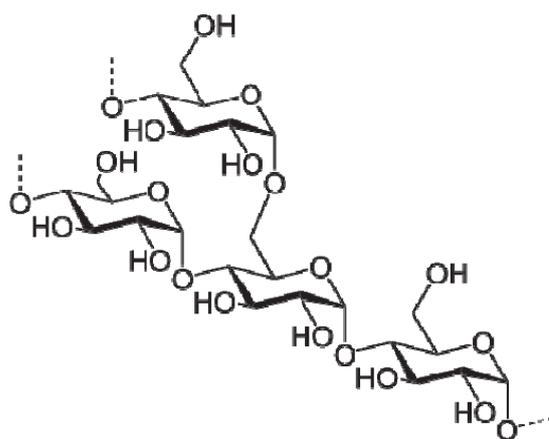


Figure II-8: Structure moléculaire de l'amylopectine

Le tableau II-6 montre la teneur en chacun des constituants de l'amidon suivant l'origine de l'amidon.

Tableau II-6: Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques (CHENE, 2004)

Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Maïs	28	72
Pomme de terre	21	79
Blé	28	72
Maïs cireux	0	100
Amylomaïs	50-80	50-20
Riz	17	83
Pois	35	65
Manioc	17	83

La transformation de l'amidon en sucre se fait par voie chimique, utilisant l'acide chlorhydrique comme catalyseur pour l'hydrolyse de l'amidon.



ou par voie biochimique, utilisant des enzymes comme catalyseurs

- L'amidon est hydrolysé en maltose grâce à l'amylase.



- Le maltose est hydrolysé en glucose grâce à la maltase.



Les principaux enzymes utilisés sont:

L' α -amylase, qui agit au hasard sur la chaîne macromoléculaire, est présente dans les plantes et dans les animaux. La salive humaine est riche en amylase, et le pancréas aussi sécrète l'enzyme.

La β -amylase, qui agit à partir de l'extrémité non-réductrice de la chaîne, coupe l'amidon en unités maltose, un disaccharide.

La γ -amylase coupe la chaîne à la dernière liaison glucosidique α à l'extrémité non-réductrice, et conduit au monosaccharide glucose.

II-4-4- Technologie de la production du bioéthanol à partir de biomasse cellulosique

La matière lignocellulosique est le constituant principal de la paroi cellulaire des plantes. Elle est la source de carbone renouvelable la plus abondante de la planète. Elle est constituée de trois éléments majeurs qui sont la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. La proportion et la nature de chacune des macromolécules sont fonction de l'origine botanique de la matière (Tableau II-7)

Tableau II-7: Composition de biomasse lignocellulosique

	Cellulose	Hémi - Cellulose	Lignine
Bois dur	40 - 55 %	24 - 40 %	18 - 25 %
Bois tendre	45 - 50 %	25 - 35 %	25 - 35 %
Pailles	30 - 43 %	22 - 35 %	15 - 23 %
Herbes	25 - 40 %	35 - 50 %	10 - 30 %

La cellulose est une molécule linéaire non ramifiée constituée de milliers de monomères de glucoses liés par des liaisons osidiques (Figure II-9). Environ 80 molécules de cellulose s'associent par des liaisons hydrogène pour former des microfibrilles. Un grand nombre de microfibrilles entrelacées forme une fibrille de cellulose. L'hydrolyse de la cellulose conduit à la production de sucres monomères fermentescibles (cellulose, glucose et xylose) (Godin et al., 2010, 2011, Campbell, 1995).

Les hémicelluloses sont des polysaccharides non cellulosiques se distinguant de la cellulose par le fait qu'ils soient des polymères hétérogènes (hétéropolysaccharides) à chaînes plus courtes et branches. (Warzywoda, 2011, Godin et al., 2010, 2011).

les hémicelluloses contiennent plusieurs sucres à 5 atomes de carbone (sucres C5) tels que le xylose et l'arabinose (principalement dans la configuration furanose), des sucres C6 tels que le glucose, le mannose, le galactose, l'acide galacturonique et l'acide glucuronique et le sucre C7 l'acide 4-O-méthyl glucuronique (WERTZ, 2011).

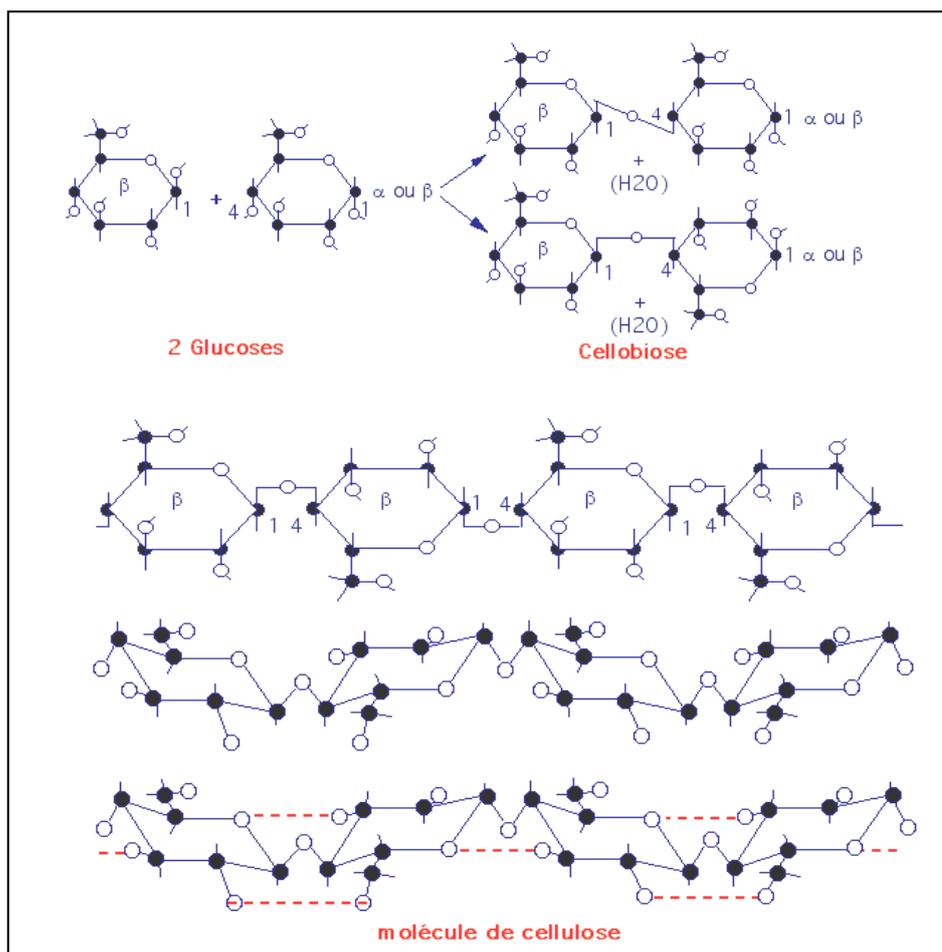


Figure II-9. Structure du cellulose

Les hémicelluloses peuvent être classées en quatre grands groupes:

- Les **xyloglucanes** qui ont un squelette de résidus glucose (Glc) sur lequel se greffent des résidus xylose (Xyl), galactose (Gal) et fucose (Fuc); on les trouve dans de nombreuses parois primaires.

- Les xylanes qui incluent :

(1) les **glucuronoxylanes** (GX) qui ont un squelette de résidus xylose sur lequel se greffent des résidus acides glucuroniques (GlcA) ou son dérivé *O*-méthylé; on les retrouve dans les parois secondaires des dicots;

(2) les **arabinoxylanes** (AX) qui ont un squelette de résidus xylose sur lequel se greffent des résidus arabinose;

(3) les **glucuronoarabinoxylanes** (GAX) qui ont un squelette de résidus xylose sur lequel se greffent des résidus arabinose et acide glucuronique; on trouve les arabinoxylanes et les glucuronoarabinoxylanes dans les parois primaires des monocots commelinoides;

(4) les **homoxylanes** non substituées

- Les mannanes qui ont un squelette de résidus mannose et les glucomannanes qui ont un squelette de résidus mannose et glucose, qui comprennent aussi:

(1) les **galactomannanes** qui ont un squelette de mannose sur lequel se greffent des résidus galactose; on les trouve comme composés majeurs de stockage dans les graines de certains dicots tels que légumineuses (guar, caroube, tara...);

(2) les **galactoglucomannanes** qui ont un squelette de résidus mannose et glucose sur lequel se greffent des résidus galactose ; on les trouve dans les parois secondaires des gymnospermes.

- Les β -1,3;1,4- glucanes, encore appelés glucanes à liaisons mixtes, qui sont très répandus dans les herbes.

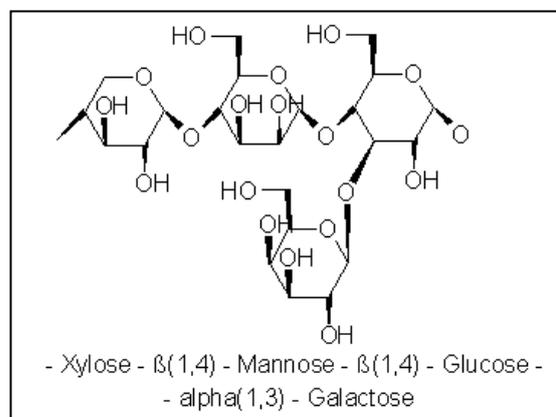
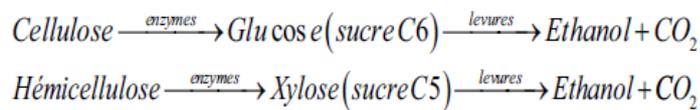


Figure II-10. Exemple de structure d'hémicelluloses

La lignine se présente dans les interstices qui cimentent les chaînes de cellulose et d'hémicelluloses. Elles contiennent des molécules ayant des propriétés pharmaceutiques importantes (Téropénoïds, stéroïdes, composés phénoliques et les composés inorganiques). Elle peut diminuer le rendement de la fermentation alcoolique (Clark et Mackie, 1984; Lee et Torget, 1999; Godin et al., 2010, 2011).

La lignine ne peut être fermentée en éthanol.

La matière lignocellulosique doit être prétraitée pour rendre le cellulose et l'hémicelluloses hydrolysables. Les fractions cellulosiques et hémicellulosiques sont des sources potentielles de sucres fermentescibles.



Les étapes de la transformation de la lignocellulose en éthanol sont résumées dans la figure II-11.

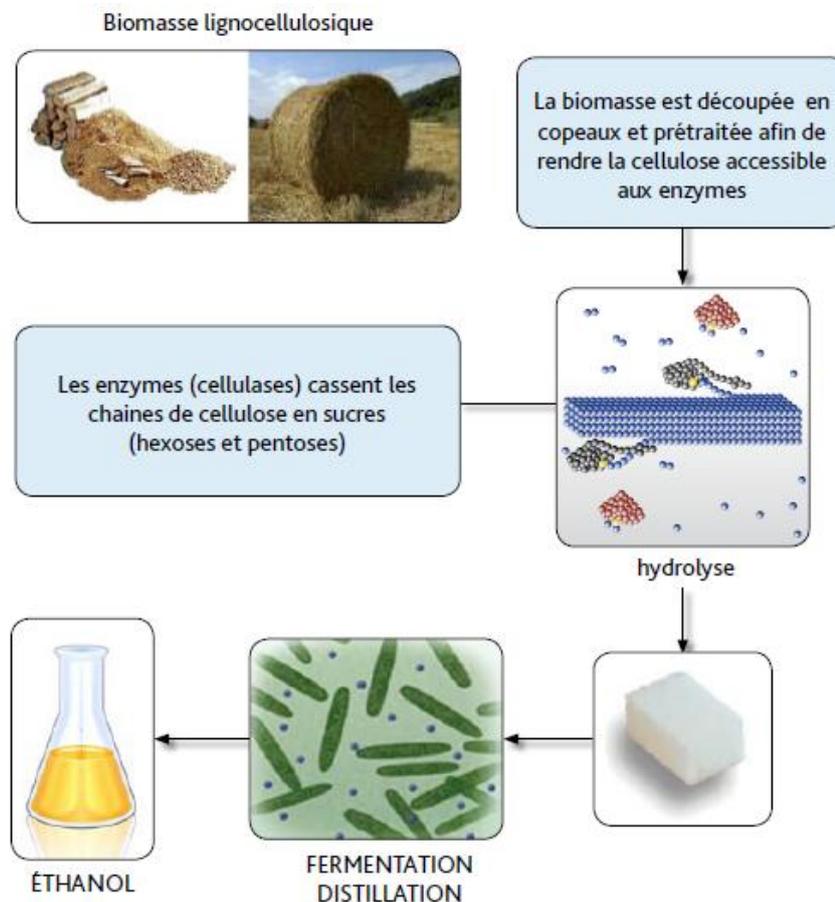


Figure II-11. Production de l'éthanol à partir de biomasse cellulosique

II-4-5- L'utilisation du bioéthanol

Le bioéthanol contient 35% d'oxygène, ce qui permet une réduction d'émission de matière particulaire. L'utilisation de bioéthanol réduit de 7% la quantité de CO₂ émise par rapport à l'essence (Demirbaset al. 2010). Par ailleurs, le bioéthanol se caractérise par un indice d'octane très élevé. Un fort indice d'octane indique une résistance élevée à la détonation provoquée par un allumage prématuré assurant une haute performance du moteur, notamment sur le plan de la puissance développée.

L'éthanol joue à ce titre le rôle des dérivés du plomb autrefois présents dans l'essence (CRAAQ, 2008).

L'éthanol peut remplacer partiellement ou totalement l'essence. Il existe plusieurs types de carburants contenant de l'éthanol la plupart sont des mélanges d'essence et d'éthanol à différentes proportions. On les désigne par la lettre E suivie du pourcentage d'éthanol dans le mélange : par exemple du E85 représente un carburant contenant 85% d'éthanol et 15% d'essence. On trouve ainsi du E5, E7, E10, E15, E20, E85, E95, E100 en fonction du pays dans lequel on se trouve et de l'utilisation que l'on veut en faire.

Tableau II-8: Propriétés de l'essence et du bioéthanol

Paramètre	Unité	Essence	Éthanol
Puissance calorifique inférieure	kJ/kg	43.500	28.225
	kJ/litre	32.180	22.350
Densité	kg/litre	0,72 – 0,78	0,792
Indice d'Octane RON (<i>Research Octane Number</i>)	-	90 – 100	102 – 130
Indice d'Octane MON (<i>Motor Octane Number</i>)	-	80 – 92	89 – 96
Chaleur latente de vaporisation	kJ/kg	330 – 400	842 – 930
Rapport air/combustible stoechiométrique		14,5	9,0
Pression de vapeur	kPa	40 – 65	15 – 17
Température d'allumage	°C	220	420
Solubilité dans l'eau	% en volume	~ 0	100

Source : API (1998) et Goldemberg et Macedo (1994).

II-4-6- Avantages et inconvénients du bioéthanol

L'éthanol est réduit les émissions de particules, notamment de particules fines qui constituent une menace pour la santé. Il est également utilisé à la place du benzène (produit toxique cancérigène, extrait de l'essence). L'éthanol est non toxique, soluble dans l'eau et rapidement biodégradable.

la plupart des obstacles à l'incorporation du bioéthanol dans les carburants fossiles peuvent facilement être surmontés (Oestling, 2001). D'un point de vue écologique, le principal inconvénient des carburants additionnés de bioéthanol est la formation accrue d'acétaldéhyde. Ce dernier est un composé très volatile, incolore et inflammable. Aucun effet sur la santé humaine, associé à l'inhalation ou l'absorption de petites quantités d'acétaldéhyde, n'a été répertorié (Oestling, 2001). Il peut cependant contribuer à la formation de brouillard photochimique lorsqu'il réagit avec d'autres substances à base de carbone organique volatil présente dans l'air. L'utilisation de l'éthanol entraîne une légère augmentation des taux d'acétaldéhyde et de nitrate de peroxyacétyle, mais que la présence de ces composés était plus compensée par les réductions de formations de formaldéhyde (Oestling, 2001).

Le tableau II-9 résume les avantages et les inconvénients de l'utilisation du bioéthanol.

Tableau II-9: Avantages et inconvénients du bioéthanol

Avantages	Inconvénients
Moins d'émissions de dioxyde de carbone CO ₂ fossile que les carburants	Son indice de cétane étant moins élevé que celui du diesel
Haut indice d'octane	Emissions très élevées d'hydrocarbures par évaporation environ 15% pour E10
Moins d'émissions de particule	La pression de vapeur étant basse et la chaleur latente d'évaporation de l'éthanol élevée
Risque moins élevé de formation d'ozone que l'essence et le diesel	Sa combustion entraîne une formation accrue d'acétaldéhyde
Pas de teneur en soufre	Sa capacité lubrifiante peu élevée peut provoquer une corrosion du moteur
Biodégradable	La combustion de l'éthanol pur produit une flamme invisible qui peut provoquer des problèmes de sécurité
Moins toxique que le méthanol ou le biométhanol	Lorsque l'éthanol non brûlé réagit sur la surface du catalyseur, il peut s'échapper une odeur de vinaigre
Rendement à indice d'octane élevé pour un coût relativement réduit.	Emissions non réglementées plus élevées (éthylène et acétaldéhyde)

Chapitre III
Généralités sur la
fermentation

III- Généralités sur la fermentation

III-1- Définition

La fermentation c'est tout processus métabolique au cours duquel est utilisé un micro-organisme spécifique pour la libération de l'énergie contenue dans une molécule organique (Gaillard et al., 1995). Ce processus ne nécessite ni d'oxygène ni de chaîne de transport, et utilise une molécule organique comme accepteur d'électron final. la fermentation peut parfois se poursuivre en présence de l'oxygène (Tortora et al., 2003).

III-2- Fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique est un processus biochimique par lequel des sucres (glucides, principalement le glucose) sont transformés en alcool (éthanol) dans un milieu liquide, privé d'air. La dégradation biochimique des sucres pour la production de l'alcool passe par les étapes suivantes:

III-2- 1- La glycolyse

La glycolyse est une séquence de 10 réactions qui transforme le glucose en pyruvate avec formation d'ATP et éléments de construction pour la synthèse des composés cellulaires. La glycolyse se fait en aérobiose comme en anaérobiose et c'est donc le point de départ du métabolisme des sucres que ce soit par fermentation ou par respiration. Ces 10 réactions sont montrées dans la figure III-1 et qui sont:

- La phosphorylation du glucose grâce à la glucokinase en glucose-6-phosphate;
- L'isomérisation du glucose-6-phosphate en fructose-6-phosphate par l'intermédiaire de la fructose isomérase;
- Le fructose-6-phosphate est phosphorylé pour donner le fructose-1,6-bisphosphate grâce à la phosphofructokinase;
- La dissociation du fructose-1,6-bisphosphate en deux molécules de triose, la dihydroxyacétone-phosphate (96,5 %) et le glycéraldéhyde-3-phosphate (3,5 %). par une aldolase;
- le dihydroxyacétonephosphate est converti en glycéraldéhyde-3-phosphate grâce à la triose phosphate isomérase;
- Le glycéraldéhyde-3-phosphate sera converti en acide-1,3-bisphosphoglycérique par la phosphoglycéraldéhyde déshydrogénase;
- La formation de l'acide 3-phosphoglycérique ainsi que d'une molécule d'ATP par intervention de la phosphoglycérate kinase;
- La formation de l'acide 2-phosphoglycérique grâce à la phosphoglycérate mutase;

- l'acide 2-phosphoglycérique, énolesé par élimination d'une molécule d'eau, pour donner l'acide phosphoénolpyruvique;
- L'acide phosphoénolpyruvique, permet par réaction avec une molécule d'ADP et en présence de la pyruvate kinase la formation d'une molécule d'ATP et de l'acide pyruvique.

En parallèle à la dégradation du glucose, le fructose présent dans le moût subit une phosphorylation pour donner le fructose-6-phosphate qui va rejoindre la voie de la glycolyse.

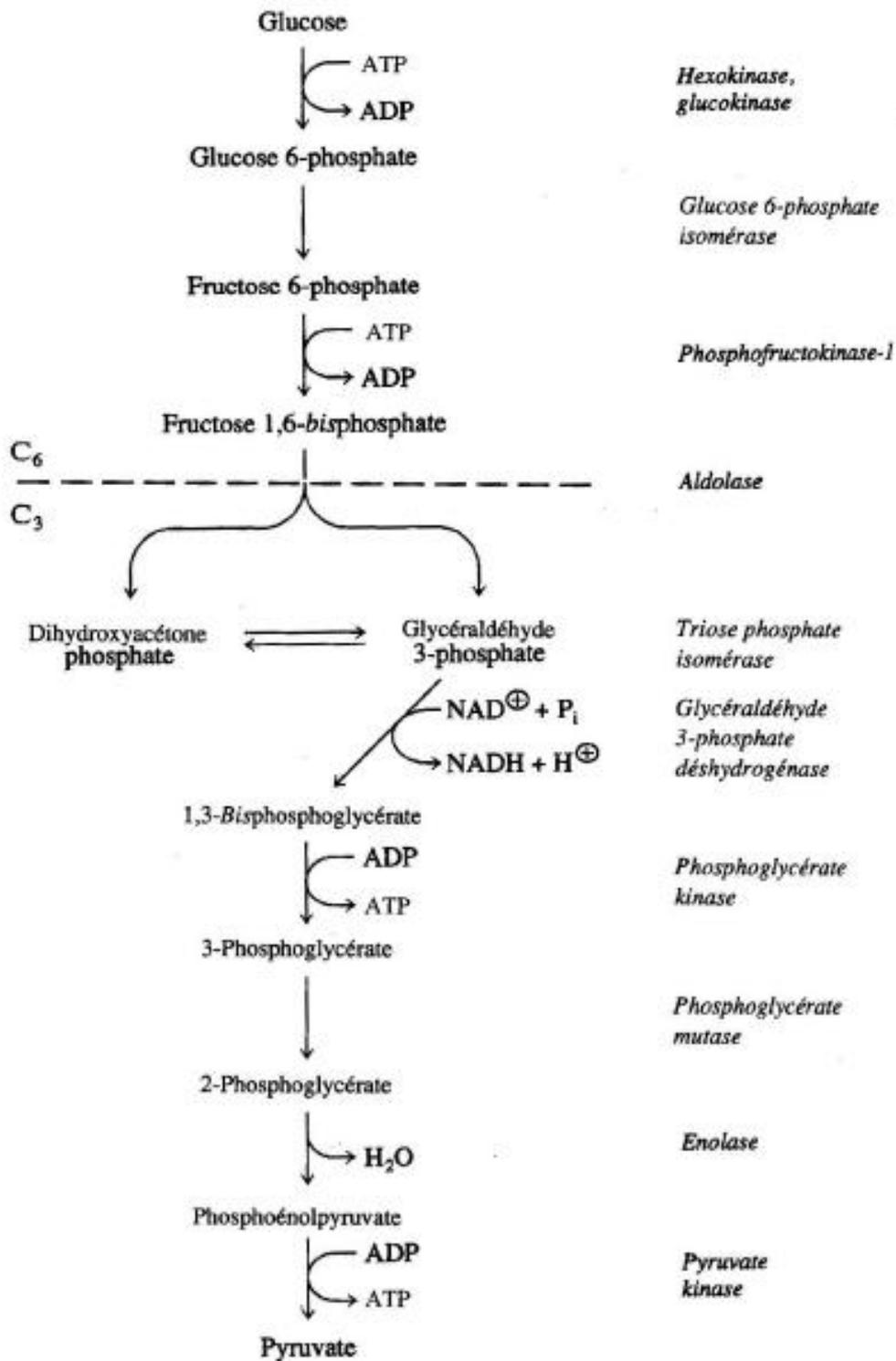


Figure III-1. Schéma de la glycolyse

III-2-2- La fermentation alcoolique

Dans le cas de la fermentation alcoolique, l'acide pyruvique produit à la fin de la glycolyse est décarboxylé en éthanal (acétaldéhyde) qui est réduit en éthanol grâce au NADH, H⁺ formé au cours de l'oxydation du glycéraldéhyde-3-phosphate. Ces deux réactions sont couplées et constituent un mécanisme d'oxydoréduction.

