

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali BOUNAAMA - KHEMIS MILIANA



Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de biologie
Filière d'Ecologie et Environnement
Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Mémoire

Présenté dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Protection des Ecosystèmes

Thème

Valorisation énergétique durable des dattes Algériennes en vue de produire du bioéthanol

Présenté par :

- **BOUSSOUBEL Wiam**
- **KHAIF Fairouz**

Jury d'évaluation:

Mme BENOUAKLIL Fetouma	MCB	Présidente
Mr AROUS Ali	MAA	Examineur
Mme BAUCHE Fatima Zohra	MCB	Promotrice

2019/2020

Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que
Je dédie cette mémoire*

A mes très chers parents autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Vous n'allez combler avec votre tendresse et affection tout au long de mon parcours. Vous n'allez cesser de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, vous allez toujours présents à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi et pour vous reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant vous donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour. Que dieu me les garde.

A mes sœurs et mes frères pour leurs disponibilité, leurs soutien, leurs encouragement incessant.

A Mon cher marie d'être toujours à mes côtés pour me soutenir, pour m'aider dans la mesure du possible, mais surtout pour donner du goût à ma vie par son amour et sa tendresse, j'espère qu'il trouve ici le témoignage de mon profond amour, attachement et respect.

A ma belle famille pour leur soutien, gentillesse et sympathie.

A Tous ceux que j'aime.

FAIROUZ.

Dédicace

Avant tous je remercie le bon dieu de m'avoir mis sur le bon chemin
pour pouvoir Réaliser ce travail

Au cristal de ma vie, la lune de mes nuits, le soleil de mes jours, et la
source d'amour A ma très chère mère

A mon cher père Djelloul qui m'a toujours aidé et encouragé tout au
long de ma vie

A mon unique frère Mohamed et ma sœur Meriem

A mon bras droit et mon coup de cœur Amine

A mes deux tantes Samira et Mahdia

A ce lui avec ce partager ce travail mon binôme Khaif Fairouz

A ma grande mère Arbia et Zineb

A tous ceux que j'aime

Wiam

Remerciement

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là.

Je tiens à remercier Mme **BAOUCHE Fatima Zohra** pour son encadrement et son soutien. Mes remerciements vont aux membres de jury d'avoir honoré de juger ce modeste travail. En l'occurrence Mme **BENOUAKLIL Fetouma** et Mr **AROUS Ali** pour avoir accepté d'examiner le présent manuscrit.

J'exprime ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué de près ou loin à ce travail.

LISTE DES ABREVIATIONS

Ha : Hectare

QX : Quintaux

DSA : Direction locale des **S**ervices **A**gricoles

MW : Mega **W**att

GW : Giga **W**att

GES : **G**az à **E**ffet de **S**erre

P : **P**récoce (période de récolte en fin Août)

N : **N**ormale (période de récolte en Septembre)

T : **T**ardive (période de récolte en Novembre)

L : **L**ongueur (Cm)

NO_x : Oxydes azotés

SO_x : Oxydes soufrés

MTEP : Millions Tonne Equivalent **P**étrole (1Tep = 41800MJ = 10700Kcal = 11600KWh)

MS : Matière **S**èche

ATP : **A**dénosine **T**ri**P**hosphate

BLC : **B**iomasse **L**igno**C**ellulosique

CO₂ : **D**ioxyde de **C**arbone

Conc : **C**oncentration

NAD⁺ : Nicotinamide **A**dénine **D**i nucléotide, forme oxydée

NADH : Nicotinamide **A**dénine **D**i nucléotide, forme réduite

SC : **S**accharomyces **C**erevisiae

SFS : **S**accharification et **F**ermentation **S**imultanée

SHF : **F**ermentation et **H**ydrolyse **S**éparées

ETBE : Ethyl **T**ertio **B**utyl **E**ther

CBP : **C**onsolidat **B**io**P**rocessing

pH : **P**otentiel d'**H**ydrogène

V/V : **V**olume par **V**olume

Abs : **A**bsorbance

UV-Vis : **U**ltra-**V**iolet **V**isible

HMF : **