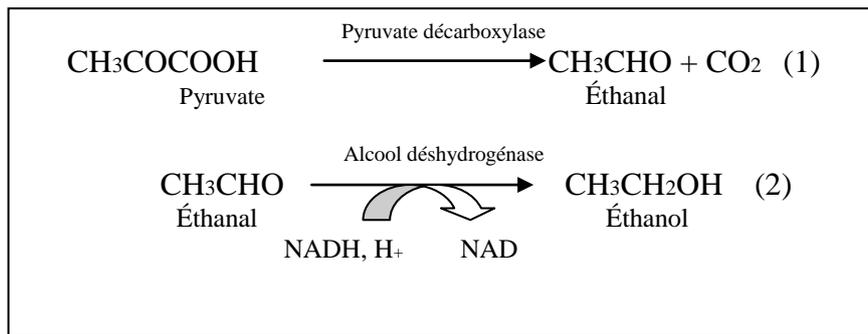
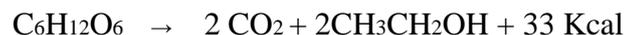


Figure III-2. Transformation de l'acide pyruvique en \u00e9thanol

La r\u00e9action (1) est assur\u00e9e par la pyruvate d\u00e9carboxylase alors que la r\u00e9action (2) est assur\u00e9e par l'alcool d\u00e9shydrog\u00e9nase.

La r\u00e9action suivante de Gay-Lussac r\u00e9sume ainsi la transformation du sucre en \u00e9thanol :



Le pyruvate est \u00e0 l'origine d'une s\u00e9rie de produits secondaires et donc la diversit\u00e9 des produits de fermentation vient de la diversit\u00e9 des r\u00e9actions de transformation du pyruvate. La d\u00e9gradation des sucres lors de la fermentation alcoolique conduisant \u00e0 la production de glyc\u00e9rol et de petites quantit\u00e9s de 2,3-butanediol, d'ac\u00e9tone, d'acide ac\u00e9tique, d'acide lactique, d'acide succinique, d'acide pyruvique...

La fermentation alcoolique se constate par :

- D\u00e9gagement de CO_2
- Bouillonnement du mo\u00fbt
- Augmentation de la temp\u00e9rature
- Changement de couleur du mo\u00fbt
- Changement de saveur
- Diminution de la densit\u00e9 du liquide

III-3- Les levures

III-3-1-Structure cellulaire des levures

La levure est un protiste eucaryote g\u00e9n\u00e9ralement unicellulaire appartenant au r\u00e8gne fongique (champignons). Leur cellule est g\u00e9n\u00e9ralement ovo\u00efde ou sph\u00e9rique, parfois cylindrique, allong\u00e9e, apicul\u00e9e ou de forme plus sp\u00e9cifique : ogivale (genre *Dekkera*), en forme de bouteille (genre *Pityrosporium (Malasseziaj)*), triangulaire (*Trigonopsis*) ou en forme de citron

(*Hanseniaspora*) (BOURGEOIS et al, 1996; LEVEAU J.Y.et BOUIX M., 1993). Leur taille est d'environ 20 micromètre en longueur et de 1 à 10 micromètre en largeur. Les levures sont de grande taille par rapport aux bactéries, la masse cellulaire des levures est 100 fois plus grande que celle des bactéries et elles se divisent 4 fois moins rapidement (GUIRAUD, 1998). Dans un gramme existe environ 9 milliards de cellules. Leur morphologie est d'une grande importance taxonomique.

Les levures ne peuvent pas leur nuire en épuisant les réserves nutritives du milieu. Néanmoins, elles peuvent aisément supporter leur compétition. Par ailleurs, elles sont parfois utiles à d'autres micro organismes comme les bactéries lactiques à qui elles apportent les acides aminés nécessaires.

Une cellule de levure est constituée par :

- une membrane double: la paroi cellulaire qui protège la cellule contre les agressions extérieures; à l'intérieur la membrane cellulaire semi-perméable, elle permet, par osmose, des échanges sélectifs avec le milieu ambiant.
- le cytoplasme liquide, siège de l'activité métabolique de la cellule, comprenant souvent des inclusions cytoplasmiques telles que :
 - les vacuoles qui emmagasinent les réserves de nutriments.
 - les ribosomes qui aident à synthétiser des protéines.
 - les mitochondries qui produisent l'énergie cellulaire aux dépens des sucres.
- le noyau, indispensable, il règle l'activité de la cellule et porte le code génétique (génom).

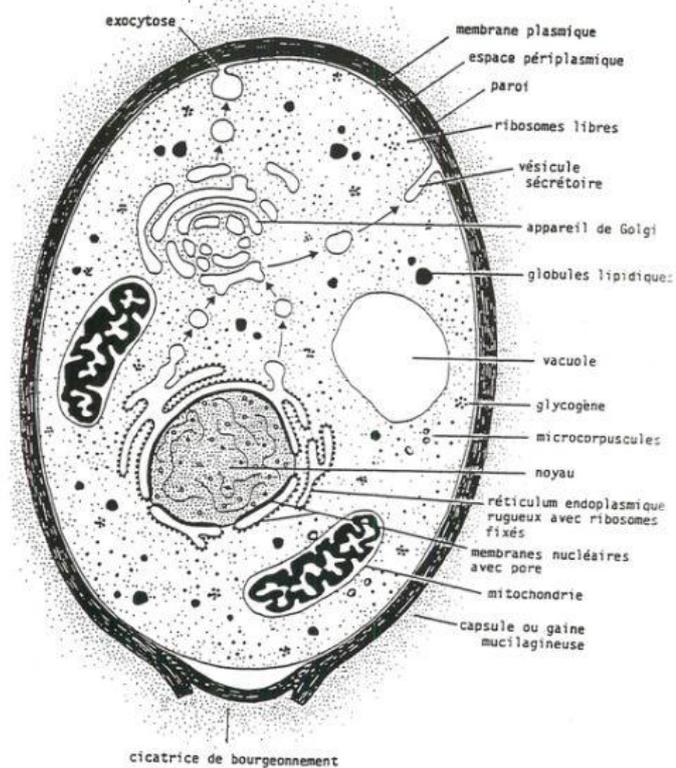


Figure III-3. Structure cellulaire des levures (LARPENT, 1997)

III-3-2-Reproduction des levures

Les levures se reproduisent selon deux modes en général :

III-3-2-1- La multiplication asexuée

Toujours présente, se fait essentiellement par bourgeonnement, aux extrémités des grands axes des cellules si elles sont ovoïdes ou allongées, (et rarement par scissiparité). Il peut aussi être multilatéral, ce qui est une caractéristique de *Saccharomyces* et *Debaryomyces* (HENCKÉ, 2000).

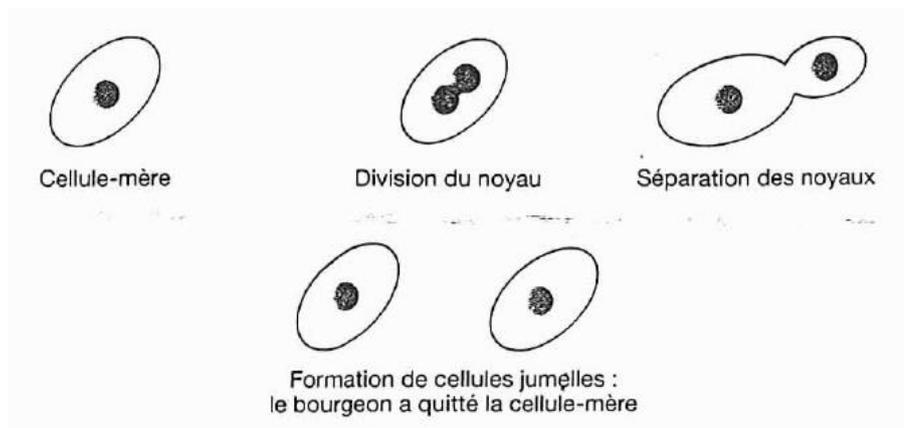


Figure III-4. La multiplication par bourgeonnement

III-3-2-2- La reproduction sexuée

Dans un milieu défavorable (riche en acétate, pauvre en nutriments, températures extrêmes.. .), la cellule diploïde de levure va sporuler c'est à dire produire 4 ou 8 cellules haploïdes, nommées « ascospores » chez les Ascomycètes et « basidiospores » chez les Basidiomycètes, qui resteront en vie ralentie. Si les conditions du milieu redeviennent favorables, les spores sont libérées, vont germer, croître et commencer un nouveau cycle de multiplication végétative sous la forme haploïde ou diploïde (HENCKÉ, 2000).

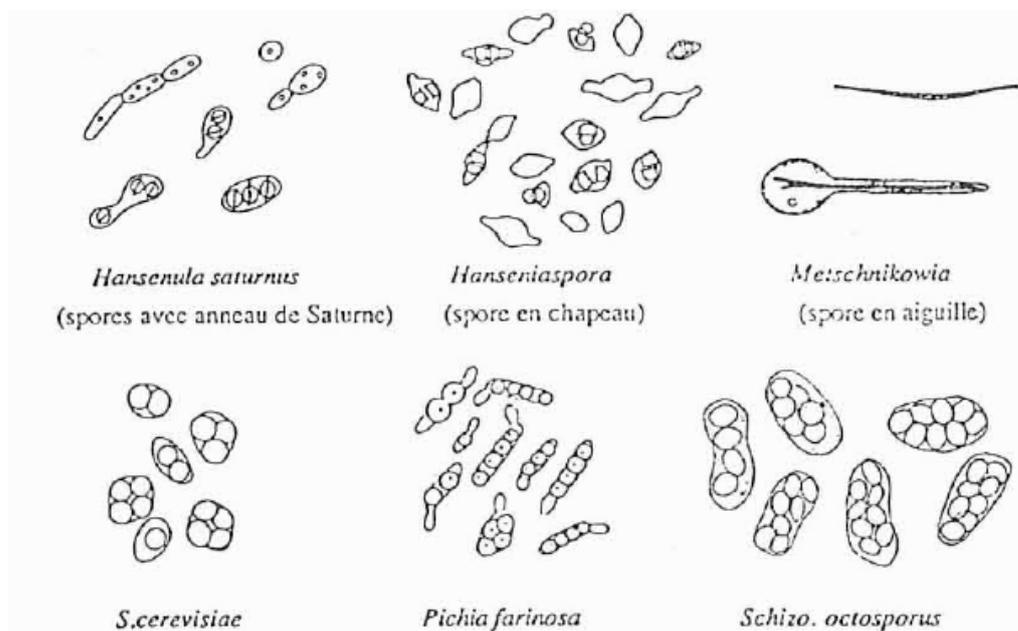


Figure III-5. La reproduction sexuée

III-4- Les microorganismes utilisés

Une grande variété de microorganismes produit de l'éthanol à partir de polysaccharides. Cependant peu sont réellement compétitifs en terme :

- de rendement en éthanol par rapport au substrat consommé
- de capacité fermentaire
- de tolérance à l'éthanol élevée
- d'adaptation aux conditions de fermentation

Les levures (*Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces uvarum*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Kluyveromyces sp.*) et les bactéries, comme *Zymomonas mobilis*, sont les plus utilisées. Les bactéries produisent souvent d'autres sous-produits : d'autres alcools, des acides organiques, des polyols, des cétones, ou des gaz (méthane, dioxyde de carbone, hydrogène, ...). Il existe

quelques souches de *Clostridium* qui peuvent avoir de bons rendements en éthanol. Cependant, seule *Zymomonas mobilis* est considérée comme un strict producteur d'éthanol (Cot, 2006).

Dans les procédés fermentaires utilisant la levure, l'oxygène est nécessaire pour des raisons de maintenance de l'intégrité cellulaire. Des conditions aérées vont malheureusement favoriser aussi la production de biomasse. *Zymomonas* présente l'avantage d'être anaérobie stricte et donc de produire peu de biomasse mais plus d'éthanol (Kosaric et Vardar-Sukan 2001). Elle serait au moins aussi, voire plus, tolérante à l'éthanol que *Saccharomyces cerevisiae* suivant les souches (Glazer et Nikaido 1993). *Zymomonas* est très efficace sur glucose mais produit beaucoup de sous-produits lorsque le saccharose est la source de carbone (notamment des acides organiques). *Saccharomyces cerevisiae* offre un plus large spectre d'utilisation de substrats. De plus, *Saccharomyces cerevisiae* est efficace en terme de production d'éthanol à bas pH (jusqu'à un pH de 4), ce qui évite les contaminations, alors que la stérilisation est encore nécessaire pour utiliser *Zymomonas mobilis*. L'utilisation de l'un ou de l'autre de ces microorganismes va donc dépendre du substrat, de la facilité de mise en œuvre et surtout de la rentabilité totale du procédé.

III-4-1-La levure *Saccharomyces cerevisiae*

La levure *Saccharomyces cerevisiae* occupe une place privilégiée dans les activités industrielles. Elle est utilisée par l'homme depuis des millénaires pour la production de boissons et produits fermentés (vin, bière, pain) et joue un rôle très important dans l'industrie agroalimentaire comme agent de fermentation et pour l'élaboration de produits dérivés. De nos jours, la levure est également largement utilisée comme usine cellulaire pour la production de molécules d'intérêt. Dans le domaine pharmaceutique et médical, elle est utilisée pour la production de vaccins, de probiotiques ou de protéines comme l'insuline. Elle joue également un rôle clé dans l'industrie chimique pour la synthèse de produits de commodité comme l'acide lactique pour la production des plastiques et dans le domaine des énergies renouvelables et des biocarburants (bioéthanol) (Celton, 2011).

III-4-2-Taxonomie des levures *Saccharomyces* (Quoc, 2010)

Classification des *Saccharomyces*: Règne Fungi, Division Ascomycota, Sous-division Saccharomycotina, Classe Saccharomycetes, Ordre Saccharomycetales et Famille Saccharomycetaceae. Les *Saccharomyces* sont utilisées pour la fabrication du pain depuis plus de 3000 ans. Mais ce n'est qu'entre 1857 et 1863 que Louis Pasteur démontre le rôle de la levure en tant que micro-organisme responsable de la fermentation alcoolique. La liste d'espèces de *Saccharomyces* selon ITIS (en anglais : the Integrated Taxonomic Information System) est présentée dans le Tableau III-1:

Tableau III-1: Levures Saccharomyces et non Saccharomyces

Saccharomyces	Non-Saccharomyces
Saccharomyces bailii Linder	Brettanomyces/ Anamorph.
Saccharomyces carlsbergensis Hansen, 1908 Syn.	Dekkera
Saccharomyces uvarum	Candida
Saccharomyces cerevisiae Hansen, 1883	Cryptococcus
Saccharomyces delbrueckii Linder	Debaromyces
Saccharomyces exiguus Hansen	Hanseniaspora/ Anamorph.
Saccharomyces fermentati (Saito) Lodder & Kreger-van Rij	Kloeckera
Saccharomyces florentinus (Cast.) Lodder & Kreger-van Rij	Hansenula
Saccharomyces fragilis Jorgensen	Kluyveromyces
Saccharomyces fructuum Lodder & Kreger-van Rij	Torulasporea
Saccharomyces heterogenicus Osterwalder	Metschnikowia
Saccharomyces oleaginosus Santa Maria	Pichia
Saccharomyces rosei (Guill.) Lodder & Kreger-van Rij	Rhodotorula
Saccharomyces steineri Lodder & Kreger-van Rij	Saccharomycodes
Saccharomyces boulardii et Saccharomyces kefir	Schizosaccharomyces

Les levures qui ne sont pas classées dans le genre *Saccharomyces* sont nommées non-Saccharomyces. Les genres de non-Saccharomyces les plus fréquemment rencontrés en oenologie sont : *Torulasporea*, *Kloeckera*, *Hanseniaspora*, *Candida*, *Pichia*, *Schizosaccharomyces*, *Hansenula* et *Brettanomyces*... (cf. Tableau III-1).

III-4-3-Les souches de levures *Saccharomyces cerevisiae*

Il existe deux souches de levures *Saccharomyces cerevisiae*, une souche G qui donne, en se multipliant, des colonies de grande taille, et une souche P qui donne des colonies de petite taille.

Dans les mêmes conditions physico-chimiques, Les colonies de souches G se développent normalement alors que les colonies de souches P montrent un sous-développement par rapport aux précédentes. S'agissant de la même espèce, *Saccharomyces cerevisiae*. Ces différences de métabolisme sont dues à des différences structurelles (organites) ou à des différences biochimiques.

Les cellules P possèdent des mitochondries en nombre plus faible que les cellules G. Par ailleurs, la microscopie électronique montre que les mitochondries des cellules P ne possèdent pas de crêtes différenciées.

Les mitochondries sont les organites de la respiration cellulaire, c'est à dire qu'elles assurent, avec la glycolyse, la métabolisation du glucose en dioxyde de carbone et eau, ce qui permet la production d'ATP:

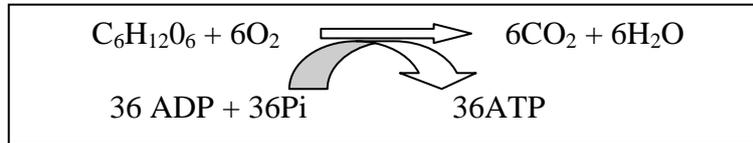
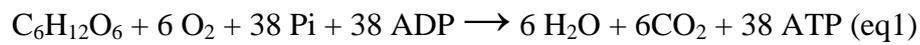


Figure III-6. Métabolisation du glucose

III-4-4- Voies métaboliques de *Saccharomyces cerevisiae*

III-4-4-1. Métabolisme oxydatif

Le métabolisme oxydatif du glucose et du fructose contient trois étapes principales qui sont, la glycolyse, le cycle de Krebs et la phosphorylation oxydative. Ce métabolisme aboutit à l'oxydation complète de ces substrats carbonés pour former de l'énergie. Le bilan de l'oxydation totale du glucose est :



Glucose + Oxygène + Phosphate inorganique + Adénosine diphosphate \longrightarrow Eau + dioxyde de carbone + énergie.

Le nombre d'ATP est de 38, s'il est considéré que la totalité des coenzymes d'oxydoréduction sert à produire de l'ATP au cours de la phosphorylation oxydative.

III-4-4-2. Le métabolisme fermentaire

La fermentation est une réaction biochimique, à localisation cytoplasmique, permettant la libération de l'énergie contenue dans un substrat organique par l'action d'enzymes microbiennes et qui aboutit à l'oxydation incomplète du substrat. Elle se distingue de la respiration par son faible rendement énergétique et la diversité des produits d'oxydation.

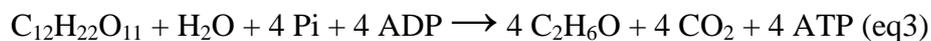
En anaérobiose, *Saccharomyces cerevisiae* est privée de son accepteur final d'électron qui est l'oxygène. Les coenzymes d'oxydoréduction, comme le $\text{NADH} + \text{H}^+$, ne peuvent donc plus être réoxydés. La cellule doit donc utiliser un autre accepteur final d'électron qu'elle doit fabriquer à partir de son substrat. Pour *Saccharomyces cerevisiae* il s'agit principalement de l'acétaldéhyde. La réduction de l'acétaldéhyde en éthanol permet ainsi de maintenir l'équilibre rédox en réoxydant le $\text{NADH} + \text{H}^+$ produit au cours de la glycolyse.

L'équation bilan de la réaction de fermentation du glucose par *Saccharomyces cerevisiae* est :



Glucose + Phosphate inorganique + Adénosine diphosphate \longrightarrow Ethanol + Dioxyde de carbone + énergie

Le rendement énergétique maximal (en énergie disponible pour la cellule) de cette réaction est inférieur de 19 fois à celui de l'oxydation complète du glucose par le métabolisme oxydatif. Le rendement théorique limite de conversion du glucose en éthanol est donc de 0,511 gramme d'éthanol par gramme de glucose. Pour le saccharose, ce rendement est de 0,538 comme le montre l'équation 3 :



Saccharose + Eau + Phosphate inorganique + Adénosine diphosphate \longrightarrow Ethanol + Dioxyde de carbone + énergie

Cependant l'utilisation du substrat est un phénomène plus complexe car elle contribue à trois fonctions dont les proportions varient en fonctions de nombreux paramètres:

- La formation de biomasse
- La formation de produits. L'éthanol n'est pas le seul produit de fermentation, on trouve, entre autres, l'acétate, le succinate, les alcools supérieurs et le glycérol
- La maintenance, c'est-à-dire la part du métabolisme destiné au simple maintien en vie des cellules (métabolisme basal)

Tout ceci fait qu'en pratique on ne peut pas dépasser 90 à 95% du rendement théorique en éthanol.

La formation du glycérol pendant la glycolyse permet de réoxyder le $\text{NADH} + \text{H}^+$. Cependant la formation de glycérol ne permet pas la production d'ATP mais juste de compenser les deux ATP utilisés pour former le glucose-6-phosphate et le fructose-1-6-biphosphates.

Lors de la fermentation alcoolique des alcools à plus longues chaînes carbonées sont produits. Les principaux étant le n-propanol, l'alcool amylique, l'alcool isoamylique et le 2-phenylethanol. Deux voies métaboliques amènent à la formation de ces alcools supérieurs, la voie catabolique et l'anabolique. La voie catabolique, aussi appelée réaction d'Ehrlich, consiste en une transamination des acides aminés produisant alors un acide α -cétonique, suivie d'une décarboxylation formant un aldéhyde qui sera alors réduit par le $\text{NADH} + \text{H}^+$ pour aboutir à la formation d'un alcool comme illustré **figure III-7**.

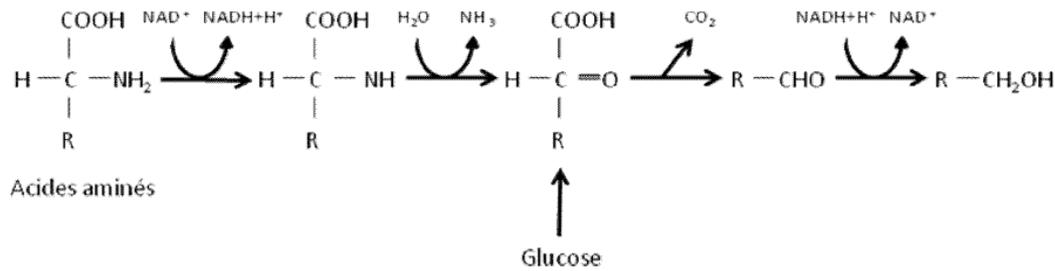


Figure III-7: Production des alcools supérieurs (Walker, 1999)

III-4-4-3- Rôle de l'oxygène en fermentation alcoolique

En conditions d'anaérobiose, la croissance levurienne requiert de l'oxygène moléculaire pour sa propre synthèse de lipides (stérols et acides gras insaturés) (Andreasen, 1954), qui sont des composés essentiels pour le maintien de l'intégrité cellulaire, et donc de la viabilité.

En conditions œnologiques, des travaux récents ont montré que l'oxygène était en fait essentiellement utilisé pour la synthèse de stérols, et peu pour celles des acides gras insaturés (Rosenfeld, 2003).

En anaérobiose, la levure peut utiliser directement les phytostérols présents dans le moût en tant que substituts de stérols, pour démarrer sa croissance et initier la fermentation. Toutefois, en absence d'oxygène, cette incorporation de phytostérols finit par perturber les propriétés membranaires de la levure, et entraîne rapidement une forte chute de la viabilité cellulaire (Luparia, 2004).

Dans les conditions anaérobioses, la levure *Saccharomyces cerevisiae* nécessite l'apport de 5 à 7,5 mg L⁻¹ d'oxygène pour permettre une croissance optimale et une viabilité forte tout au long de la fermentation (Rosenfeld, 2003).

III-5-Effet des paramètres physico-chimiques sur la fermentation alcoolique

III-5-1- La composition du milieu

La croissance de la levure nécessite une source d'azote, de phosphore, de soufre, de sels minéraux et de vitamines. Ceci permet d'assurer la synthèse des composants cellulaires, mais aussi le fonctionnement des enzymes et donc d'influencer la productivité de la levure ainsi que sa tolérance au stress dû à l'éthanol ou au substrat (Alfenore et col., 2002 ; Dragone et col., 2004). les ions métalliques indispensables pour la croissance de la levure sont illustrés dans le tableau III-2.

Tableau III-2: Composition approximative de *Saccharomyces cerevisiae* en ions métalliques, besoins et limites dans le milieu (Ingledeew, 1999; Heggart et col., 1999; Jones et Greenfield, 1984)

	Composition cellulaire (g.kg⁻¹ levure sèche)	Besoin dans le milieu (mg.L⁻¹)	Concentration inhibitrice dans le milieu (mg.L⁻¹)
Potassium	20-21	80 - 7900	390
Magnésium	1,3-1,65	39 -144	24000
Calcium	0,6-0,75	180 -1500	1000
Sodium	0,12-0,3		
Zinc	0,17-0,2	0,3 - 3	65
Fer	0,02-0,03	0,001- 0,8	840
Manganèse	0,008	0,06 - 0,12	55
Cuivre	0,008	0,1 - 0,6	0,6

La présence des ions métalliques en quantité adéquate permettant d'augmenter le métabolisme de la levure et la vitesse de la glycolyse et donc la conversion du pyruvate en éthanol (Soyuduru et col., 2009). En effet, les ions métalliques sont vitaux pour les levures car de nombreuses enzymes les utilisent comme cofacteurs. Ces enzymes voient, en l'absence de ces ions, leur activité fortement diminuer ou devenir nulle. Cependant, ces ions, s'ils sont présents en trop grandes quantités, deviennent toxiques pour la levure et donc pour la production d'éthanol (Jacques et col., 2003). Ceci souligne l'importance d'apporter les bons ions métalliques en bonne quantité. Enfin, les concentrations optimales en ions métalliques sont spécifiques de la souche utilisée et du milieu (Rees et Stewart, 1997).

III-5-2- La température

La température agit sur les vitesses de croissances et de production de métabolites. Plus la température est élevée plus la croissance sera rapide et ce jusqu'à atteindre la température optimale, au-delà de laquelle la vitesse de croissance diminuera. La température optimale de croissance pour *Saccharomyces cerevisiae* est comprise entre de 30 et 33°C (Aldiguier et col., 2004). Cela dépend néanmoins des souches, du milieu ainsi que des conditions de culture. L'augmentation de la température, jusqu'à la température optimale, permet de diminuer le temps de fermentation. La température optimale pour la production d'éthanol n'est pas forcément la

température optimale pour la croissance de la biomasse. En effet, plus la température est élevée plus la levure est soumise au stress. De plus, la température optimale de production, dépend à la fois de la souche et de la composition du milieu de culture (Jones et Ingledew, 1994). Enfin, au delà de 25°C la levure devient significativement plus sensible à la pression osmotique et la présence d'éthanol. Il a été observé que pour des températures supérieures à 25°C, il y a augmentation des sucres résiduels et diminution du rendement de conversion des sucres en éthanol (Bvochora et col, 2000).

III-5-3- L'acidité

L'acidité se mesure en gramme équivalent d'acide sulfurique par litre de milieu. Plus l'acidité augmente, plus la vitesse de croissance diminue pour devenir nulle à une concentration de 5 g.L⁻¹ exprimée en équivalent acide sulfurique.

La mesure de l'acidité est un paramètre complémentaire à celle du pH qui dépend du moût utilisé. Par exemple, le pH 4 correspond pour un sirop à environ 1,5 g.L⁻¹ d'acide sulfurique et pour une mélasse à 5 g.L⁻¹ d'acide sulfurique. L'acidité sert essentiellement à limiter le développement bactérien ce qui est très important dans les milieux non stériles comme les produits sucriers. Une acidité comprise entre 1,5 et 2,5 g.L⁻¹ serait un compromis entre l'effet bactériostatique et le développement optimal de la levure (De Miniac, 1988).

III-5-4- L'éthanol

L'éthanol produit au cours de la fermentation est toxique pour la levure et entraîne des fermentations languissantes ou même des arrêts de fermentation. Les effets de l'éthanol sur *Saccharomyces cerevisiae* sont très variés (Ansanay-Galeote et col., 2001):

- diminution de la vitesse de croissance
- diminution de la viabilité
- diminution des capacités fermentaires
- déstabilisation de la membrane plasmique et augmentation de la perméabilité membranaire
- stimulation des ATPases membranaires ce qui entraîne une perte d'énergie disponible pour la cellule
- inhibition du transport du glucose et de l'azote.

Il a été démontré que même à de faibles concentrations en éthanol, comprise entre 4 et 6 % (v/v), il y a formation de « heat shock proteins » (protéine de choc thermique) indiquant un stress important subi par la levure (Ansanay-Galeote et col., 2001). Cependant, les effets inhibiteurs apparaissent sur la production d'éthanol à partir de concentrations comprises entre 10 et 13 % (v/v) (Ingledew et col., 2009).

La sensibilité à l'éthanol est très variable, elle dépend à la fois du potentiel génétique de la souche (Abe et col., 2009 ; Hou et col. 2009), du milieu de culture (Ansanay-Galeote et col., 2001), de la température et du procédé de fermentation (Lima-Costa et col., 2012), c'est pour cela que de nombreux paramètres sont à prendre en compte.

III-6-Les procédés de fermentation alcoolique

III-6-1- Fermentation type batch

C'est le plus simple des procédés utilisés en terme de mise en œuvre et d'investissement. C'est le mode le plus utilisé en Amérique du nord (38% de la production de l'éthanol) (Durante, 2003). Le substrat et les levures sont initialement mis dans le réacteur. Les fermentations se poursuivent en général pendant 36 à 48h (Kosaric et Vardar-Sukan 2001). Les performances dépendent évidemment des conditions de culture et des substrats utilisés. Les rendements de conversion sont de l'ordre de 90 à 95% du rendement théorique pour une concentration finale en éthanol de 10 à 16 % (v/v) (environ 80 à 125 g.l⁻¹) (Casey et Ingledew 1986). La productivité est en moyenne assez faible sur tout le procédé mais elle évolue tout au long de la fermentation. Les productivités en éthanol, obtenues en mode batch n'excèdent pas les 2 à 3 g.l⁻¹.h⁻¹ (Bayrock et Ingledew, 2005).

Pour augmenter la productivité, les levures peuvent être récupérées d'un batch sur l'autre : on parle de batch recyclé. La phase de latence peut ainsi être réduite.

III-6-2- Fermentation type fed-batch

Le fed-batch est un dérivé du batch, où le substrat est ajouté au fur et à mesure de la fermentation, afin d'éviter les inhibitions par les substrats. Ce mode est caractérisé par la récupération des levures du jus fermenté par centrifugation. La production d'éthanol se déroule selon deux phases : une phase de croissance cellulaire et de production d'éthanol et une phase de production sans croissance. le type de fermentation semi-continu (fed batch) appelé aussi Melle-Boinot modifié. Le mode Melle-Boinot amène une plus grande productivité ainsi qu'un rendement plus important, une facilité de nettoyage et un niveau de contamination moindre que la configuration continue (Soccol *et al.*, 2005; Sánchez et Cardona, 2008; Basso *et al.*, 2011; da Graça Stupiello Andrietta *et al.*, 2011; Dias *et al.*, 2011; Pellegrini et de Oliveira Junior, 2011). Les concentrations finales en éthanol peuvent atteindre 19% (v/v) (147 g.l⁻¹) en 48h pour *Saccharomyces cerevisiae* (Alfenore *et al.* 2002), ou 20,8 % (v/v) (environ en 160 g.l⁻¹) en 20 jours pour *Saccharomyces sake* (Hayashida et Ohta 1981). L'éthanol peut être retiré au fur et à mesure de sa production. Ainsi et grâce à un recyclage du milieu de culture, Lu *et al.* (2003) ont atteint une productivité de 12 g d'éthanol.l⁻¹.h⁻¹.

La fermentation semi-continue a les caractéristiques suivantes (BNDES et CGEE, 2008; Basso *et al.*, 2011 dans Belboom, 2012) :

- Le substrat à fermenter est ajouté jusqu'à ce que le volume final du fermenteur soit atteint.
- Les levures sont transférées de la zone de stockage au fermenteur par pompage.
- Après la conversion du sucre en éthanol, le milieu de culture est envoyé en centrifugeuse où les levures sont séparées du jus fermenté, encore appelé vin, et envoyées en tank de traitement avant d'être réutilisées dans une seconde fermentation.
- Une récupération des levures allant jusqu'à 90 voire 95% peut avoir lieu, ce qui amène une concentration importante en cellules dans le réacteur.

III-6-3- Fermentation type continu

Le substrat et les levures traitées sont ajoutés de manière continue et contrôlée dans le fermenteur. le mode de culture continu est un peu plus difficile à mettre en œuvre avec un risque accru de contamination bactérienne. Les productivités obtenus sont beaucoup plus élevées: $12.7 \text{ g.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (Bayrock et Ingledew, 2005). Trois types sont distingués:

III-6-3-1- A un étage

Le but est de bloquer les cellules en phase de croissance exponentielle et de production d'éthanol. Cependant, le taux de production est difficile à maintenir en raison de problèmes de stabilité du processus dans le temps (contamination, stabilité de la souche). La production d'éthanol est aussi limitée par une faible concentration en cellules et par l'inhibition par l'éthanol lui-même. La productivité dépend de l'apport en substrat ; il convient donc de trouver un optimum entre limitation et inhibition (Prenosil 1983).

III-6-3-2- A plusieurs étages

Plusieurs réacteurs sont mis en cascade. A chaque étage, s'effectue une phase différente de la fermentation (croissance de la biomasse, production d'éthanol...). Cette technique permet de limiter l'inhibition par les produits finaux, d'augmenter les titres de sortie en éthanol et donc la productivité (Maiorella *et al.*, 1984). Le milieu de culture passe d'un fermenteur à l'autre jusqu'à atteindre le dernier où il est traité afin de séparer les levures du vin, comme pour le fermenteur semi-continu (da Graça Stupiello Andrietta *et al.*, 2011). Une application d'un procédé continu à plusieurs étages conduit à la production finale de 16,7 % (environ 130 g.l^{-1}) d'éthanol (Bayrock et Michael, 2001).

III-6-3-3- A haute densité cellulaire et/ou recyclage de la biomasse

Pour augmenter la densité cellulaire, et donc la productivité, des systèmes à cellules recyclées sont utilisés. La concentration en biomasse peut atteindre jusqu'à plus de 100 g.l⁻¹ (Escobar *et al.*, 2001), avec des productivités en éthanol de l'ordre de 30-40 g.l⁻¹.h⁻¹ (Ben Chaabane *et al.*, 2006; del Rosario *et al.*, 1979; Dellweg, 1983; Prenosil 1983).

III-6-4- Comparaison des types de fermentation

La comparaison des types de fermentation indique que l'utilisation des équipements atteint 100% dans le cas de la fermentation continue, ce qui garantit une plus grande productivité. La taille des équipements peut également être réduite par rapport à la configuration semi-continue et le coût également. D'un autre côté, les fermenteurs discontinus sont plus faciles à entretenir et tout le flux de levures est envoyé pour traitement ce qui garantit un ferment plus propre que dans le cas continu. Cela induit donc une contamination moins grande des réacteurs semi-continus. Afin de pallier le taux de contamination des fermenteurs continus, de nouvelles technologies de nettoyage en ligne des fermenteurs, tanks et échangeurs de chaleur sont développées. Le rendement des deux fermenteurs est peu différent lorsqu'ils sont en opération courante (da Graça Stupiello Andrietta *et al.*, 2011).

D'autres techniques consistent à augmenter la productivité en soutirant l'éthanol au fur et à mesure de sa formation : soit par évaporation, soit par utilisation de membrane de dialyse, mais son utilisation paraît trop complexe pour une industrialisation. Donc, chaque type de procédé présente des avantages et des inconvénients, les principaux avantages et inconvénients de ces types de fermentation sont groupés dans le tableau suivant:

Tableau III-3: Principaux avantages, principaux inconvénients et ordre de grandeur de la productivité atteinte par différents procédés de production d'éthanol (COT Marlène, 2006).

	Avantages	Inconvénients	Productivité g.l ⁻¹ . h ⁻¹
Batch	- Facilité d'utilisation et de mise en oeuvre - Coût investissement - Concentration finale en éthanol importante	- Phase de latence, faible productivité, - Temps de préparation et de nettoyage important	2
Batch recyclé	- Id batch mais phase de latence raccourcie	Temps de préparation et de nettoyage important	15
Fed-batch ou semi-continu	Idem batch - Limiter inhibition par le substrat	- Productivité qui reste Faible	2-3 (Alfenore <i>et al.</i> 2002) 12 (Lu <i>et al.</i> 2003)
continu	- Gain de temps de préparation - Fermenteur souvent plus petit - Plus économique	- Problème de stabilité dans le temps : contaminations, stabilité des souches - Faible concentration cellulaire et en éthanol	5
Continu à haute densité cellulaire	- Forte productivité	- Problème pour le recyclage des cellules (colmatage....)	40 (Ben Chaabane <i>et al.</i> 2006; del Rosario <i>et al.</i> 1979)
Continu multiétagé	- Séparation des étapes donc limitation des inhibitions	-Beaucoup d'équipement	12-18 (Bayrock et Michael 2001)
Continu recyclé à évaporation à biomasse recyclée	- Limite inhibition par éthanol - Forte productivité	- Problème pour le recyclage des cellules (colmatage....)	80 (Cysewski et Wilke 1978)

III-7- Autres types de fermentation (GOMEZ, 2014):

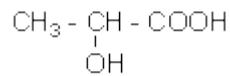
Suivant la nature des produits issus de la réaction enzymatique, on distingue plusieurs types de fermentation :

III-7-1- Fermentation lactique:

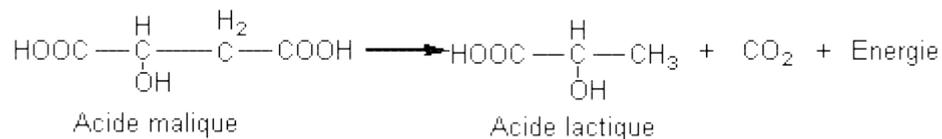
Il se forme de l'acide lactique à partir du glucose.



L'acide lactique ayant comme formule semi-développée:



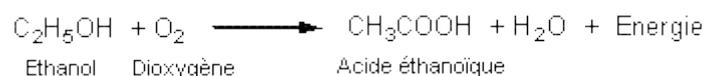
La fermentation malolactique est un cas particulier, l'acide lactique se formant au détriment de l'acide malique.



La fermentation lactique intervient dans l'élaboration des yaourts, des laits fermentés, des saucissons, de la choucroute, du levain pour le pain, de certains fromages. Elle est homolactique quand sous l'action de bactéries homofermentaires l'acide lactique est majoritaire. Parmi les bactéries homofermentaires des bactéries des genres *Lactococcus*, *Lactobacillus* et *Streptococcus*. La fermentation lactique peut être hétérolactique quand sous l'action de bactéries hétérofermentaires on obtient de l'acide lactique et d'autres produits, éthanol, acide éthanoïque, dioxyde de carbone. Parmi les bactéries hétérofermentaires des bactéries des genres *Leuconostoc* et certains *Lactobacillus*.

III-7-2- Fermentation acétique

Il se forme de l'acide éthanoïque à partir de l'éthanol.



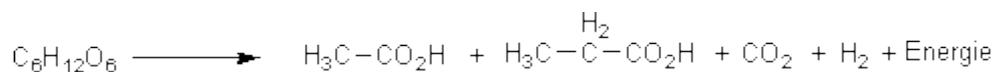
Remarquons que cette fermentation est aérobie, l'oxydation nécessitant l'oxygène de l'air pour avoir lieu.

C'est à Louis Pasteur (1808-1873) que nous devons la découverte de la nature biochimique du processus de formation du vinaigre. A partir de 1865, sur la base des recherches de Pasteur, la production industrielle de vinaigre a connu un grand essor. La bactérie du vinaigre "aceto-bacter" se développe dans le vin non bouché. Les petites mouches qui sont fortement attirées par le vin placé à l'air libre et qu'on appelle mouches du vinaigre (drosophiles) véhiculent

l'aceto-bacter. Les bactéries de l'acide acétique forment une couche à la surface que l'on appelle la mère du vinaigre. L'aceto-bacter utilise pour vivre l'énergie libérée par l'oxydation. Les processus qui ont lieu en présence d'oxygène de l'air sont dits aérobies. Toute solution alcoolique diluée peut donner de l'acide acétique; dans ce cas le taux d'alcool correspond à la quantité d'acide acétique qui résultera de la transformation.

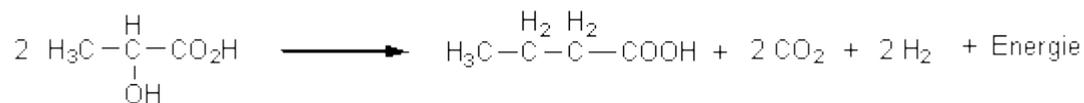
III-7-3- Fermentation propionique

De l'acide propanoïque, de l'acide éthanoïque ainsi que du CO₂ et du dihydrogène se forment.



L'acide propionique (ou propanoïque) et l'acide éthanoïque sont responsables de la flaveur des fromages à pâte cuite et le gaz carbonique responsable de l'ouverture de ces fromages (Comté, Gruyère et Emmental). Les bactéries qui produisent ce type de fermentation sont les bactéries propioniques (genre *Propionibacterium*).

III-7-4 - Fermentation butyrique : Il se forme de l'acide butanoïque, du CO₂ et du dihydrogène à partir de l'acide lactique déjà formé par fermentation lactique:



L'acide butyrique est responsable de l'odeur putride et du goût piquant de certains fromages à pâte cuite. Cette fermentation a lieu sous l'effet des bactéries *Clostridium butyricum*.

Chapitre IV
Matériels et
Méthodes

IV-1-La région d'El Oued

La Wilaya d'El Oued est située au Sud-Est de l'Algérie, elle a une superficie de 44586.80Km². Elle est limitée : au Nord est par la wilaya de Tébessa et Khenchela; au Nord-Ouest par la wilaya de Biskra; à l'Ouest par la wilaya de Djelfa; au Sud et ouest par la wilaya de Ouargla et à l'est par la Tunisie.

La wilaya rencontre quatre principales agglomérations :

Région de Souf - Erg - Oued Righ - Régions dépression (ANDI, 2014).

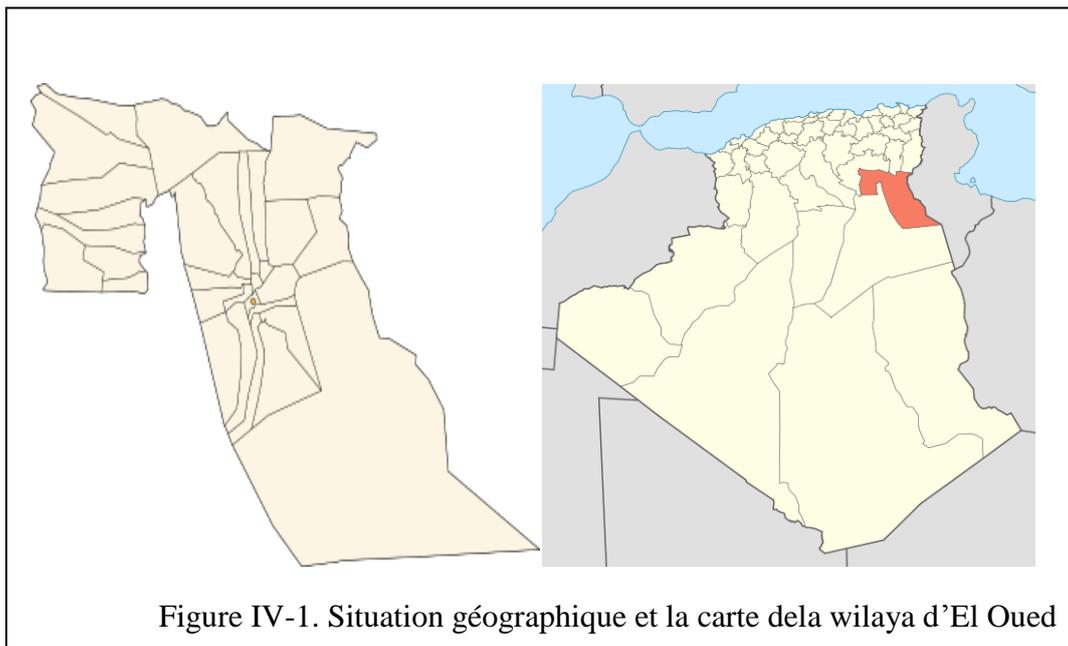


Figure IV-1. Situation géographique et la carte de la wilaya d'El Oued

La wilaya d'El Oued est considérée parmi les plus importantes wilayas d'Algérie producteurs de dattes avec un taux de 29.54% de la production nationale, Le potentiel phoenicicole de cette wilaya enregistre un accroissement important avec un effectif voisinant 3.4 millions de palmiers dattiers pour une superficie de plus de 32562 ha, avec une production d'environ 212 mille tonnes, dont 31.33mille tonnes de Deglet Nour (annexe 1), considérée comme étant la meilleure variété de dattes commerciales (Annuaire statistiques agricoles de la wilaya d'El Oued,2013). Les dattes de faibles valeurs marchandes représentent environ 50% de la production totale des dattes.

IV-2-Choix des variétés

Pour réaliser une étude comparative de rendement en bioéthanol des moûts des différentes variétés nous avons choisi les quatre variétés suivantes :Ghars, Tinissine,

Taquermeste et Boucheire, leur choix est basé sur leur abondance et leur disponibilité en quantité non négligeable dans la région d'El Oued.



Figure IV-2. Photo de dattes variété Ghars



Figure IV-3: Photo de dattes: variété Tinissine



Figure IV-4. Photo de dattes variété Taquermest



Figure IV-5. Photo de dattes: variété Boucheire

IV-3- Caractérisation physico-chimique de la matière première

On a déterminé les caractéristiques physiques qui sont : la couleur, consistances, poids de la datte, poids de la pulpe, le rapport pulpe/ datte, poids du noyau, la longueur de la datte et largeur de la datte. Les caractéristiques chimiques déterminées sont : les taux des sucres (sucre totaux, sucres réducteurs et le saccharose)

IV-3-1-Méthodes et techniques d'analyses physiques de la matière première

Les analyses et les mesures réalisées sur dix (10) dattes sont :

- ✓ La couleur a été appréciée visuellement;
- ✓ La consistance : au toucher;
- ✓ Les dimensions sont déterminées par le biais d'un pied à coulisse et le rapport a été déterminé par :

$$\text{Rapport longueur/largeur} = \frac{\text{Longueur de la datte (cm)}}{\text{Largeur de la datte (cm)}}$$

- ✓ Les poids (de la datte entière, de la pulpe et du noyau) sont déterminés directement à l'aide d'une balance analytique de type : SCALTEC (SBA 62 Max 4200g, P= ± 0.0001). Les rapports suivants ont été déterminés :

$$(1)\dots\dots\dots\text{Rapport pulpe/datte (\%)} = \frac{\text{Poids de la pulpe (g)}}{\text{Poids de la datte entière (g)}} \times 100$$

$$(2)\dots\dots\dots\text{Rapport noyau/datte (\%)} = \frac{\text{Poids du noyau (g)}}{\text{Poids de la datte entière (g)}} \times 100$$

$$(3)\dots\dots\dots\text{Rapport noyau/pulpe (\%)} = \frac{\text{Poids du noyau (g)}}{\text{Poids de la pulpe (g)}} \times 100$$

IV-3-2- Méthodes et techniques d'analyses chimiques de la matière première

On s'intéresse par la détermination des teneurs en sucres : sucres réducteurs, sucres totaux et en saccharose.

IV-3-2-1- Dosage des sucres réducteurs (Dobois et al.1956)

Le dosage des sucres réducteurs est effectué par la méthode de phénol / acide sulfurique :Les glucides en milieu acide sulfurique et à chaud sont déshydratés en dérivés du furfural qui se combine facilement avec le phénol et donnent une coloration jaune-orange(le glucose fournit de l'hydroxyfurfural). L'absorbance est lue à la longueur d'onde de 490 nm. La coloration est permanente (Audigie, 1983).

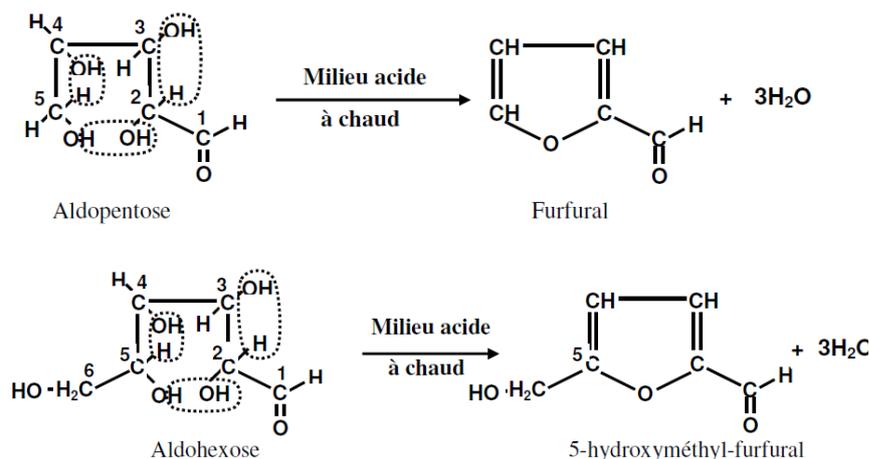


Figure IV-6. Déshydratation des glucides en milieu acide

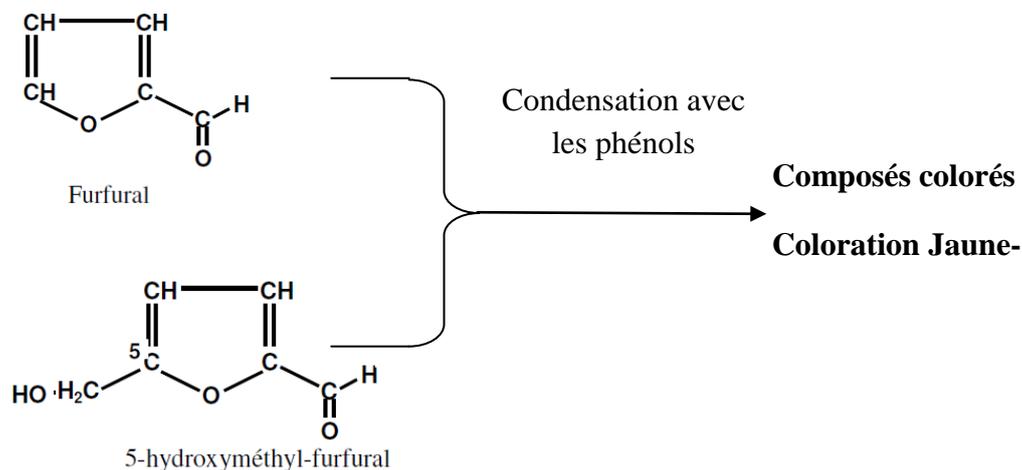


Figure IV-7. L'action des phénols sur les furfurals

Mode opératoire

- ✓ On mélange 1g de la datte avec 300ml d'eau distillée et 3g de bicarbonate de calcium (CaCO₃);
- ✓ On chauffe le mélange pendant 30 minute jusqu'à l'ébullition sous agitation;
- ✓ Après refroidissement du mélange, on l'ajoute l'eau distillé jusqu'à un litre;
- ✓ On filtre le mélange pour éliminer les matières non solubles;
- ✓ Dans du tube à essai, on met 1ml du mélange;
- ✓ On l'ajoute 1ml de phénol (5%) et 5ml d'acide sulfurique H₂SO₄ (98%);

- ✓ Les tubes sont maintenus dans l'étuve pendant 5 minutes à 105°C puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes;
- ✓ Enfin, à l'aide d'un spectrophotomètre UV Visible, on lit la densité optique à une longueur d'onde de 490nm.

A partir des densités optiques de la courbe d'étalonnage (Figure IV-8 : $DO = f(C)$, $DO = \varepsilon \ell C$), on peut obtenir la teneur en sucres d'échantillon à analyser, où ε représente la pente de la droite. La teneur des sucres est exprimée en $\mu\text{g/ml}$ (converti en grammes/litre) de α D (+) glucose.

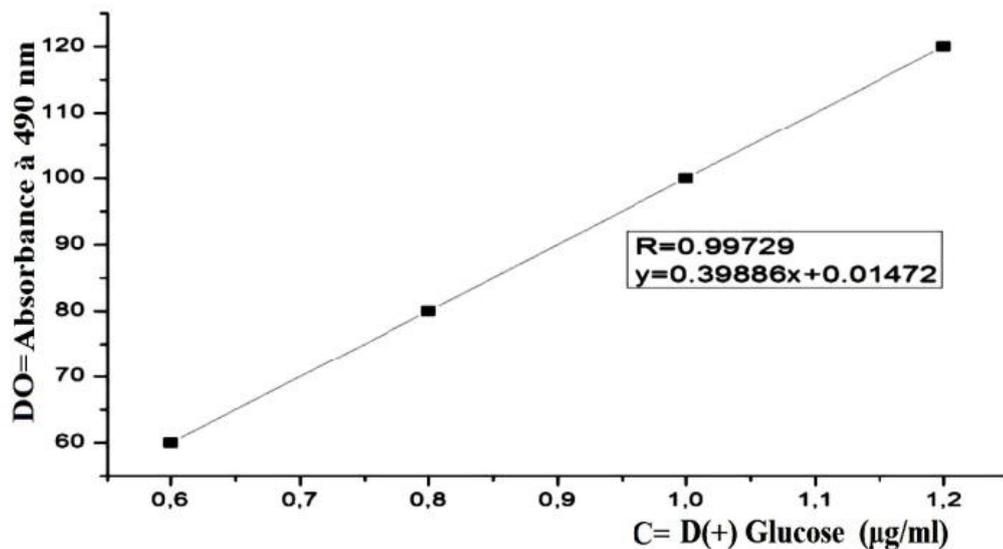


Figure IV-8. Courbe d'étalonnage de D(+)-Glucose (Boulal et al., 2013)

IV-3-2-2- Dosage des sucres totaux

Un milieu acide permet l'hydrolyse du saccharose en sucres réducteurs, dont l'analyse est plus facile (dosage des sucres réducteurs). Le résultat obtenu représente la quantité des sucres réducteurs déjà présente ainsi que les sucres obtenus par hydrolyse du saccharose; donc ce sont les sucres totaux (Audigie et al., 1983; Linden et Lorient, 1994).

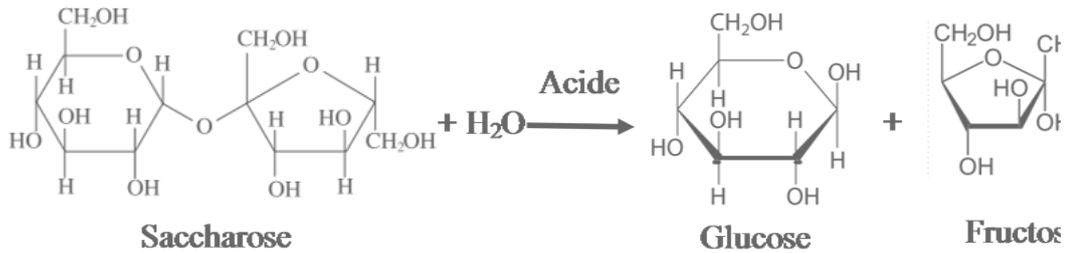


Figure IV-9. Hydrolyse du saccharose en milieu acide

Mode opératoire

- ✓ Au 5ml de notre produit, on ajoute 5ml de l'acide chlorhydrique (HCl 2N);
- ✓ On le mélange à 100°C dans un bain marie pendant 30 minutes;
- ✓ Après refroidissement, on prend 1ml du mélange;
- ✓ Pour le dosage des sucres totaux, on procède comme pour les sucres réducteurs.

IV-3-2-3-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 suivant la relation : **Saccharose = (sucres totaux - sucres réducteurs) x 0,95** (Audigie et al., 1980).

IV-4- Matériel biologique

Pour la production de l'éthanol à partir des dattes, on a utilisé la levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae*. Cette levure est conservée dans un endroit frais et sec. Elle est caractérisée par ces capacités à fermenter une quantité importante de sucre. Elle est disponible sur le marché sous plusieurs marques et des prix acceptables.

IV-5- Etapes de la production de l'éthanol par fermentation des dattes

La production de l'éthanol à partir des dattes au niveau de laboratoire se fait selon les étapes suivantes (diagramme figure IV-10): nettoyage et dénoyautage des dattes, préparation du moût de dattes, fermentation, distillation et rectification.

IV-5-1- Préparation du moût

Le moût est un liquide sucré, pour le préparer, les dattes sont lavées pour les débarrasser des poussières et diminuer leurs charges microbiennes, en suite ils sont dénoyautés. Le moût de dattes est obtenu par macération de dattes dénoyautées dans l'eau chaude de 70 à 80°C. La quantité se détermine par 1Kg de dattes dénoyauté sur chaque 3L eau distillée avec l'agitation continue de mélange pendant 5 heures pour éviter la sédimentation de dattes et maintenir l'homogénéité en tous points de mélange. Enfin la solution est filtrée à l'aide d'un tissu qui sépare les fibres des dattes et le moût.

IV-5-2-Procédé de la fermentation alcoolique

Le moût préparé est utilisé directement pour la fermentation anaérobie avec la levure de boulangerie *Saccharomyce servisie* après est développée dans un milieu enrichi par des sels minéraux (sulfate d'ammonium, phosphate d'ammonium). Le fermenteur est plongé dans un bain-marie pour maintenir la température constante à 32°C avec un pH ajusté entre 4.2 et 5.4 par l'utilisation des solutions H₂SO₄ (1N) et NaOH (1N), la quantité de levure utilisée est de 3g pour 3litres de moût. La fermentation est réalisée durant 72 heures.

IV-5-3-Distillation et rectification

A la fin de la fermentation, on obtient un vin de dattes qu'il faut le filtrer par un tissu pour séparer les fibres et la levure. Pour extraire l'éthanol, le vin filtré est distillé à une température de l'ordre de 79°C. La rectification de l'alcool brut nécessite une deuxième distillation de l'ordre de 78°C. L'alcool obtenu est de l'ordre de 95°, l'obtention d'un alcool plus pur nécessite l'emploi des techniques de déshydratation.

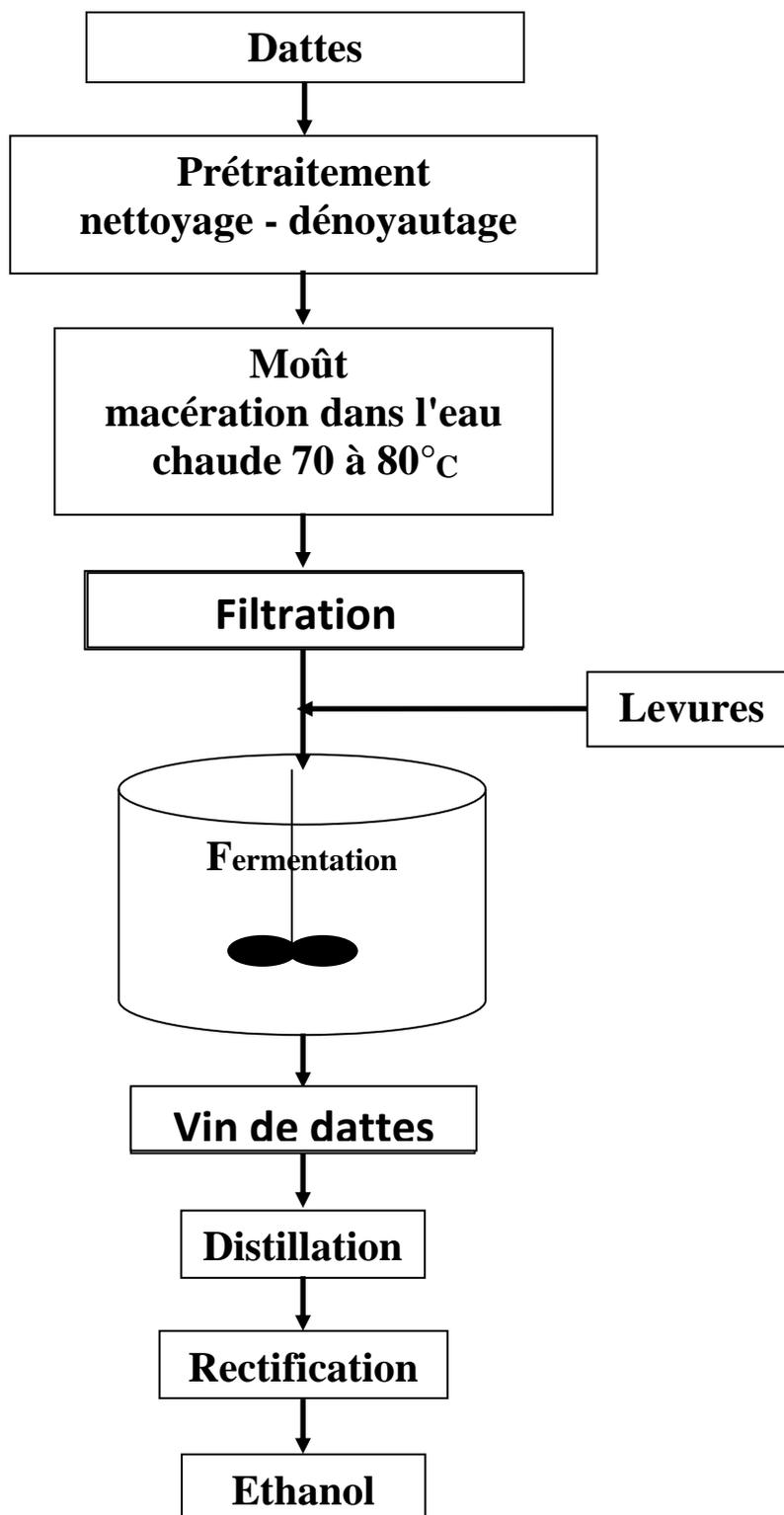


Figure IV-10. Diagramme de production de l'éthanol

IV-6- Optimisation des paramètres de la fermentation

Pour obtenir des meilleurs rendements en bioéthanol, on a optimisé les paramètres de la fermentation alcoolique du moût de dattes qui sont : la température, le pH du milieu, la quantité de la levure et la durée de fermentation. Pour chaque paramètre on a préparé le moût selon la méthode décrite dans la littérature et en variant un paramètre et en fixant les autres.

IV-6-1-Pour la température

Le moût de dattes est fermenté anaérobiquement pendant 72 heures, le pH est ajusté entre 4.2 et 5.4, la quantité de levure utilisée est de 3g pour 3litres de moût, la fermentation est réalisée sous les températures : 18, 22,26, 30, 34°C.

IV-6-2-La quantité de levure

La fermentation du moût est effectué à une température de 32°C, le pH entre 4.2 et 5.4, avec une durée de la réaction 72 heures et on varie la quantité de la levure utilisée: 0, 1, 2, 4 et 5g pour 3litres du moût.

IV-6-3-Le pH

Les valeurs de pH sont varié entre 2, 3, 4, 5 et 6, la fermentation est réalisée pendant une durée de 72 heures, la quantité de levure utilisée est de 4g pour 3litres de moût, la température est maintenue fixe à 32°C.

IV-6-4-La durée de la réaction

Pour chercher la meilleure durée de la fermentation, on fixe la température à 32°C, le pH est ajusté entre 4.2 et 5, la quantité de la levure est 3g pour 3litres de moût et on mesure le volume du bioéthanol obtenu après 24, 36, 48, 60 et 72 heures de fermentation.

IV-6-4-Le taux de remplissage du bioréacteur

Les paramètres de la fermentation sont fixés comme suit: la température 32°C, le pH entre 4.2 et 5, la quantité de la levure 3g pour 3litres de moût, la durée de la réaction 72 heures et on varie le taux de remplissage du fermenteur (rapport charge/bioréacteur) de 15% à 90% avec un incrément de 15%.

IV-7- Analyses du produit fini

Pour le bioéthanol obtenu on détermine:

IV-7- 1- Le degré d'alcool: Il est déterminé à l'aide d'un alcoomètre de type 'Al-Ambik®' avec une échelle de mesure 0 - 100 Vol% (fig. IV-11), cet instrument fonctionne selon le principe d'Archimède : plus le liquide est léger (moins dense), et plus l'alcoomètre s'enfonce et vice-versa. Il suffit donc de lire la graduation au niveau du liquide.



Fig. IV-11: Photo d'un alcoomètre

IV-7- 2- L'indice de réfraction: Il est déterminé directement par un réfractomètre marque Abbe Model 2WAJ.

IV-7- 3- L'inflammabilité: on teste l'inflammabilité du bioéthanol obtenu, on fait rapproché la flamme à une quantité de bioéthanol.

IV-8- Modélisation de rendement en bioéthanol

Pour la modélisation de rendement en bioéthanol on a établi la matrice qui résume les vingt-cinq essais de l'optimisation des paramètres de la fermentation, on est utilisé l'extension stat du Microsoft excel (xlstat) pour choisir l'équation du modèle. Après le choix de l'équation du modèle, nous avons élaboré un programme en langage Fortran permettant le calcul du rendement en bioéthanol en introduisant les paramètres de la fermentation.

Chapitre V
Résultats et
discussions

V-1- Résultats d'analyses physiques

Le tableau suivant regroupe les caractéristiques physiques des quatre cultivars étudiés:

Tableau V-1: Caractéristiques physiques de dattes étudiées

	Ghars	Tinissine	Taquermeste	Boucheire
Couleur	Marron	Noir	Noir	Ambrée-Noir
Consistances	Molle	Molle	Molle	Demi-molle
Poids de la datte (g)	12.68	8.18	12.48	8.27
Poids de la pulpe (g)	11.6	6.75	11.25	6.44
Rapport pulpe/ datte (%)	91.48	82.52	90.14	77.87
Poids du noyau (g)	1.08	1.43	1.23	1.83
Rapport noyau/datte (%)	8.51	17.48	9.85	22.52
Rapport noyau/pulpe (%)	9.31	21.1	10.93	28.41
Longueur de la datte	4.45	3.7	2.4	3.85
Largeur de la datte	2.0	1.55	2.5	1.2
Rapport longueur/largeur	2.22	2.38	0.96	3.2

On remarque que les variétés choisies ont des consistances molle pour les variétés Tinissine et Taquermeste et demi-molle pour la variété Boucheire. Les poids de ces variétés sont plus grands que les poids des variétés d'Oman étudiés par Al Harthi et autres auteurs poids entre 4.66 et 7.22g, par contre les rapports pulpe/ datte des variétés d'Oman publiés par les mêmes auteurs 85.33 et 91.81% légèrement plus grands que ces rapports de nos variétés.

V-2-Résultats d'analyses chimiques

Les teneurs en sucres des quatre variétés sont consignés dans le tableau-2.

Tableau V-2: Teneurs en sucres de dattes étudiées

Variété	Tau du sucre (%)		
	Sucres totaux	Sucres réducteurs	Saccharose
Ghars	88.52	83.1	5.13
Tinissine	77.6	76.7	0.85
Taquermeste	79.9	78.7	1.14
Boucheire	73.21	78.51	5.04

On peut remarquer que la datte de variété Ghars est la plus sucrée avec un teneur en sucre totaux de 88.52%, les autres variétés ont des teneurs proches en sucres réducteurs, les dattes de variétés Ghars et Boucheire sont riches en saccharose avec un teneur en saccharose respectivement 5.13 et 5.04%, par contre les deux autres ont des teneurs faibles en saccharose 0.85% pour le Tinissine et 1.14% pour le Taquermeste.

Les taux élevés en sucres facilitent la fermentation des mouts de ses dattes et donc l'obtention du bioéthanol. Assirey (2015) est publié les teneurs en sucres des dix cultivas Saoudites ces teneurs sont entre 71.2 et 81.4 pour les sucres totaux et 68.2 et 78.3 pour les sucres réducteurs. Pour des dattes Egyptiennes El-Nagga et Abd El-Tawab (2012) ont montré que leurs dattes étudiées contenant 77.7% des sucres totaux et 75.2 des sucres réducteurs. L'étude du Chtourou et al (2012) sur trois variétés des dattes tunisiennes montre un taux des sucres totaux entre 50 et 68%, par contre le sirops des mêmes variétés contenant entre 80.97 et 85.47% en sucres totaux (Jridi et al. 2015). Notre résultats d'analyse physico chimique sont comparables et proches à celles des dattes étudiées par des auteurs tels que Acrourene (1992), Ould El Hadj (2001), Khali (2007).

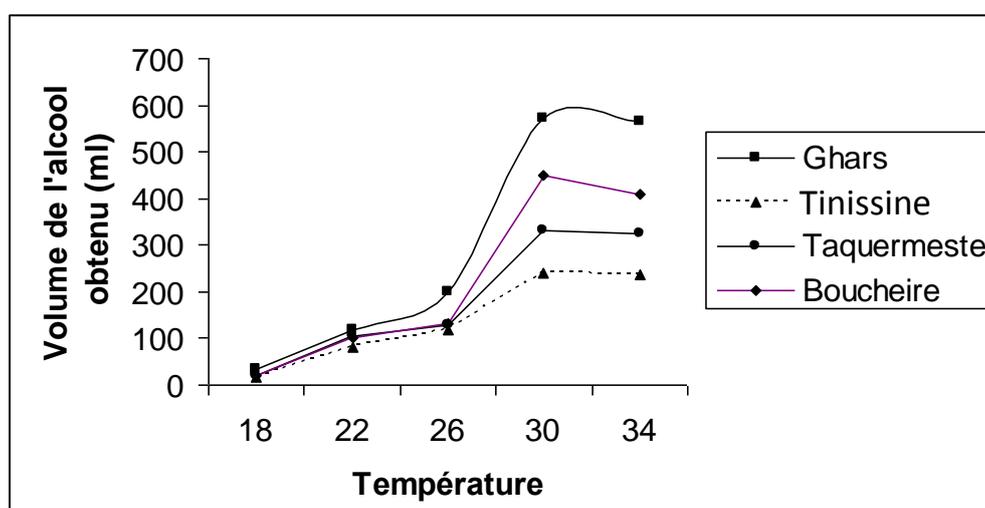
V-3-Résultats de l'optimisation

V-3-1-Influence de la température

La fermentation est un processus très exothermique qui provoque le dégagement de 23,4 kcal par mole de sucre (Williams 1982), ce que fait la régulation de la température est nécessaire pour l'obtention des meilleurs rendements en bioéthanol. On a remarqué que le meilleur rendement est réalisé entre 30 et 32°C, d'après Graeme (2011) les meilleurs températures sont entre 30 et 35°C, on peut avoir la fermentation à une basse température mais avec un faible rendement, les températures au-delà de 35°C ont un effet négatif sur le métabolisme cellulaire réduisant la productivité de l'éthanol et d'endommager la viabilité des cellules (Olivério et al. 2010). Les tests ont été effectués par Torija (2003) dans deux souches de *Saccharomyces cerevisiae* et une souche de *Saccharomyces bayanus*, montrent que les basses températures limitent la croissance des levures et allongent les fermentations.

Tableau V-3:Influence de la température sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

Température		18	22	26	30	34
Volume de l'alcool obtenu (ml)	Ghars	35	120	200	570	565
	Tinissine	17	80	120	240	237
	Taquermeste	19	105	127	330	326
	Boucheire	20	100	133	450	410

**Figure V-1:** Influence de la température sur le rendement pour 1 kg de dattes dénoyautées

V-3-2- Influence de la quantité de levure

La présence de la levure favorise la réaction de la fermentation, mais on peut réaliser une fermentation sans levure mais avec un rendement très faible, 4g de la levure pour 3litres de moût donne un bon rendement, l'excès de la levure consomme la matière fermentable ce qui diminue le rendement.

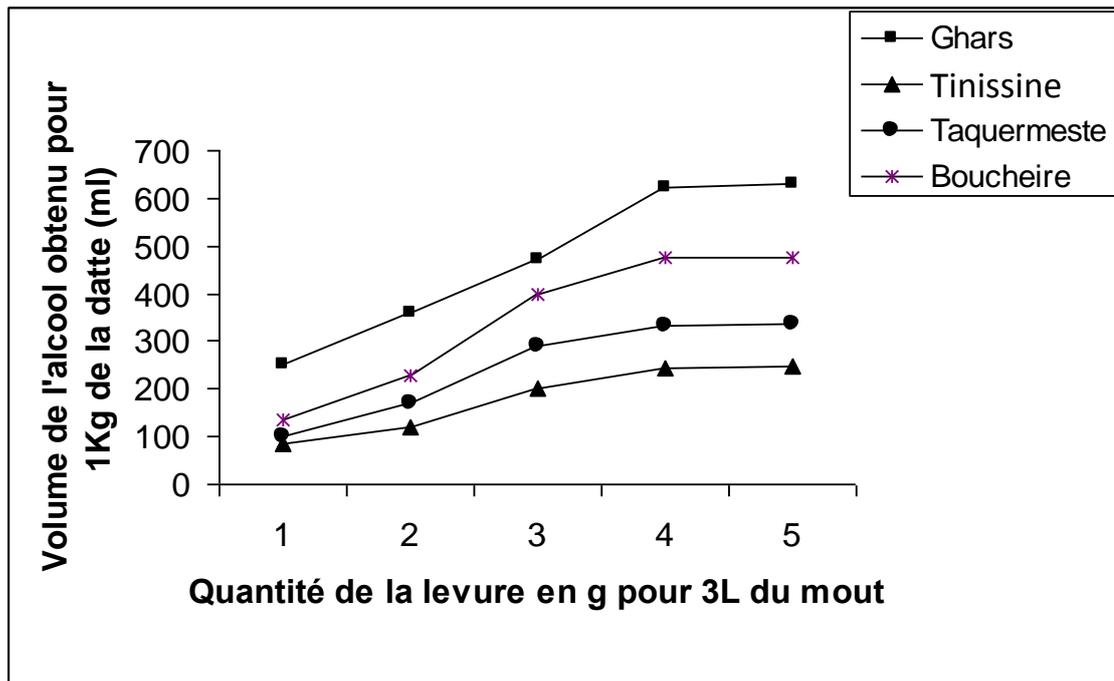


Figure V-2:Influence de la quantité de levure sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

Tableau V-4: Influence de la quantité de levure sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

Quantité de la levure en g pour 1L du moût		0	1	2	4	5
Volume de l'alcool obtenu pour 1Kg de la datte (ml)	Ghars	250	360	470	624	629
	Tinissine	85	120	203	242	247
	Taquermeste	100	170	290	333	336
	Boucheire	134	227	400	475	476

V-3-3- Influence du pH

D'après AKIN (2008), le pH exerce tout d'abord une action sélective sur la microflore susceptible de se développer dans le milieu. Le pH acide du moût protège ce dernier du développement de toute flore pathogène, sans pour autant inhiber l'activité des levures. En effet bien que leur pH optimum d'activité se situe vers des valeurs de pH de 5 à 6, les valeurs usuelles de pH du moût ne sont pas inhibitrices. Torija et coll. (2003) montraient que le pH initial de fermentation induit la valeur du pH final et surtout la vitesse de consommation du substrat

carboné : les pH bas ralentissant la consommation du sucre et réduisant par conséquent la productivité.

La variation du pH influe la production des produits secondaires par la levure (*S. cerevisiae*) lors de la fermentation alcoolique comme le montre les valeurs rapportées par Usseglio-Tomasset (1978) (Tableau V-6).

Le rendement augmente avec le pH et on constate que les meilleurs résultats avec un pH entre 4 et 5.

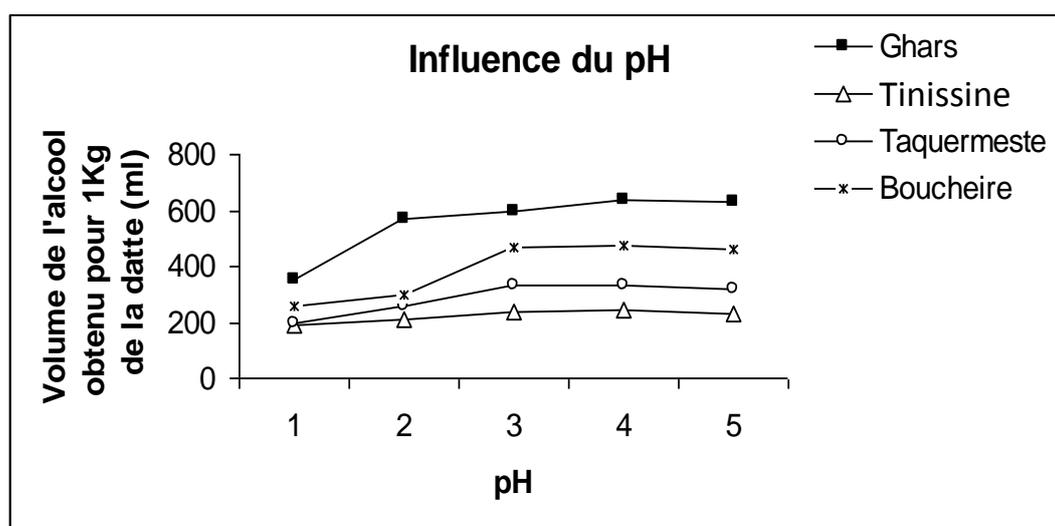


Figure V-3. Influence du pH sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

Tableau V-5: Influence du pH sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

pH		2	3	4	5	6
Volume de l'alcool obtenu pour 1Kg de la datte (ml)	Ghars	350	570	600	640	630
	Tinissine	190	210	240	245	229
	Taquermeste	200	257	330	335	320
	Boucheire	260	300	470	473	460

Tableau V-6. Produits secondaires formés par *S. cerevisiae* à différents pH du moût (Usseglio-Tomasset, 1978).

Produits (mmoles/L)	pH				
	3,0	5,0	5,8	7,0	8,0
Glycérol	84	80	112	169	209
Ac. Acétique	17	16,5	32	53	80,5
Ac. Succinique	6,3	6,3	5,6	9,3	10,1
Acétoïne	1,0	0,8	0,7	0,5	0,5
2,3 butanediol	7,2	7,2	6,3	4,8	4,1
Ethanal	1,0	1,1	1,3	1,0	1,0

V-3-4- Influence de la durée de la réaction

Après 24 heures de fermentation on peut avoir la production de l'éthanol, cette production augmente rapidement entre 36 et 48 heures de la réaction, l'augmentation du rendement continue jusqu'au 72 heures de la fermentation. D'après Ould El Hadj et al. (2012) après 72 heures de la fermentation les sucres résiduels sont sous forme de traces, plus de 72 heures le rendement diminue suite la transformation de l'alcool en acide carboxylique.

Tableau V-7: Influence de la durée de la réaction sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

Durée de la fermentation en (h)		24	36	48	60	72
Volume de l'alcool obtenu pour 1Kg de la datte (ml)	Ghars	80	203	500	570	624
	Tinissine	30	90	150	210	242
	Taquerreste	40	100	230	300	333
	Boucheire	62	159	312	442	475

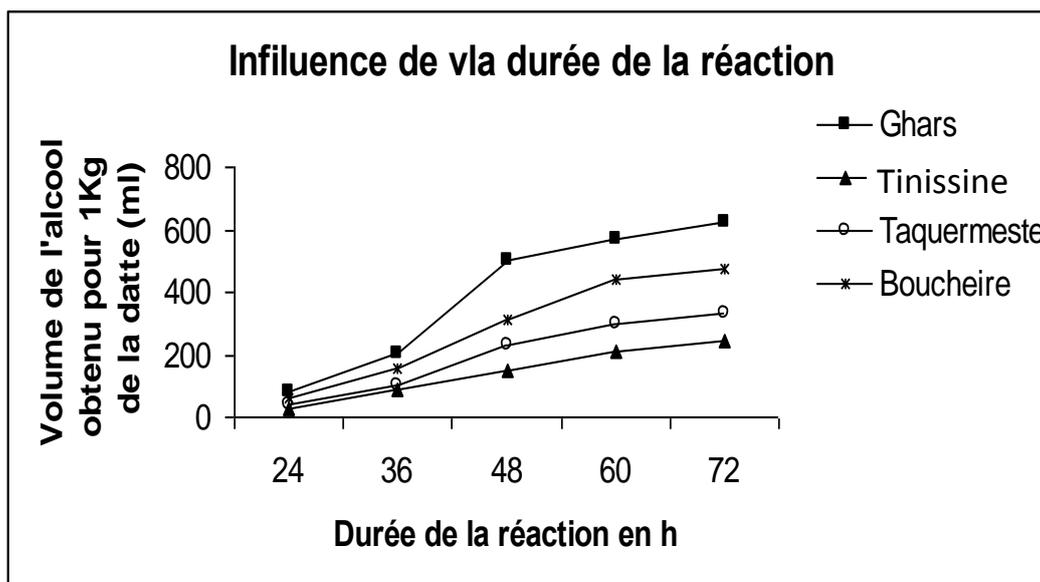


Figure V-4. Influence de la durée de la réaction sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées.

V-3-5- Influence du taux de remplissage du bioréacteur

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau suivant:

Tableau V-8: Influence du taux de remplissage du bioréacteur sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

Datte dénoyautée (Kg)		0,25	0,5	1	1,25	1,5
Rapport charge/volume du bioréacteur %		15	30	60	75	90
Volume de l'alcool obtenu pour 1Kg de la datte(ml)	Ghars	560	595	624	612	589
	Tinissine	195	222	242	225	210
	Taquermeste	280	310	333	312	300
	Boucheire	410	442	475	467	445

On constate que les meilleurs rendements situent entre 60 et 75%.

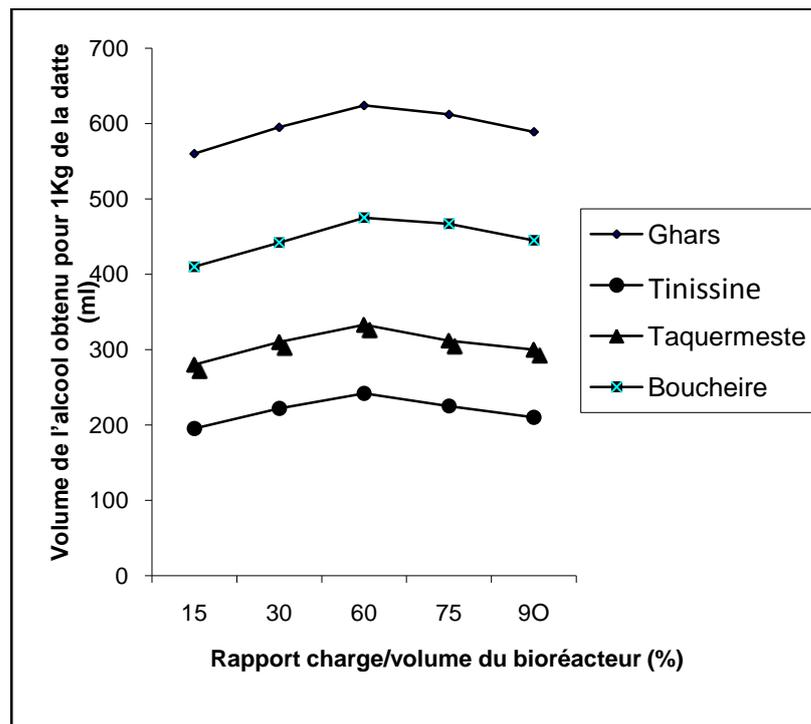


Figure V-5. Influence du taux de remplissage du bioréacteur sur le rendement pour 1kg de dattes dénoyautées

V-4- Résultats de l'analyse de produit obtenu

V-4- 1- Le degré d'alcool: l'éthanol obtenu après rectification est d'un degré d'alcool 95° en volume donc notre bioéthanol est conforme aux normes.

V-4- 2- L'indice de réfraction: Notre produit fini présente un indice de réfraction égale à 1.360, cette valeur est plus proche à celle de la valeur standard de l'éthanol commercial.

V-4- 3- L'inflammabilité: le bioéthanol obtenu par fermentation des dattes et facilement inflammable.

V-5- Etude technico - économique du procédé

Les dattes de variété Ghars sont largement consommables, leurs prix sur le marché algérien est entre 50 et 100DA soit entre 0.47et 0.95€. Les autres variétés leurs prix sur le marché algérien ne dépassent pas 25 DA (0.23€). Le coût de la production de l'éthanol à partir des dattes est de l'ordre de 60 DA (0.57€) pour 1Kg de datte (électricité, réactifs, matière première, main d'œuvre...).

Le rendement moyen des trois variétés(Tinissine, Taquermeste et Boucheire) est 350 ml éthanol pour 1Kg de ces variétés, le prix d'éthanol 95° sur le marché mondiale est 10.6€ (1113DA) (servilab, 2013), donc le prix d'un kg de ces dattes quand le transforme en bioéthanol est environ 3.71€ au lieu de 0.23€ sans transformation soit un bénéfice d'environ 2.91€ pour le Kg de ces dattes.

V-6-Résultats de modélisation**V-6-1- Matrice du système**

La matrice du système c'est tableau de six colonnes et vingt-cinq lignes regroupent tous les résultats de l'optimisation (valeurs moyennes des rendements en bioéthanol des trois variétés : Tinissine, Taquermeste et Boucheire) comme le montre le tableau suivant:

Tableau V-9:Matrice du système

Rapport charge/volume du bioréacteur %	Durée de la fermentation en (h)	pH	Quantité de la levure	Température	Rendement
90	72	5	3	18	18,66
90	72	5	3	22	95
90	72	5	3	26	126,66
90	72	5	3	30	340
90	72	5	3	34	324,33
90	72	5	0	32	106,33
90	72	5	1	32	172,33
90	72	5	2	32	297,66
90	72	5	4	32	350
90	72	5	5	32	353
90	72	2	4	32	216,66
90	72	3	4	32	255,66
90	72	4	4	32	346,66
90	72	5	4	32	351
90	72	6	4	32	336,33
90	24	5	3	32	44
90	36	5	3	32	116,33
90	48	5	3	32	230,66
90	60	5	3	32	317,33
90	72	5	3	32	350
15	72	5	4	32	292
30	72	5	4	32	319,8
60	72	5	4	32	346,8
75	72	5	4	32	338,2
90	72	5	4	32	386

V-6-2- Résultats de la régression non linéaire

La régression non linéaire est utilisée pour ajuster des données à n'importe quelle fonction linéaire, ou non linéaire. La méthode utilisée est celle des moindres carrés. La régression non linéaire permet de modéliser des phénomènes complexes n'entrant pas dans le cadre du modèle linéaire.

$$\begin{aligned}
 \text{Rendement} = & -1696,27500199369 + 21,069523117268 * \text{Température} \\
 & + 115,001286617778 * \text{Quantité de la levure} + 155,027676071543 * \text{pH} \\
 & + 14,6363735320705 * \text{Durée de la fermentation en (h)} \\
 & + 1,66204149404529 * \text{Rapport charge/volume du bioréacteur \%} \\
 & + 3,74987436267425E - 02 * \text{Température}^2 - 12,6117300027701 \\
 & * \text{Quantité de la levure}^2 - 14,995710220377 * \text{pH}^2 \\
 & - 8,80034536877579E - 02 * \text{Durée de la fermentation en (h)}^2 \\
 & - 8,33291039723478E - 03 \\
 & * \text{Rapport charge/volume du bioréacteur \%}^2.
 \end{aligned}$$

Avec le coefficient de détermination du modèle $R^2 = 0,948$ (la proportion de la variabilité de la variable dépendante expliquée par le modèle) R^2 est acceptable puisque il est proche de 1.

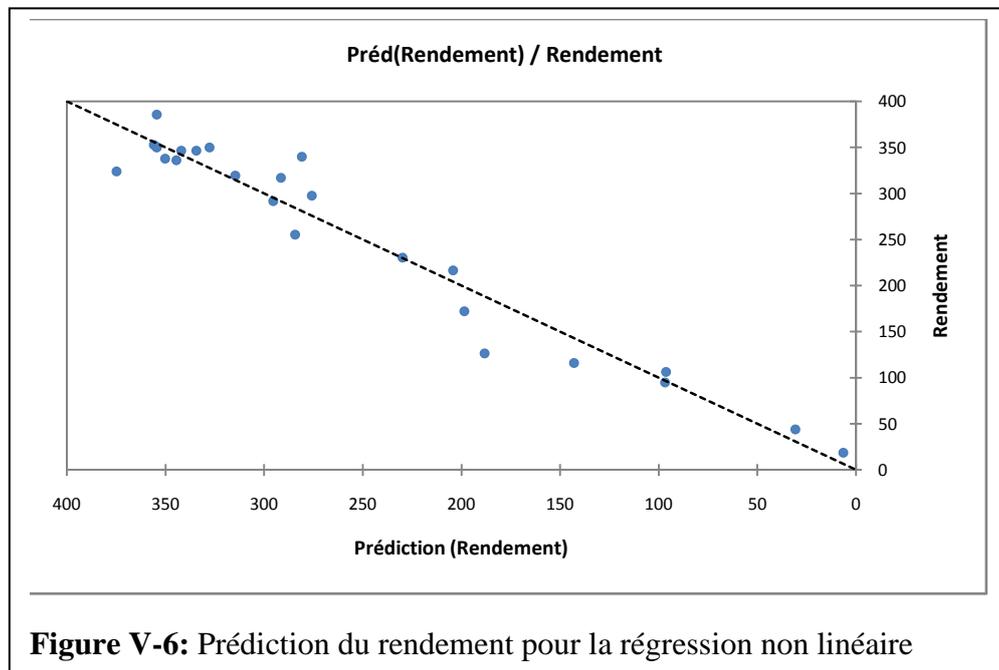


Figure V-6: Prédiction du rendement pour la régression non linéaire

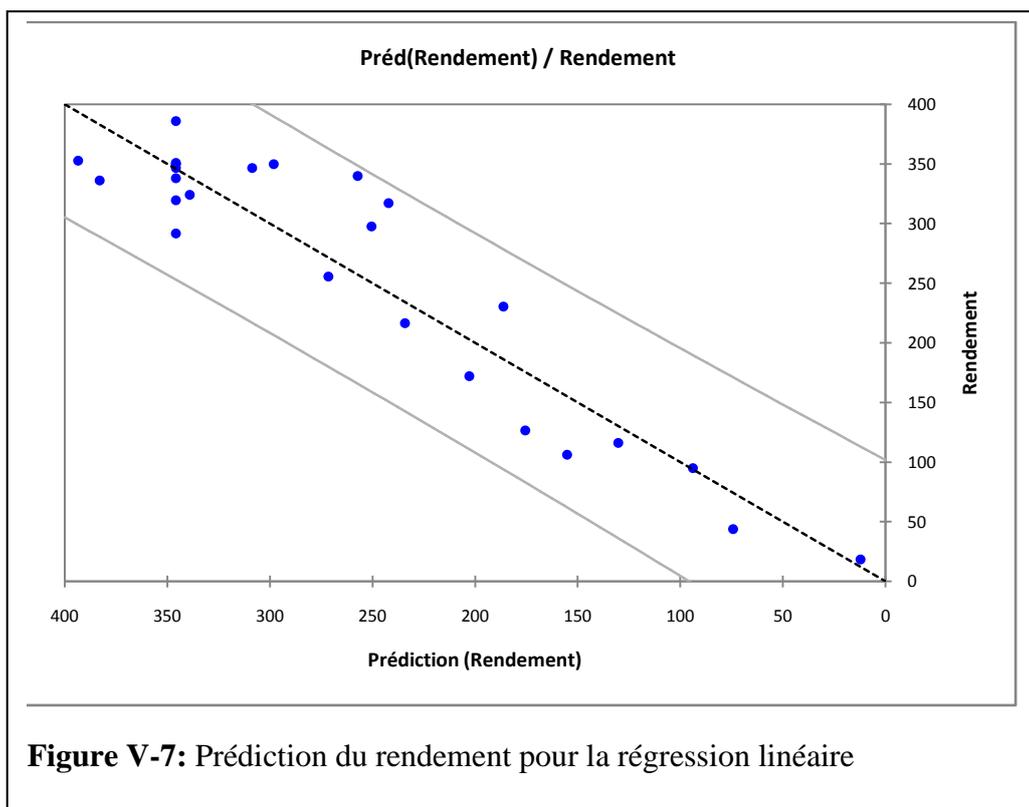
V-6-3- Résultats de la régression linéaire

La régression linéaire est sans aucun doute la méthode statistique la plus utilisée. Le principe de la régression linéaire est de modéliser une variable dépendante quantitative Y, au travers d'une combinaison linéaire de p variables explicatives quantitatives, X1, X2, ..., Xp.

Le logiciel (XLSTAT) donne l'équation de modèle suivante:

$$\begin{aligned} \text{Rendement} = & -1020,08093347797 + 20,4260104664458 * \text{Température} \\ & + 47,6564890498109 * \text{Quantité de la levure} + 37,19220255651 * \text{pH} \\ & + 4,66339218388109 * \text{Durée de la fermentation en (h)} \end{aligned}$$

Avec le coefficient de détermination du modèle $R^2 = 0,875$



V-6-4- Choix du modèle

En statistique, le coefficient de détermination du modèle R^2 est dit le coefficient de corrélation. Plus ce coefficient est proche de 1, et plus la somme des carrés des résidus (l'erreur de la régression) est voisine de 0. Le coefficient de corrélation est donc un bon indicateur de la validité de la régression. Par conséquent, dans un modèle donné, plus le coefficient de corrélation est proche de 1, plus la corrélation entre les variables de la série est forte. Dès lors, le modèle choisi dans notre cas est celui de la régression non linéaire, car son coefficient R^2 est très proche de 1. L'équation du modèle est utilisée dans un programme Fortran (annexe 2) permettant de calculer le rendement en bioéthanol à partir des données de la fermentation.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale

Notre étude rentre dans le cadre de valorisation des variétés de dattes de mauvaise qualité donc de faibles valeurs marchandes, il est livré de quatre variétés de dattes (Ghars, Tinissine, Taquermeste et Boucheire) cultivés au sein de la région d'El Oued souf dans le Sud Est d'Algérie. Cette valorisation consiste à transformer ces dattes en bioéthanol par fermentation anaérobique en présence de levures *Saccharomyces cerevisiae*. Le bioéthanol produit et après rectification et déshydratation peut être utilisé dans le domaine médical ou comme biocarburant.

L'étude de l'optimisation des paramètres de la fermentation nous a conduits à la détermination de conditions optimales suivantes:

- La température entre 30 et 32°C;
- Le pH entre 4 et 5;
- La quantité de la levure est de 4g pour 3litres de mout;
- La durée de la fermentation est de 72 heures;
- Le taux de remplissage du fermenteur est entre 60 et 75%

Avec ces paramètres on peut arriver à un taux moyen de production de bioéthanol de l'ordre de 350 ml pour un kilogramme de dattes, on prend en considération le prix de ces variétés sur le marché ainsi le cout de la transformation et le prix de l'éthanol on peut atteindre une marge bénéficiaire pouvant aller jusqu'à 2,9 € par kilogramme, sans tenir compte des produits secondaires du processus de fermentation: les noyaux de dattes, les fibres...

Pour la meilleure maîtrise de la fermentation alcoolique des dattes, nous avons proposé un protocole de transformation des dattes en bioéthanol et nous avons élaboré un programme de calcul permettant de calculer le rendement en bioéthanol selon les conditions de la fermentation.

L'application de cette étude permet l'exploitation et la commercialisation de toutes les variétés de dattes même si des variétés de mauvaise qualité. Cette technique de transformation est également une solution pour les problèmes de conditionnement et de stockages des dattes.

Notre étude est également basée sur la valorisation des quatre variétés cultivées dans la région d'Oued Souf, il serait intéressant d'étudier plus finement d'autres variétés de cette région même d'autres régions.

Une autre poursuite pour ce travail serait également d'approfondir l'étude cinétique du procédé de la fermentation des dattes pour les transformer en bioéthanol, ce qui facilite de mieux comprendre le phénomène.

Comme complément et perspectives à la présente étude, les points suivants nous semblent très pertinents :

- Etude de valorisation des déchets de la récolte ainsi que les produits secondaires du procédé (noyaux, fibres...)
- L'utilisation d'autres types de souches des levures.
- L'étude et la conception d'une unité pilote pour la valorisation des dattes.
- L'application à l'échelle industrielle de cette étude.
- Allocation des zones agricoles orientées pour la production de bioéthanol.

*Références
bibliographiques*

- Abbès Fatma, Mohamed Ali Bouaziz, Christophe Blecker, Manel Masmoudi, Hamadi Attia, Souhail Besbes, (2011). Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physicochemical characteristics, sensory and functional properties. *LWT - Food Science and Technology* 44 (2011) 1827e1834
- Abe H., Fujita Y., Takaoka Y., Kurita E., Yano S., Tanaka N. et Nakayama K.-I. (2009). Ethanol-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated under selective conditions by over-expression of a proofreading-deficient DNA polymerase delta, *J. of Biosci. and Bioeng.* Vol. 108 N° 3, p.199-204
- Acourène S., (2001). Caractérisation, évaluation de la qualité de la datte et identification des cultivars rares de palmier dattier de la région des Ziban, revue de l'I.N.R.A., pp. 21-39.
- Acourène S., Tama M. (2001). Utilisation des Dattes de Faible Valeur Marchande (Rebutts de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) Comme Substrat pour la Fabrication de la Levure Boulangère. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, 1-10.
- Aït- Aneur L. (2001). Analyse du processus de diffusion des sucres, des acides organiques et de l'acide ascorbique dans le système : Mech-Degla/Jus de citron. Mémoire de magister. Option génie Alimentaire. Boumerdes, 80 p.
- Akin Huberson , Cédric Brandam, Xuân-Mi Meyer , Pierre Strehaiano. (2008). A model for pH determination during lcoholic fermentation of a grape must by *Saccharomyces cerevisiae*. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. Volume 47, Issue 11, Pages 1986–1993
- Al-Abid Mohammed M. R.(2006). Dates Derived Industries. *Agricultural Investment Magazine* N°4. p67-73.
- Aldiguié A. S., Alfenore S., Cameleyre X., Goma G., Uribelarrea J. L., Guillouet S.E. et Molina-Jouve C.. (2004). Synergistic temperature and ethanol effect on *Saccharomyces cerevisiae* dynamic behavior in ethanol bio-fuel production, *Bioprocess BiosysT. Eng.* 26 p. 217-222
- Alfenore S., Molina-Jouve C., Guillouet S.E., Uribelarrea J.L., Goma G. et Bendadis L.. (2002). Improving ethanol production and viability of *Saccharomyces cerevisiae* by vitamin feeding strategy during feed-batch process, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 60, p. 67-72
- Alfenore,S., Molina-Jouve,C., Guillouet,S.E., Uribelarrea,J.L., Goma,G. and Benbadis,L. (2002). Improving ethanol production and viability of *Saccharomyces cerevisiae* by a vitamin feeding strategy during fed-batch process. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 60, 67-72.
- Al Harthi S.S., Pharm B., Mavazhe A., Pharm B., Al Mahroqi H., M.Sc. and Khan S.A.(2015). Quantification of phenolic compounds, evaluation of physicochemical properties and antioxidant activity of four date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Oman. *Journal of Taibah University Medical Sciences* 10(3), 346e352
- Alma Rosa Dominguez-Bocanegra, Jorge Antonio Torres-Munoz, Ricardo Aguilar Lopez. (2015). Production of Bioethanol from agro-industrial wastes. *Fuel* 149, 85–89
- Al-Shahib, W., Marshall, R.J., (2002). Dietary fibre content of dates from 13 varieties of date palm *Phoenix dactylifera* L. *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 719-721.
- Amellal née Chibane H. (2008). Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes: Formation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de doctorat en génie alimentaire. Université de Boumerdes, 18p.
- Amorsi G., (1975). Le palmier dattier en Algérie, Ed, Tlemcen, 131p.
- Andreasen AA, Stier TJB. (1954). Anaerobic nutrition of *Saccharomyces cerevisiae*. II. Unsaturated fatty acid requirement for growth in a defined medium. *Journal of*

Cellular and Comparative Physiology, 43 : 271-281.

- Ansanay-Galeote V., Blondin B., Dequin S. et Sablayrolles J.M.. (2001). Stress effect of ethanol on fermentation kinetics by stationary-phase cells of *Saccharomyces cerevisiae*, *Biotechnol. Lett.* 23, p. 677-681
- Assirey E. A. R..(2015). Nutritional composition of fruit of 10 date palm(*Phoenix dactylifera* L.) cultivars grown in Saudi Arabia. *Journal of Taibah University for Science* 9. 75–79
- Audigie C.L and Dupont G., (1983), *Principes des méthodes d'analyses biochimiques*, Paris, pp. 566-567
- Audigie D., Dupont G., Zonszain T., . *Manipulation d'analyse biochimique* Ed. Doin. Paris, pp 27 – 74. (1978)
- Ayhan Demirba. (2005). Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*, 27. 327-337p
- Balat, M. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, No. 2, pp. 858-875, ISSN 0196-8904.
- Ballerini D. et N. Alazard-Toux. (2006). *Les biocarburants. Etats des lieux, perspectives et enjeux du développement*. IFP Publications - Editions TECHNIP. 348 p.
- Barrow S. (1998). A monograph of *Phoenix* L. (*Palmae* : *Coryphoideae*). *Kew bulletin* 53 : 513-575.
- Basso, L. C., T. O. Basso & S. N. Rocha. (2011). Ethanol Production in Brazil: The Industrial Process and Its Impact on Yeast Fermentation. *Biofuel Production – Recent Developments and Prospects*. M. A. dos Santos Bernardes, InTech.
- Bayrock D.P. et Ingledew W.M. (2005). Ethanol production in multistage continuous, single stage continuous, *Lactobacillus*-contaminated continuous, and batch fermentations. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 21, 83-88.
- Bayrock,D.P. and Michael,I.W. (2001). Application of multistage continuous fermentation for production of fuel alcohol by very-high-gravity fermentation technology. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 27, 87-93.
- Belboom Sandra. (2012). Évaluation de l'impact environnemental de la production de bioéthanol à partir de canne à sucre, betterave ou froment par analyse du cycle de vie. Comparaison des utilisations biocarburant et bioplastique. Thèse doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée.
- Belboom Sandra. (2012). Évaluation de l'impact environnemental de la production de bioéthanol à partir de canne à sucre, betterave ou froment par analyse du cycle de vie. Comparaison des utilisations biocarburant et bioplastique. thèse doctorat en Sciences de l'Ingénieur Université de Liège.
- Belguedj M., (2002). *Ressources génétiques du palmier dattier*. Ed. I.N.R.A.A., Alger, 289 p.
- Ben Abdallah A. (1990). *La phoeniciculture*. Options méditerranéennes, Sér. A/n°11: 105-120.
- Ben Chaabane,F., Aldiguiet,A.S., Alfenore,S., Cameleyre,X., Blanc,P., Bideaux,C., Guillouet,S.E., Roux,G. and Molina-Jouve,C. (2006). Very high ethanol productivity in an innovative continuous two-stage bioreactor with cell recycle. *Bioprocess Biosyst. Eng* 29, 49- 57.
- Ben Chennouf A., (1971). *le palmier dattier*. Station expérimentale d'Ain Ben Naoui. Biskra, 22 p.
- Benamara S., Chibane H. et Boukhelifa M. (2004). Essai de formulation d'un yaourt naturel aux dattes. *Revue Industrie Agricole et Alimentaire*. Actualités techniques et scientifiques, N°1. 11-14p.

- Benchabane, A., (1996). Rapport de synthèse de l'atelier "Technologie et qualité de la datte". In Options méditerranéennes, série A, N° 28. Séminaires méditerranéens. Ed. IAM, Zaragoza, Spain, 205-210
- Bndes et Cgee.. (2008). Bioéthanol de canne à sucre : énergie pour le developement durable. 1^{er} Edition Rio de Janeiro. 1- 327 p. ISBN : 978-85-87545-25-1
- Boluda-Aguilar María, Antonio López-Gómez. (2013). Production of bioethanol by fermentation of lemon (*Citrus limon* L.) peel wastes pretreated with steam explosion. *Industrial Crops and Products* 41, 188– 197
- Bonnet Jean-François, Lorne Daphné. (2009). Eau et biocarburants: Impacts sur l'eau du développement des biocarburants en France à l'horizon 2030. Iddri les Cahiers du Clip n°19-Septembre 2009.
- Boulal A., B. Benali, M. Moulai et A. Touzi. (2010). Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 13 N°3 . 455 – 463
- Bourgeois C., Mescle J-F, Zucca J.. (1996). Microbiologie alimentaire Tome 1: Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments _ l'Ille édition Ed. Tec & Doc, 1996.-672 p.
- Boursier B.. (2005). Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires, Techniques de l'Ingénieur.
- Buelguedj, M., (2001). Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du Sud-Est Algérien., INRAA El-Harrach N° 11, Alger, 289 p.
- Buelguedj, M., (2007). Evaluation du sous-secteur des dattes en Algérie.,INRAA El-Harrach.
- Bvochora J.M., Read J.S. et Zvauya R.. (2000). Application of very high gravity technology to the cofermentation of sweet stem sorghum juice and sorghum grain, *Ind. Crop. Prod.* 11, p. 11-17
- Campbell N.A..(1995). Structure et Fonction des Macromolécules dans la Biologie. De Boeck Université, 3^{ème} Edition, pp. 68 - 70.
- Celton Magalie. (2011). Etude de la réponse de *Saccharomyces cerevisiae* à une perturbation NADPH par une approche de biologie des systems. Thèse de doctorat. Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques de Montpellier Supagro.
- Chandrasekaran M., Ali H. Bahkali. (2013). Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology. *Saudi Journal of Biological Sciences* N° 20, 105–120
- Chene C.. (2004). Les Amidons. *Journal de l'ADRIANOR, Agro-Jonction* n°34.
- Clark T.A. and K.L. Mackie. (1984). Fermentation Inhibitors in Wood Hydrolysates Derived from the Softwood *Pinus Radiata*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. Vol. 34b, pp. 101 – 110.
- Cook J. A. and Furr J.R.(1952). Sugars in the fruits of soft, semi-dry and dry commercial date varieties. *Date Growers Inst. Rept.* N° 29. 3-4 p.
- Cot Marlène. (2006). Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* au cours de la production intensive d'éthanol. Thèse doctorat. l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. N° ordre : 850
- Craaq. (2008). La production d'éthanol à partir de grains de maïs et de céréales. Canada. Publication n° EVC 029, 11p.
- Cysewski,G.R. and Wilke,C.R. (1978). Process design and economic studies of alternative fermentation methods for the production of ethanol. *Biotechnol. Bioeng.* 20, 1421-1444.
- da Graça Stupiello Andrietta, M., S. R. Andrietta & E. Nogueira Andrade Stupiello. (2011). Bioethanol – What Has Brazil Learned About Yeasts Inhabiting the Ethanol Production Processes from Sugar Cane? *Biofuel Production-Recent*

- Developments and Prospects. M. A. dos Santos Bernardes, InTech.
- Daher Meraneh A., (2010). Détermination du sexe chez le palmier dattier: Approches histocytologiques et moléculaires, thèse doctorat université MONTPELLIER II, 11p
- Dakhia N., M.K. Bensallah, M. Romani, AM. Djoudi et M. Belhamra, (2013). Etat phytosanitaire et diversité variétale du palmier dattier au bas saharra – Algérie. journal Algérien des Régions Arides N° Spécial 2013
- Dawson, W. H. et Aten, B. (1963). Récolte et conditionnement des dattes, Ed FAO, 334p.
- De Miniac M.. (1988). Conduite des ateliers de fermentation alcoolique de produits sucriers (mélasse et égouts). Ind. Aliment. Agric Juillet/Aout, p. 675-688
- del Rosario,E.J., Lee,K.H. and Rogers,P.L. (1979). Kinetics of alcohol fermentation at high yeast levels. Biotechnol. Bioeng. 21, 1477-1482.
- Dellweg, H. (1983). Biotechnology : Biomass, microorganisms for special applications, microbial products I, energy from renewable resources. In Biotechnology: Biomass, microorganisms for special applications, microbial products I, energy from renewable resources ed. Rehm,J.H. and Reed,G. pp. 270-280. Verlag Chemie.
- Demirbas, A; Fatih Demirbas, M. Algae. (2010). Energy: Algae as a New Source of Biodiesel. London: Springer. 29-47p.
- Dias, M. O. S., M. Modesto, A. V. Ensinas, S. A. Nebra, R. M. Filho & C. E. V. Rossell. (2011). "Improving bioethanol production from sugarcane: evaluation of distillation, thermal integration and cogeneration systems." Energy 36(6): 3691-3703.
- Djerbi M., (1994), Précise de phoeniciculture, FAO, Rome ,191p
- Djouab, A., (2007). Contribution à l'identification des constituants mineurs de la datte Mech-Degla. Essai de valorisation par incorporation dans une recette de margarine allégée. Memoire de Magister.option génie alimentaire, université de Boumerdès.24 p.
- Dragone G., Silva D. P. et de Almeida e Silva J. B.. (2004). Factors influencing ethanol production rates at high-gravity brewing. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 37. p. 797-802
- Durante D.A. (2003). The US Energy Bill and Renewable Fuels Standard. In World Ethanol 2003 conference, London, UK, November 5-7, ed. Lichts, F.O. (London) Ltd.
- Elhoumaizi M. A., Saaidi M., Oihabi A. & Cilas C. (2002) – Phenotypic diversity of date-palm cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) from Morocco. Genetic Resources and Crop Evolution 49 (5) : 483-490.
- El-Nagga E. A., Abd El-Tawab Y.A. (2012). Compositional characteristics of date syrup extracted by different methods in some fermented dairy products. Annals of Agricultural Science (2012) 57(1), 29–36
- Enaimi J.H, Jafar A. 1980. La physiologie et la morphologie du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Ed. Université El Basra et université d'Agronomie (Iraq), 257 p.
- Enguídanos Marina, Antonio Soria, Boyan Kavalov, Peder Jensen. (2002). Techno-economic analysis of Bio-alcohol production in the EU: a short summary for decision-makers. Joint Research Centre (DG JRC). Institute for Prospective Technological Studies. Report EUR 20280 EN
- Espiard E. (2002). Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc. Lavoisier, Paris. pp 147-155.
- Esra Imamoglu, Fazilet Vardar Sukan. (2014). The effects of single and combined cellulosic agrowaste substrates on bioethanol production. Fuel 134 (2014) 477–484
- Estanove P, Dollé V., Toutain G.(1990). Valorisation de la datte. CIHEAM, 1990. p.301 -318 (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n.11)
- Estanove, P., 1990. Note technique : Valorisation de la datte. In Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. CIHEAM, 301-318.

- Feldman, M. (1976). Taxonomie classification and names of wild, cul and moderne cultivated wheats. Evolution of plants. Longman, London, 120-128.
- Gaillard J.L., Leclerc H., Simonet M.. (1985). Elément de microbiologie. Ed. Herman. Paris, p.464
- Gilles P. (2000). Cultiver le palmier dattier .Ed. CIRAS. p 110.
- Gilles P. (2000). Cultiver le palmier dattier .Ed. CIRAS. p 110. Gilles P. (2000). Cultiver le palmier dattier .Ed. CIRAS. p 110.
- Glazer, A. N. and Nikaido, H. (1993). Ethanol. In Fundamentals of applied microbiology pp. 359-391. W.H. Freeman and company.
- Gleizes Jean-François. (2013). Des chiffres et des céréales: L'essentiel de la filière. passion céréales. Edition 2012-2013.
- Gnansounou E., Dauriat A. (2004). Etude comparative de carburants par analyse de leur cycle de vie. École polytechnique fédérale de Lausanne. Réf. 420.100. étha+
- Godin B., F. Ghysel, R. Agneessens, T. Schmit, S. Goffot, S. Lamaudière, G. Sinnaeve, J.P. Goffart, P.A. Gerin, D. Stilmanst et J. Delcarte. (2010).Détermination de la Cellulose, des Hémicelluloses, de la Lignine et des Cendres dans Diverses Cultures Lignocellulosiques Dédiées à La Production de Bioéthanol de Deuxième Génération. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, Vol. 14, pp. 549 - 560.
- Godin B., R. Agneessens, S. Gofflot, S. Lamaudière, G. Sinnaeve, P.A. Guerin et J. Delcarte.(2011). Revue sur les Méthodes d'Analyse des Polysaccharides Structuraux des Biomasses Lignocellulosiques. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, Vol. 15, pp. 165 – 182
- Gomez G. (2014). Abecedaire de chimie organique: les fermentations.
- Gu Hanqi, Jian Zhang, Jie Bao. (2014). Inhibitor analysis and adaptive evolution of *Saccharomyces cerevisiae* for simultaneous saccharification and ethanol fermentation from industrial waste corncob residues. Bioresource Technology 157. 6–13
- Guiraud J.P.. (1998). Microbiologie alimentaire Ed. Dunod, 1998.'652 p.
- Hannachi S., Khitri D., Benkhalifa A. et Brac de Perrière R.A. (1998). Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. Ed. Anep. Rouiba, Alger. 225 p.
- Hanne Hugo. (2012). Les marchés de production et de consommation et les prix des biocarburants dans l'Union européenne et le monde. dgccr-éco n°9, Décembre 2012.
- Harsono Soni Sisbudi, Salahuddin, Mukhammad Fauzi, Gatot Sugeng Purwono, Djoko Soemarno, Kissinger. (2015). Second Generation Bioethanol from Arabica Coffee Waste Processing at Smallholder Plantation in Ijen Plateau Region of East Java. 2nd Humboldt Kolleg in conjunction with International Conference on Natural Sciences, HK-ICONS 2014: Procedia Chemistry 14, 408 – 413
- Hayashida,S. and Ohta,K. (1981). Formation of high concentration of alcohol by various yeasts. J. Inst. Brew. 87, 42-44.
- Heggart H.M., Margaritis A., Pilkington H., Stewart R.J., Dowhanick T.M. et Russell I.(1999). Factors affecting yeast viability and vitality. MBAA technical quarterly 36. p. 383-406
- Hencké Stéphanie. (2000). Utilisation alimentaire des levures. Thèse doctorat. Université Henri Poincare - Nancy I. Faculte de pharmacie
- Hong-Joo Lee, Woo-Seok Lim, Jae-Won Lee. (2013). Improvement of ethanol fermentation from lignocellulosic hydrolysates by the removal of inhibitors. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 19 (2013) 2010–2015.
- Hou L., Cao X., Wang C. et Lu M.. (2009). Effect of overexpression of transcription factors on the

- IngledeW W.M., Kelsall D.R. Austin G.D. et Kluhspies C.. (2009). The alcohol textbook 5th edition. Nottingham university press, p. 108-117
- IngledeW W.M.(1999). Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: a yeast primer, The alcohol textbook: a reference for beverage. Fuel and industrial alcohol industries. Nottingham University Press, Nottingham. UK. p. 49-87
- Inn Shi Tan, Keat Teong Lee. (2015). Solid acid catalysts pretreatment and enzymatic hydrolysis of macroalgae cellulosic residue for the production of bioethanol. *Carbohydrate Polymers* 124, 311–321
- Jacques K.A., Lyons T.D. et Kelsall D.R.. (2003). The alcohol textbook 4th edition. Nottingham university press, p. 108-117
- Jridi Mourad, Souissi Nabil, Ben Salem Marwa, Ayadi M.A., Nasri Moncef, Azabou Samia. Tunisian date (*Phoenix dactylifera* L.) by-products: Characterization and potential effects on sensory, textural and antioxidant properties of dairy desserts. *Food Chemistry* 188. 8-15
- Jones A. M. et IngledeW W. M.. (1994). Fuel alcohol production: Optimization of temperature for efficient very-high-gravity fermentation, *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 60 N°3, p. 1048-1051
- Jones R.P. et Greenfield P.F..(1984). A review of yeast ionic nutrition – Part 1: Growth and fermentation requirements. *Process Biochem.* 19, p. 48-60
- Kaidi F., Touzi A. (2001). Production de Bioalcool à Partir des Déchets de Dattes. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, 75-78.
- Kamdem Irénée, Kodjo Tomekpe, Philippe Thonart. (2011). Production potentielle de bioéthanol, de biométhane et de pellets à partir des déchets de biomasse lignocellulosique du bananier (*Musa spp.*) au Cameroun. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2011 15(3), 471-483
- Kosaric, N. and Vardar-Sukan, F. (2001). Fermentation modes of industrial interest. In *The biotechnology of ethanol* ed. Roehr, M. pp. 139-149. Weinheim (Germany): Wiley-VCH.
- Casey, G.P. and IngledeW, W.M. (1986). Ethanol tolerance in yeasts. *Crit. Rev. Microbiol.* 13, 219-280.
- Kosaric, N. and Vardar-Sukan, F. (2001). Microbiology and biochemistry of ethanol formation. In *The biotechnology of ethanol* ed. Roehr, M. pp. 89-107. Weinheim (Germany): Wiley-VCH.
- Kusmiyati, Heru Susanto. (2015). Fuel Grade Bioethanol Production from *Iles-iles* (*Amorphophalus campanulatus*) Tuber. *Procedia Environmental Sciences* 23 (2015) 199 – 206
- Larpent J.P., Larpent-Gourgaud M.. (1997). *Mémento technique de microbiologie - 3ème édition* Ed. Tec & Doc, 1039p.
- Lawford, H. G. & J. D. Rousseau. (1993). Production of ethanol from pulp-mill hardwood and softwood spent sulfite liquors by genetically-engineered *Escherichia coli*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 39, No., pp. 667-685, ISSN 0273-2289.
- Lee Y., P. Iyer and R.W. Torget. (1999). Dilute Acid Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass. In: *Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology*. Vol. 65, pp. 94 – 11.
- Leveau J.Y. et Bouix M.. (1993). *Microbiologie industrielle: les micro-organismes d'intérêt industriel* Ed. Tec & Doc Lavoisier, 1993.-612 p.
- Lima-Costa M.E., Tavares C., Rasposo S., Rodrigues B. et Peinado J.M. (2012). Kinetics of sugars consumption and ethanol inhibition in carob pulp fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* in batch and fed-batch cultures, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 39, p. 789-797
- Lu, X., Li, Y., Duan, Z., Shi, Z. and Mao, Z. (2003). A novel, repeated fed-batch, ethanol production system with extremely long term stability achieved by fully recycling fermented supernatants. *Biotechnol. Lett.* 25, 1819-1826.

- Luparia V., Soubeyrand V., Berges T., Julien A., Salmon J.M.. (2004). Assimilation of grape phytosterols by *Saccharomyces cerevisiae* and their impact on enological fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65 : 25-32.
- Maiorella, B.L., Blanch, H.W. and Wilke, C.R. (1984). Economic evaluation of alternative ethanol fermentation process. *Biotechnol. Bioeng.* 26, 1003-1025.
- Martín Mariano, Ignacio E. Grossmann. (2014). Design of an optimal process for enhanced production of bioethanol and biodiesel from algae oil via glycerol fermentation. *Applied Energy* 135, 108–114.
- Mazaheri Davood, Seyed Abbas Shojaosadati, Seyyed Mohammad Mousavi, Parisa Hejazi, Saeed Saharkhiz. (2012). Bioethanol production from carob pods by solid-state fermentation with *Zymomonas mobilis*. *Applied Energy* 99, 372–378
- Meligi M.A., Saurial G. F., (1982). Fruit quality and evaluation of some Iraqidatepalm cultivars grown under conditions of barrage region. Ed: first symposium on the date palm, Saudi-Arabia. 23-25 march, pp 212-220.
- Minakshi Dahiya, Shilpa Vij. (2012). Comparative Analysis of Bioethanol Production from Whey by different strains of Immobilized Thermotolerant Yeast. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 2, Issue 3, ISSN 2250-3153
- Mohamed S., Shaban H.R., Mawlod K.A., (1983). "Evaluation and identification of Iraqi date cultivars: Fruits characteristics of fifty cultivars", *Date Palm J.*, Vol. 21, N°1 pp. 27-55.
- Monciero A., (1954). Contribution a l'étude du pollen et de la fécondation du palmier dattier. In : *Ann. de l'Inst. Agr. d'Algérie*, 8 (4), pp. 3-28.
- Monnet D.. (2008). Etude de l'évolution des propriétés mécaniques de matériaux amylicés par sélection et/ou modifications structurales dirigées. thèse doctorat Université de Reims Champagne-Ardenne.
- Munier P., 1973. Le palmier dattier. Ed G-P Maisonneuve, la rose. Paris.
- Muriel Gros-Balthazard, Claire Newton, Sarah Ivorra, Margareta Tengberg, Jean-Christophe Pintaud et Jean-Frédéric Terral, (2013). Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), *Revue d'ethnoécologie* [En ligne], mis en ligne le 19 novembre 2013.
- Nehme Nancy. (2008). Etude des interactions entre *Saccharomyces cerevisiae* et *Oenococcus oeni*: impact sur la réalisation de la fermentation malolactique en cultures séquentielles et mixtes. Thèse doctorat. L'Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Nigam, J. N. (2001). Ethanol production from hardwood spent sulfite liquor using an adapted strain of *Pichia stipitis*. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, Vol. 26, No. 3, pp. 145-150, ISSN 1367-5435.
- Nitin Trivedi, C.R.K. Reddy, Ricardo Radulovich, Bhavanath Jha. (2015). Optimization of Ethanol Production from Whey Through Fed-Batch Fermentation Using *Kluyveromyces marxianus*: Conference and Exhibition Indonesia Renewable Energy & Energy Conservation [Indonesia EBTKE CONEX 2013]. *Energy Procedia* 47, 108 – 112
- Nitin Trivedi, C.R.K. Reddy, Ricardo Radulovich, Bhavanath Jha. (2015). Solid state fermentation (SSF)-derived cellulase for saccharification of the green seaweed *Ulva* for bioethanol production. *Algal Research* 9, 48–54
- Nixon, R W. et Carpenter B. (1978). Growing dates in united states. United states department of agriculture, information bulletin prepared by science and education administration, 44-45
- Novak, M.H. (2004). Valorisations non alimentaires des céréales. *val biom.* 1-22
- Oestling A. (2001). carburant additionné de bioéthanol Stoa- Evaluation des choix scientifiques et technologiques. européen parlement. Note d'information n°

07/2001.

- Ouennoughi M. & Dubost D. (2005). Le voyage forcé des dattiers en Nouvelle-calédonie. *Sécheresse* 16 (4) : 241-246.
- Ouennoughi Melica, Dubost Daniel. 2005. Le voyage forcé des dattiers en Nouvelle-Calédonie, sécheresse ; vol. 16, n°4
- Ould EL Hadj M. D., Cheick M., Hamidi W., Sayah Z., Bouaziz S. (2012). Etude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (Degla Beida, Tacherwit et Hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional Est algérien). *Algerian journal of arid environment* vol. 2, n° 2. 78-87.
- Ould El Hadj M.D., Sebihi A.H. et Siboukeur O. (2001). Qualité hygiénique et caractéristique physico-chimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette de Ouargla. *Revue Energie Renouvelable : Production et Valorisation-Biomasse*. 87-92p.
- Palacios-Bereche R, Ensinas A, Modesto M, Nebra SA. (2014). New alternatives for the fermentation process in the ethanol production from sugarcane: Extractive and low temperature fermentation. *Energy* 70:595-604
- Pasty J.C. (2004). Les débouchés non alimentaires des produits agricoles: un enjeu pour la France et l'union européenne. *Avis et Rapports du Conseil Economique et Social – n°2004-*, 1-201
- Pedro M.R. Guimarães, José A. Teixeira, Lucília Domingues. (2010). Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnology Advances* 28, 375–384
- Pellegrini, L. F. & S. de Oliveira Junior. (2011). "Combined production of sugar, ethanol and electricity: Thermo-economic and environmental analysis and optimization." *Energy* 36(6): 3704-3715.
- Pereau-Leroy, P. (1958). *Le palmier dattier au Maroc*. Paris : IFAC.
- Peyman Fasahati, Hee Chul Woo, J. Jay Liu. (2015). Industrial-scale bioethanol production from brown algae: Effects of pretreatment processes on plant economics. *Applied Energy* 139, 175–187
- Peyron, G., (2000). *Cultiver le palmier-dattier*. Ed. Gridao. Montpellier. 11-67 p.
- Prenosil, J. E. (1983). *Biotechnology : Biomass, microorganisms for special applications, microbial products I, energy from renewable resources*. In *Biotechnology: Biomass, microorganisms for special applications, microbial products I, energy from renewable resources (vol.3)* .
- Quoc Phong LAI. (2010). *Utilisation de levures non Saccharomyces en oenologie: études des interactions entre Torulaspora delbrueckii et Saccharomyces cerevisiae en cultures mixtes*. Thèse doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). Université de Toulouse.
- Rahayu Suryaningsih, Irhas. (2014). Bioenergy Plants in Indonesia: Sorghum for Producing Bioethanol as an Alternative Energy Substitute of Fossil Fuels. *Energy Procedia* 47 (2014) 211 – 216
- Rees M.R.E. et Stewart G.G.. (1997). The effects of increased magnesium and calcium concentration on yeast fermentation performance in high gravity worts, *J. Inst. Brew.*, September-October, Vol. 103, p. 287-291
- Reynaldo Palacios-Bereche, Adriano Ensinas, Marcelo Modesto, Silvia A. Nebra. (2014). New alternatives for the fermentation process in the ethanol production from sugarcane: Extractive and low temperature fermentation. *Energy* 70 (2014) 595e604

Références bibliographiques

- Richard Braun, Gerhard Stucki, Monika Kurath. (2009). Biocarburants, Opportunités et limites. 1ère édition SATW(Académie suisse des sciences techniques). 1-12p.
- Rodri'guez L.A., M.E. Toro, F. Vazquez, M.L. Correa-Daneri, S.C. Gouric, M.D. Vallejo.(2010). Bioethanol production from grape and sugar beet pomaces by solid-state fermentation. *International journal of hydrogen energy* 35 (2010) 5914–5917
- Rosenfeld E., Beauvoit B., Blondin B., Salmon J.M.. (2003). Oxygen consumption by anaerobic *Saccharomyces cerevisiae* in enological conditions: effect on fermentation kinetics. *Applied and Environmental Microbiology*, 69 : 113-121.
- Ruiz Héctor A., Daniel P. Silva, Denise S. Ruzene, Luis F. Lima, Antonio A. Vicente, José A. Teixeira. (2012). Bioethanol production from hydrothermal pretreated wheat straw by a flocculating *Saccharomyces cerevisiae* strain – Effect of process conditions. *Fuel* 95 (2012) 528–536
- Salazar-Ordo'n'ez Melania, Pedro P. Pe'rez-Herna'ndez, Jose' M. Marti'n-Lozano. (2013). Sugar beet for bioethanol production: An approach based on environmental agricultural outputs. *Energy Policy* 55 (2013) 662–668
- Sánchez, Ó. J. & C. A. Cardona. (2008). "Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks." *Bioresource Technology* 99(13): 5270-5295.
- Sawaya, W.N., Khalil, J.K., Safi, W.M., Al-Shalat, A., 1983. Physical and Chemical Characterization of Three Saudi Date Cultivars at Various Stages of development. *Can. Ins. Food Sci. Technol. J.* 16, 2, 87-93.
- Schaller Pierre. (2003). Bioéthanol: potentiel et perspectives. etha+. Club Environnement de Fribourg - 5 novembre 2003
- Sekar Puspawati, Wagiman, Makhmudun Ainuri, Darmawan Ari Nugraha, Haslianti. (2015). The Production of Bioethanol Fermentation Substrate from *Eucheuma cottonii* Seaweed through Hydrolysis by Cellulose Enzyme: The 2014 International Conference on Agro-industry (ICoA): Competitive and sustainable Agroindustry for Human Welfare. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 3, 200 – 205
- Servilab. Site internet de, 27-07-2013.
- Sharifah Sopliah Syed Abdullah, Yoshihito Shirai, Ezyana Kamal Bahrin, Mohd Ali Hassan. (2015). Fresh oil palm frond juice as a renewable, non-food, non-cellulosic and complete medium for direct bioethanol production. *Industrial Crops and Products* 63, 357–361
- Siboukeur O. (1997). Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. *Memoire de Magister, INA. El-Harrach, Alger.* 106 p.
- Siboukeur O., M.D. Ould El Hadj, F. Zargat. (2001). Contribution à l'Etude de la Production d'Acide Citrique par *Aspergillus niger* Cultivée sur Moût de Dattes de la Variété Ghars. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, 93-96.
- SIDAB. (2015) Salon International de la Datte de Biskra.,
- Soccol, C. R., L. P. S. Vandenberghe, B. Costa, A. L. Woiciechowski, J. C. de Carvalho, A. B. P. Medeiros, A. M. Francisco & L. J. Bonomi. (2005). "Brazilian biofuel program : an overview." *Journal of Scientific & Industrial research* 64(11): 897-904.
- Soyuduru D., Ergun M. et Tosun A..(2009). Application of a Statistical Technique to Investigate Calcium, Sodium, and Magnesium Ion Effect in Yeast Fermentation. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 152, p. 326-333
- Statistiques mondiales en temps réel. (2014), site internet.
- Sujit Kumar Mohanty, Shuvasis Behera, Manas Ranjan Swain, Ramesh Chandra Ray. (2009). Bioethanol production from mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers by solid-state fermentation. *Applied Energy* 86, 640–644

Références bibliographiques

- Tortora G., Funke B.R., Case C.L., Martin L.. (2003). Introduction à la microbiologie. Ed. ERPI. Paris, p. 4-869
- Toutain G. (1979). Eléments d'agronomie saharienne et la recherche au développement. Imprimerie Jouve, Paris. 277 p.
- 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 datte", CIHEAM - Options Méditerranéennes . 214 p.
- Usseglio-Tomasset L., Bosia P.D. (1978), Determinazione delle costanti di dissociazione dei principali acidi del vino in soluzioni idroalcoliche di interesse enologico, Rivista di viticoltura e di enologia di Conegliano, 31, 380-403
- Walker G.. (1999). Yeast physiology and biotechnology. John Wiley and sons Ltd., United Kingdom
- Walker Graeme M..(2011). 125th Anniversary Review: Fuel Alcohol: Current Production and Future Challenges. Journal of the Institute of Brewing. Vol. 117, N°1 .3-22
- Wang Mingxin, Xinxing Pan, Xunfeng Xia, Beidou Xi, Lijun Wang. (2015). Environmental sustainability of bioethanol produced from sweet sorghum stem on saline-alkali land. Bioresource Technology 187. 113–119
- Warzywoda M., D. Ballerini et F. Monot. (2011). Procédé de Production d'Enzymes Cellulolytiques et Hémicellulolytiques Utilisant les Résidus de Distillation de Fermentation Ethanolique d'Hydrolysats Enzymatiques de Matériaux (Ligno-) cellulosiques. Fascicule de Brevet Européen. 44, 5.
- Wertheimer, M., (1956). Recherche et observations sur la plantation des palmiers dattiers dans le Ziban (région de Biskra). Fruits. Vol 11 : Pp 481 –487.
- Wertz Jean-Luc. (2011). Les hemicelluloses. Document ValBiom – Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège. Avec le soutien de la Région Wallonne–DGO3/4
- Yi-Huang Chang, Ku-Shang Chang, Cheng-Wei Huang, Chuan-Liang Hsu, Hung-Der Jang. (2012). Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. Energy Sources, 21: 327-337
- Zaid A. (Ed.) (2002). Date palm cultivation. Food and agricultural organization of the United Nations, Rome.
- Zohary D., Hopf M. & Weiss E. (2012). Domestication of plants in the Old World. 3e édition. New York, Oxford University Press, 264 p.

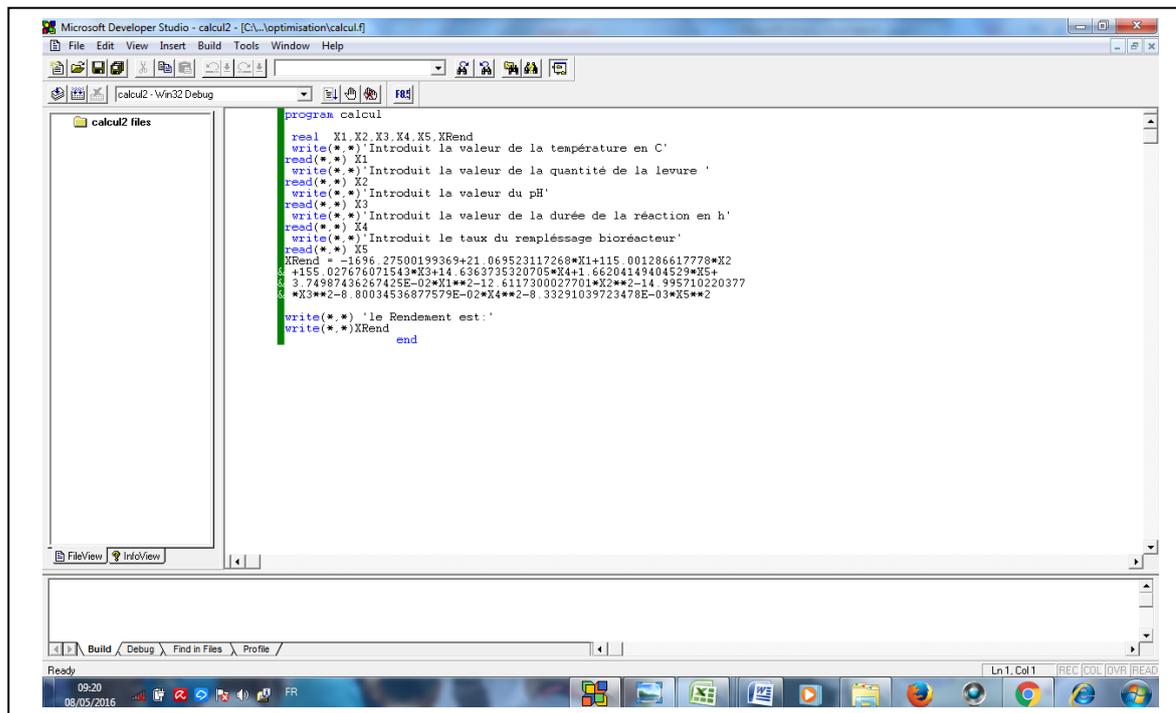
Annexes

Annuaire Statistique de la wilaya d'El-Oued
Tableau : 7 PRODUCTION DE PALMIERS DATTIERS

Campagne agricole 2013/2014
Unités : (ha - qx)

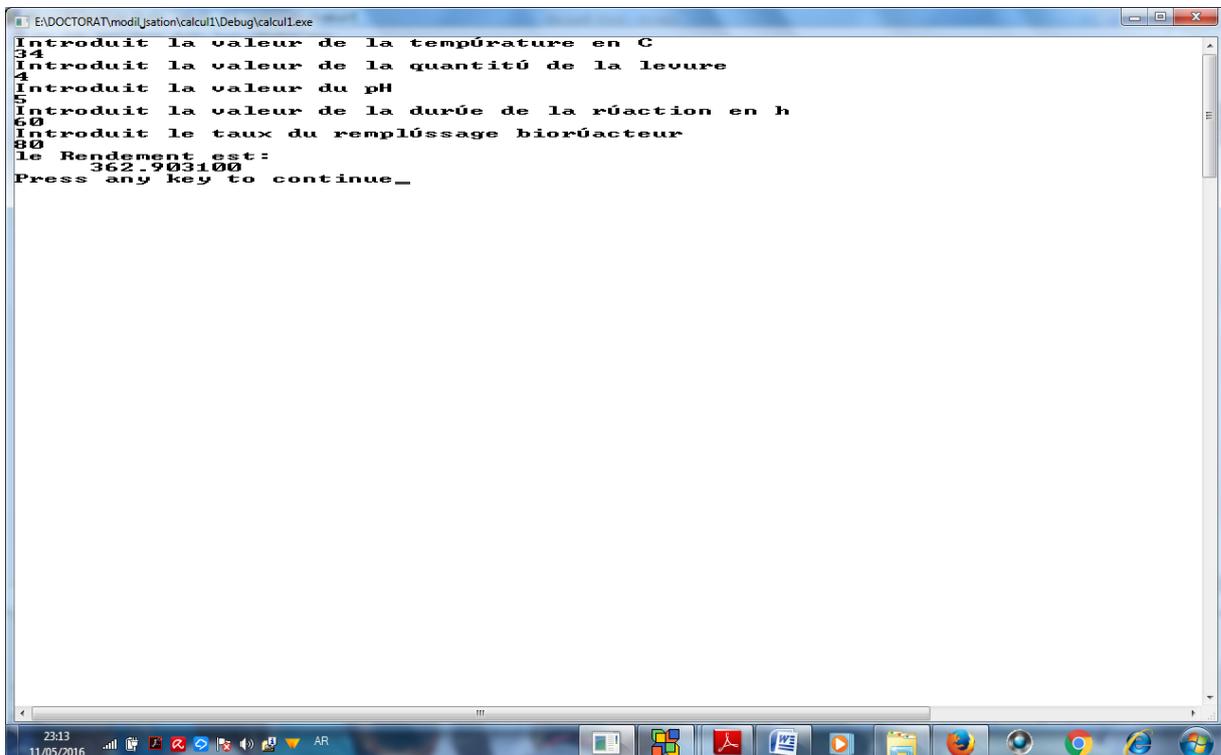
commune	عدد الحقول المزروعة		عدد الحقول الممتلئة															
	مساحة Superficie Cultivée	مساحة D. nour	مساحة D. nour	مساحة D. nour														
EL-OUED	563	36186	15869	7077	59132	494	32250	13037	6568	51855	27412	11733	4598	43743				
ROBBAH	172	12223	4374	1152	17749	157	11000	4090	1098	16188	8800	3067	714	12581				
OUED -ALANDA	679	50606	12300	7035	69941	617	45900	11000	6684	63584	39015	9900	4679	63594				
BAYADA	74	4880	2042	710	7632	70	4660	1770	705	7135	3728	1327	458	5513				
NAKHLA	229	15323	6913	1378	23614	228	15040	6845	1647	23532	12032	5134	1070	18236				
GUEMAR	941	42304	38916	13680	94900	900	40600	38000	12292	90892	26390	22800	7375	66565				
KOUIFINE	215	11600	5290	4985	21875	207	11000	5200	4832	21032	9350	4680	3382	17412				
REGUIBA	1399	85194	37438	18201	140833	1350	84000	34702	17160	135862	54600	22556	10296	87452				
HAMRAVA	836	56064	15081	14479	86624	720	52650	11358	9860	73868	34223	7383	5916	47522				
TAGHZOUT	717	34072	25305	13034	72411	688	33000	25000	11632	69632	21450	15000	6979	43429				
DEBILA	809	52820	14240	15720	82780	740	50000	13200	12650	75850	42500	11220	10752	64472				
H. ABDELKRIM	560	31120	15360	10960	57440	510	28500	13620	10050	52170	24225	11577	8542	44344				
HASSI KHALIFA	1727	99120	38380	39210	176710	1560	93000	36000	30600	159600	79050	30600	26010	135660				
TALEB LARBI	574	29570	19489	10167	59226	518	27400	17500	8620	53520	17262	8750	5431	31443				
DOUAR EL-MAA	384	21660	11230	6769	39659	310	18870	8750	4500	32120	11888	4375	2920	19183				
SIDI AOUN	752	44990	18440	13870	77300	626	38260	15000	11120	64380	32521	12750	9452	54723				
TRIFAOU	748	51460	12120	13295	76875	672	48000	10200	10780	68980	40800	8670	9163	58633				
MAGRENE	819	40460	25720	18170	84350	738	37500	23500	14950	75950	31875	19975	12708	64558				
BEN GUECHA	473	24950	14690	9214	48854	380	20930	12100	6300	39330	13294	6720	4095	24109				
OUERMES	597	38237	11350	11772	61369	527	35150	9650	9330	54130	22848	5790	5598	34236				
STILL	553	44367	5901	5541	55809	507	41300	5040	4830	51170	17759	2167	2077	22003				
M'RARA	537	48600	3406	2994	55000	500	46000	2600	2736	51336	29900	1560	1642	33102				
SIDI KHALIL	1608	121047	24344	18020	163411	1582	120000	23400	17400	160800	84000	11700	9918	105618				
TENDLA	1950	139053	29710	32720	201483	1725	123000	27356	28000	178356	92250	16414	16520	125184				
OGLA	206	13142	6303	1953	21398	205	12500	6218	2580	21298	10000	4664	1677	16341				
MIH OUENSA	838	61900	15300	9170	86370	776	57000	14114	8913	80027	48450	12703	6239	67392				
EL -MEGUAER	5818	447228	78533	59433	585194	5242	400200	75000	52123	527323	251068	36750	28601	316419				
DJAMAA	5472	360885	93525	142174	596584	5197	340770	92800	133000	666570	206870	51040	71820	329730				
OUM TIOUR	1186	98977	15054	16451	130482	1119	94000	13950	15160	123110	56400	6975	7428	70803				
SIDI AMRANE	4899	305182	88607	99546	493335	4715	292000	88600	94200	474800	180040	62020	65940	308000				
TOTAL	36335	2423220	705230	618880	3747330	33580	2264480	659600	550320	3464400	1530000	430000	352000	2312000				

Annexe2: Programme de calcul Fortron



```
program calcul
  real X1,X2,X3,X4,X5,XRend
  write(*,*)'Introduit la valeur de la température en C'
  read(*,*) X1
  write(*,*)'Introduit la valeur de la quantité de la levure '
  read(*,*) X2
  write(*,*)'Introduit la valeur du pH'
  read(*,*) X3
  write(*,*)'Introduit la valeur de la durée de la réaction en h'
  read(*,*) X4
  write(*,*)'Introduit le taux du remplissage bioréacteur'
  read(*,*) X5
  XRend = -1696.27500199369+21.069523117268*X1+115.001286617778*X2
  +155.027676071543*X3+14.6363735320705*X4+1.66204149404529*X5+
  3.74987436267425E-02*X1**2-12.6117300027701*X2**2-14.995710220377
  *X3**2-8.80034536877579E-02*X4**2-8.33291039723478E-03*X5**2
  write(*,*)'le Rendement est:'
  write(*,*)XRend
end
```

Annexe3: Exemple de l'exécution du programme Fortron



```
Introduit la valeur de la température en C
34
Introduit la valeur de la quantité de la levure
4
Introduit la valeur du pH
5
Introduit la valeur de la durée de la réaction en h
60
Introduit le taux du remplissage bioréacteur
80
le Rendement est:
362.903100
Press any key to continue_
```

Publications

Internationales

Full Length Research Paper

Production of bioethanol from varieties of dates of poor quality

Mohammed Tayeb Oucif Khaled* and Ladjel Segni

Laboratory Process Engineering, Kasdi Merbah University Ouargla, Algeria.

Received 17 April, 2014; Accepted 28 August, 2014

Algeria is one of the important date-producing countries with a yearly production of about 850,000 tons. The number of date palms is more than 18 million palm trees with more than one thousand varieties, however only 30% of this product is of good quality, and the rest is consumed locally or directly fed to the cattle. This study aims at transforming low quality types of dates using technical biotechnology (fermentation) into bioethanol. Our research shows that the average rate of ethanol production is 350 ml per kilogram of dates, thereby achieving a profit margin up to 2.9 € per kilogram, not to mention the byproducts of fermentation: The nuclei of dates, fibers etc. The application of this study allows the exploitation and marketing of poor quality date and a thus taking large profit that helps promote date palm trees cultivation and the production of all its types.

Key words: Fermentation, bioethanol, anaerobic, biomass, palm tree, dates, El-ouel.

INTRODUCTION

In Algeria, the number of date palms is over 18 million with a number of varieties that exceeds one thousand varieties (Document, 2012; Website of the FAO, 2012). The State of El Oued is considered among the most important States of Algeria producers of dates with a rate of 29.54% of the national production; the phoenicicole potential of this State has a significant increase with a number nearing 3.4 million date palms for an area of over 32562 ha, producing about 212 thousand tons, including 31,330 thousand tons of Deglet Nour, considered as the best variety of commercial dates (Document, 2013a). The dates of low market values represent approximately 50% of the total production of dates; these dates can be used as raw material for the production of various products such as flours dates, syrups, creams and jams date, alcohol, vinegar, citric acid, yeast, cattle feed and other products (Amallal and Chibane, 2008; Messaid, 2008;

Siboukeur et al., 2001; Ould et al., 2006; Acourène and Tama, 2001; Acourene et al., 2008). For example, in Iraq, wort dates is the main feedstock for ethanol production (Mohammed and Al-Abid 2006).

The work done in this study, aims at valorizing four varieties of dates (Ghars, Tinissine, Taquermeste and Boucheire) in a bid to obtaining a widely used product. It is precisely the bioethanol prepared at the laboratory by the fermentation of the most of the varieties of dates and the optimization of parameters of the alcoholic fermentation of the most of dates.

Choice of varieties

Targeting a comparative study of the different varieties of must yield of bioethanol, the following four varieties were

*Corresponding author. E-mail: oucif100@yahoo.fr

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0 International License](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Figure 1. Photo of dates variety Ghars.



Figure 4. Photo of dates variety Boucheire.



Figure 2. Photo of dates variety Tinissine.



Figure 3. Photo of dates variety Taquermest.

chosen: Ghars, Tinissine, Taquermeste and Boucheire (Figures 1 to 4). We opted for this choice for two basis: Their abundance and availability in considerable quantities in the region of El Oued.

The region of El Oued

The State of El Oued is located in the south-east of Algeria, with an area of 44586.80 Km² (Document, 2013b). Its borders are: From the North-east with the State of Tebessa and Khenchela, from the North-West with the State of Biskra, from the West with the State of Djelfa, from the South and West with the State of Ouargla and from the East with Tunisia. The State has four main population centers: Souf region, Erg, Oued, Righ and depression regions (Figure 5).

MATERIALS AND METHODS

Physico-chemical characterization of the raw material

We determined the physical characteristics that are: Color, consistency, weight of the date, weight of the pulp, the pulp / report date, weight of the core, length and width of the date. The chemical characteristics are determined: The rates of sugars (total sugars, reducing sugars and sucrose)

Physical analysis

1. The color was visually appreciated;
2. Consistency: by touch;
3. The size is determined by means of a vernier caliber;
4. The weights are determined directly using an analytical balance.

Chemical analysis

Determination of reducing sugars: Determining the reducing sugars is performed by the method of phenol / sulfuric acid: The carbohydrates in sulfuric acid medium and at hot are dehydrated into furfural derivatives which readily combine with phenol and give a salmon-pink color (glucose provides the hydroxyfurfural). The absorbance is read at a wavelength of 490 nm. The color is permanent (Dobois et al., 1956; Audigie et al., 1983).

The determination of total sugars: An acidic medium allows the hydrolysis of sucrose into reducing sugars, the analysis is easier

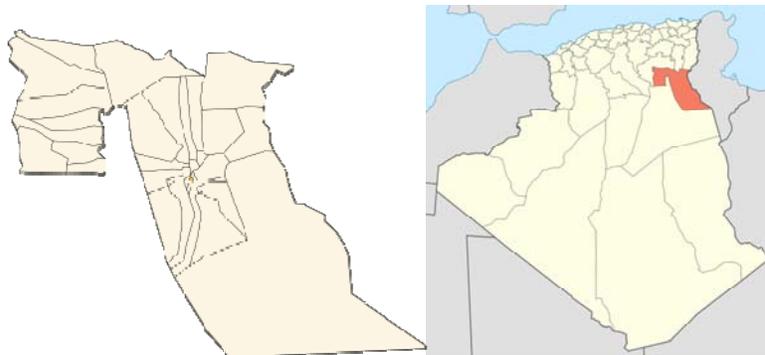


Figure 5. Geographic situation and the card of the state of El Oued.

(the determination of reducing sugars). The result obtained represents the amount of reducing sugars already present as well as sugars obtained by hydrolysis of sucrose, so we can know the amount of total sugars (Audigie et al., 1983).

The sucrose content: The sucrose content is obtained by the difference between the total sugar content and the content of reducing sugars present in the sample.

Production of ethanol by fermentation of dates

First of all we can mention that the whole study was prepared in the laboratory. The production of ethanol from dates is based on the following steps: The preparation of most of dates, the process of alcoholic fermentation, the distillation and rectification.

Preparation of must

The most is a sweet liquid taken from the prepared dates which must be washed to get rid of dust and to reduce their microbial loads, then they are pitted. The most of dates is obtained by maceration of pitted dates in warm water 70 to 80°C. The quantity is determined by 1000 g of date pitted for each 3000 ml distilled water with continuous stirring of the mixture for 5 h to avoid sedimentation of date and maintaining the homogeneity of mixture at all points. Finally the solution is filtered through a fabric of fibers between the dates and the must (Boulal et al., 2010; Kaidi and Touzi, 2001).

Process of alcoholic fermentation

The must already prepared is directly used for the anaerobic fermentation with the baker's yeast *Saccharomyces servisiae* developed in a medium enriched with inorganic salts (ammonium sulfate, ammonium phosphate). The Must and the yeast are put in the fermentor. The fermentor (which is a recipient made of glass with holes above through which we can add the electrodes of pH meter ; also it has a valve used as an exit for gases). In order to keep the temperature constant at 32°C the fermentor is immersed in a water bath, with a pH adjusted between 4.2 and 5.4; the amount of yeast used is 3 g for 3 L of must, fermentation lasts 72 h.

Distillation and rectification

At the end of fermentation, the date wine is obtained; it must be filtered using a tissue to separate fibers from yeast. To extract

ethanol, the filtered wine is distilled at a temperature of about 79°C. The rectification of the crude alcohol requires a second distillation of the order of 78°C (we mention that the distillation was done with a simple mounting).

RESULTS AND DISCUSSION

Physical analysis

Table 1 lists the physical characteristics of the four cultivars studied:

Chemical analysis

The sugar content of the four varieties is shown in Table 2. It may be noted that the date of Ghars variety is sweeter with a total sugar content of 88.52%, other varieties have close levels of reducing sugars, the varieties Boucheire and Ghars are rich in sucrose with a sucrose levels respectively 5.13 and 5.04%. However the other two varieties (Tinissine and Taquerreste) have low levels of sucrose 0.85 to 1.14%. High levels of sugars facilitate the fermentation of musts of dates and thus help obtaining bioethanol. Our results of physicochemical analysis are similar and close to those dates studied previously (Amallal and Chibane, 2008; Cheikh, 1994; Dowson and Aten, 1963; Hamdoud, 1994; Khali et al., 2007; Munier, 1973; Ould, 2001; Riviere, 1975).

Yield bioethanol

After distillation and rectification we obtained the results in Table 3. Our results are comparable to the results of Touzi who came to the production of ethyl alcohol in the laboratory with a yield of 87%.

Dates variety of Ghars is largely consumable. Its price in the Algerian market is between 50 and 100DA or between 0.47 and 0.95€. The prices of the other varieties in the Algerian market do not exceed 25DA (0.23€). The cost of ethanol production from dates is about 60DA

Table 1. Physical characteristics of dates studied.

Parameter	Variety			
	Ghars	Tinissine	Taquermeste	Boucheire
Color	Brown	Black	Black	Amber-Black
consistencies	Soft	Soft	Soft	Soft Half
Weight date (g)	12.68	8.18	12.48	8.27
Pulp weight (g)	11.6	6.75	11.25	6.44
Report pulp / date (%)	91.48	82.52	90.14	77.87
Core weight (g)	1.08	1.43	1.23	1.83
Length date (cm)	4.45	3.7	2.4	3.85
Width date (Cm)	2.0	1.55	2.5	1.2

Table 2. Levels of sugars studied dates.

Variety	Sugar content (%)		
	Total sugars	Reducing sugars	Sucrose
Ghars	88.52	83.1	5.13
Tinissine	77.6	76.7	0.85
Taquermeste	79.9	78.7	1.14
Boucheire	73.21	78.51	5.04

Table 3. Bioethanol yield for 1kg of pitted date.

Variety	Ghars	Tinissine	Taquermeste	Boucheire
Volume of ethanol (ml) in for 1 kg of date	624	242	333	475

(0.57€) per 1kg of date (electricity, reagents, raw material, labor etc). The average yield of the three varieties (Tinissine, Taquermeste and Boucheire) is 350 ml of ethanol per 1 kg of these varieties, the price of ethanol 95° in the world market is 10.6 € (1113DA) (website servilab, 2013), so the price of 1 kg of these dates when converted into bioethanol is about 3.71€ instead of 0.23€ without transformation. It means a profit of about 2.91€ per 1 kg of this variety of dates.

Conclusion

Wastes from dates varieties: Tinissine, Taquermeste and Boucheire grown in the region of Oued Souf can be converted into bioethanol by fermentation. We arrived at an average rate of ethanol production of about 350 ml per kilogram of dates, taking into consideration the price of these varieties in the market, the cost of processing and the price of ethanol (we can reach a margin up to 2.9 € per kg), regardless the byproducts of fermentation process: nuclei dates, fibers, etc. The application of this

study allows the exploitation and marketing of dates of poor quality and thus taking large profits that helps promote date palm cultivation and production of all types. In addition to all that, the bio ethanol could be used as a bio-fuel because of its characteristics as a green energy.

Conflict of Interest

The authors have not declared any conflict of interest.

REFERENCES

- Acourène S, Tama M (2001). Utilisation des Dattes de Faible Valeur Marchande (Rebuts de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) Comme Substrat pour la abrication de la Levure Boulangère, Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation–Biomasse, pp. 1-10.
- Acourene S, Ammouche A, Djaafri K (2008). Valorisation Des Rebuts De Dattes Par La Production De La Levure Boulangere, De L'alcool Et Du Vinaigre, Sciences and Technologie C–N°28 Décembre 2008, pp. 38-45.
- Amallal N, Chibane H (2008). Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes: Formulation d'un Yaourt Naturelle Sucré et Aromatisé, thèse de doctorat en génie alimentaire,

- université Mohammed Bouguera- Boumerdes.
- Audigie C, Dupont G, Zonszain F (1983). Principes des méthodes d'analyse biochimique. Ed. Doin, T. 2, Paris, P. 144.
- Boulal A, Benali B, Moulai M, Touzi A (2010). Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol, Revue des Energies Renouvelables. 13 N°3:455–463.
- Cheikh M (1994). Contribution à l'étude de la production d'alcool et de vinaigre par 4 variétés de dattes communes (Degla Beida, Techerwit, Hamraya et Assabri) de la cuvette de Ouargla. Thèse ing. agro., INFS/AS, Ouargla, P. 40.
- Document (2012). Statistically Agricultural', Ministry of Agriculture.
- Document (2013a). agricultural statistics of the State of El Oued Yearbook.
- Document (2013b). Les Grands Carrefours De Developpement La State D'el-Oued, préparé par: Agence Nationale De Developpement De L 'Investissement Guichet Unique décentralisé de OUARGLA site web: <http://www.andi.dz>.
- Dowson W, Aten A (1963). Récolte et conditionnement des dattes. Ed. FAO, Rome pp. 6-44.
- Kaidi F, Touzi A (2001). Production de Bioalcool à Partir des Déchets de Dattes, Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation – Biomasse, pp. 75-78.
- Hamdoud I (1994). Essai de production de levure boulangère (*Saccharomyces cerevisiae*) sur les moûts de 3 variétés de dattes communes (Assabri, Degla Beida, Tacherwit). Thèse ing. agron., INFS/AS, Ouargla, p. 46.
- Khali M, Selselet-Attou G, Guetarni D (2007). Influence De La Thermisation Et D'un Emballage Pour Atmospheres Modifiees Sur La Composition Chimique De La Datte Deglet Nour Au Cours Du Stockage Au Froid, Sciences and Technologie C – N°26, DEC 2007, pp. 9-16.
- Messaid H (2008). Optimisation des processus d'immersion-réhydratation de système dattes sèches – jus d'orange, mémoire de magister en technologie alimentaire option génie alimentaire, université Mohammed Bouguera- Boumerdes.
- Mohammed M, Al-Abid R (2006). Dates Derived Industries, J. Agric. Invest. Fourth. pp. 67-73.
- Munier P (1973). Le palmier dattier. Ed. Maison Neuve et Larose, Paris, P. 367.
- Siboukeur O, Ould MD, El Hadj F, Zargat (2001). Contribution à l'Etude de la Production d'Acide Citrique par *Aspergillus niger* Cultivée sur Moût de Dattes de la Variété Ghars, Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation- Biomasse. pp. 93-96.
- Ould HDM (2001). Etude comparative de la productivité d'alcool brut de dattes selon les variétés. Recherche Agronomique, N° 9, INRA-Alger pp. 91-99.
- Ould HMD, Bitour Z, Siboukeur O (2006). Etude De La Production De Levure Boulangerie (*Saccharomyces Cerevisiae*) Cultivee Sur Mout De Rebutts De Dattes, Courrier du Savoir – N°07, Décembre 2006, pp. 13-18.
- Riviere J (1975). Applications industrielles de la microbiologie. Ed Masson et Cie, P. 203. PMID:124590
- Website of the FAO (2012). Regional Office for the Middle East and North Africa, the information November 19, 2012, website: <http://www.fao.org/home/fr/>
- Website Servilab (2013). C2% AE/alcd-1000.htm 27-07-2013. website: <http://www.servilab.fr/go/lab-online%>

Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences

First Generation Bioethanol from Some Varieties of Dates Grown In the Region of El-Oued in the South of Algeria.

Mohammed Tayeb Oucif Khaled^{1*}, and Ladjel Segni²

¹Process Engineering Department, University Elchahid Hama Lakhder, BP789 El-Oued, Algeria.

²Process Engineering Department, UKM University Ouargla, 30000 Ouargla, Algeria.

ABSTRACT

Bioethanol is an innovative solution that is respectful of the environment and able to reduce pollution. The first generation bioethanol is produced from sugary or starchy foods by a fermentation process. In warm areas, arid and semi-arid areas, dates can be the best substrate for the production of bioethanol. After statistical study of the number and the production of palm dates in the state of El Oued and also after determining yield of bioethanol per kilogram of dates, our study shows that 1 hectare of date palm can produce either debt 68.85quintar of dates or 2409.75litres of bioethanol per hectare, not to mention the byproducts of fermentation: the nuclei of dates, fibers ...etc. The application of this technique of transformation encourages all kinds of date palms cultivations and facilitates the marketing of all varieties of dates.

Keywords: Bioethanol, fermentation, anaerobic, palm tree, dates, El-oued.

**Corresponding author*

INTRODUCTION

Bioethanol is a fuel produced mainly from vegetable raw materials. The so-called first-generation bioethanol is produced from plant reserves organs store sugar as beet [1,2] and cane [3], starch such as wheat [4-5], corn [6-7], potatoes [8] and some vegetable oils [9,10,11] by a fermentation process. These organs reserves also being used for human food, biofuel production is in competition with food production.

The second generation bioethanol not use the plant storage organs but the whole plants or plant waste [12-15]. What is valued is the lignine and cellulose plants. Third generation bioethanol is produced from algae [16-18].

The number of date palms in Algeria is over 18 million and the number of varieties that exceeds one thousand varieties[19-20]. The State of El Oued in the south of Algeria product 29.54% of the national production of date, The number of date palms in this State has a significant increase with a number nearing 3.4 million date palms for an area of over 36335 ha, producing about 231,2 thousand tons [21]. The dates of low market values represent approximately 50% of the total production of dates, these dates can be used as raw material for the production of bioethanol by biotechnological processes.

The work presented in this study is to estimate the production of bioethanol per hectare of date palm and compared this performance with yields of other agricultural products used as raw materials for the production of bioethanol.

MATERIALS AND METHODS

Vegetable matter

For this study we used four varieties of dates are: Ghars, Tinissine, Taquermeste and Boucheire. Fig.1 shows photos of these varieties.



Fig 1: Photo of dates: a- Variety Ghars, b- Variety Tinissine, c- Taquermest, d- Variety Boucheire

Statistics provided we have collected with the help of the agricultural interests of the state of El Oued.

Biological materials

For the production of ethanol from dates was used dry baker's yeast, *Saccharomyces cerevisiae*. This yeast is kept in a cool, dry place. It is characterized by these abilities has fermented a significant amount of sugar. It is commercially available under several brands and acceptable prices.

Production of ethanol

Bioethanol is produced in the laboratory according to the protocol shown on the following flowchart (Fig.2).

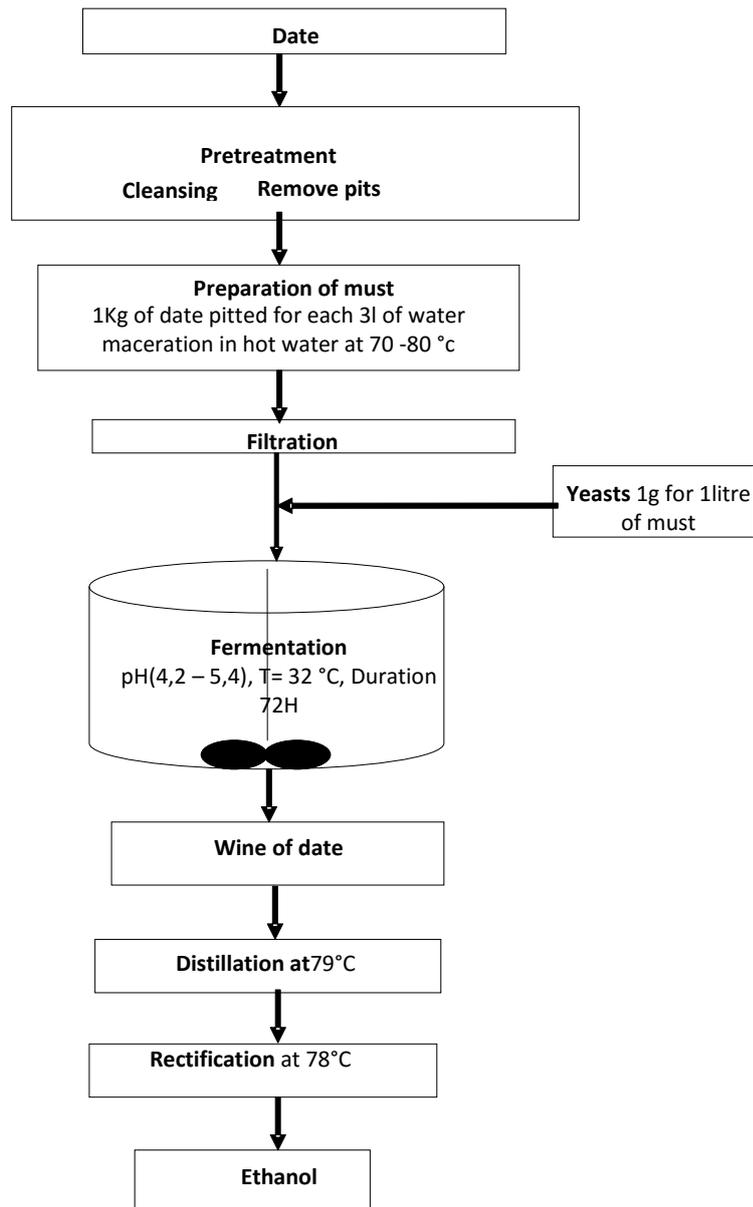


Fig. 2: Protocol producing bioethanol from dates

RESULTS AND DISCUSSION

The price of dates Ghars variety is very high on the local market from the other three varieties, so the use of dates variety Ghars is unprofitable. The average return of the three varieties (Tinissine, Taquermeste and Boucheire) is 350 ml of ethanol per 1Kg of these varieties. According to the agricultural interests of the state, the 33580 hectares of palm produce 2312000 quintals of dates at the rate of production estimated at 68.85 quintals per hectare [21], the transformation of 50% of this production (dates of low market values) can produce 1204,875 liters of ethanol per hectare. The following table (table.1) comparing the price and yield of some food products used in the production of biométhanol.

Table 1: Price and bioethanol yield of some food products

	Yield t/ha [22]	Price \$/t [22]	Biométhanol yield l/ha [23]
Wheat	2.82	184.33	2040
Corn	8.25	160.68	3000
Potato	29.4	263.68	2400

The production cost of bioéthanol from sugar beet is between 0.359 and 0.482 Euro/l [24], so that the processing costs are the lowest. The low price of these varieties of dates in the market promotes the production of bioethanol from dates which allows dates to be a good choice for ethanol production.

CONCLUSION

Wastes from dates varieties: Tinissine, Taquermeste and Boucheire grown in the region of Oued Souf can be converted into bioethanol by fermentation. We arrived at an average rate of ethanol production of about 350 ml per kilogram of dates. The rate of dates production in this state estimated at 68.85 quintals per hectare or 2409.75L of bioethanol per hectare, not to mention the byproducts of fermentation: the nuclei of dates, fibers ...etc.

The application of this technique of transformation encourages all kinds of date palms cultivations and facilitates the marketing of all varieties of dates. In addition to all that, the bio ethanol could be used as a bio-fuel because of its characteristics as a green energy.

REFERENCES

[1] Melania Salazar-Ordóñez, Pedro P. Pérez-Hernández, José M. Martín-Lozano. *Energy Policy* 2013; 55: 662–668

[2] L.A. Rodríguez, M.E. Toro, F. Vázquez, M.L. Correa-Daneri, S.C. Gouiric, M.D. Vallejo. *International Journal of Hydrogen energy* 2010; 35: 5914 – 5917

[3] Reynaldo Palacios-Bereche, Adriano Ensinas, Marcelo Modesto, Silvia A. Nebra. *Energy* 2014; 70: 595-604

[4] Héctor A. Ruiz, Daniel P. Silva, Denise S. Ruzene, Luis F. Lima, Antonio A. Vicente, José A. Teixeira. *Fuel* 2012; 95: 528–536

[5] Lei Wang, Jade Littlewood, Richard J. Murphy. *Energy Reviews* 2013; 28: 715 – 725

[6] Mingxin Wang, Xinxing Pan, Xunfeng Xia, Beidou Xi, Lijun Wang. *Bioresource Technology* 2015; 187: 113–119

[7] Rahayu Suryaningsih, Irhas. *Energy Procedia* 2014; 47: 211 – 216

[8] Muhammad Jusuf, Erliana Ginting. *Energy Procedia* 2014; 47: 173 – 179

[9] Sharifah Sopliah Syed Abdullah, Yoshihito Shirai, Ezyana Kamal Bahrin, Mohd Ali Hassan. *Industrial Crops and Products* 2015; 63: 357–361

[10] Eka Triwahyun, Sri Hariyanti, Deliana Dahnum, Muhammad Nurdin, Haznan Abimanyu. *procedia Chemistry* 2015; 16: 141 – 148

[11] Sureeporn Kumneadklang, Siriporn Larpkiattaworn, Chaisit Niyasom, Sompong O-Thong. *Energy Procedia* 2015; 79: 784 – 790

[12] Esra Imamoglu, Fazilet Vardar Sukan. *Fuel* 2014; 134: 477–484

[13] Alma Rosa Dominguez-Bocanegra, Jorge Antonio Torres-Munoz, Ricardo Aguilar Lopez. *Fuel* 2015; 149: 85–89

- [14] Soni Sisbudi Harsono, Salahuddin, Mukhammad Fauzi, Gatot Sugeng Purwono, Djoko Soemarno, KissingerProcedia Chemistry 2015; 14: 408 – 413
- [15] Arpan Das, Tanmay Paul, Arijit Jana, Suman K. Halder, Kuntal Ghosh, Chiranjit Maity, Pradeep K. Das Mohapatra, Bikash R. Pati, Keshab C. Mondal. Industrial Crops and Products 2013; 46: 217– 225
- [16] Inn Shi Tan, Keat Teong Lee. Carbohydrate Polymers 2015; 124: 311–321
- [17] Mariano Martin, Ignacio E. Grossmann. Applied Energy 2014; 135: 108–114
- [18] Peyman Fasahati, Hee Chul Woo, J. Jay Liu. Applied Energy 2015; 139: 175–187
- [19] Document 'Statistically Agricultural'; The Algerian Ministry of Agriculture. (2012).
- [20] FAO. Regional Office for the Middle East and North Africa, the information November 19, 2012, <http://www.fao.org/home/fr/>
- [21] Document. agricultural statistics of the State of El Oued Yearbook; (2014).
- [22] Ministry of Agriculture, Fisheries and Food of Quebec. Technical and economic studies for industrial bioproducts chains to commodities or agricultural biomass; (2014) https://www.agrireseau.net/energie/documents/Etudes_Ecoressources_Bioproducts_Phase1.pdf
- [23] Pierre Schaller. Etha+, Le bioéthanol potentiel et perspectivesM (2003). http://www.adequa.ch/etha-plus/presse1103/ETHA+_PRE_Planair_pres.pdf
- [24] Marina Enguidanos, Antonio Soria, Boyan Kavalov, Peder Jensen. Institute for Prospective Technological Studies; Techno-economic analysis of Bio-alcohol production in the EU: a short summary for decision-makers; (2002). <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur20280en.pdf>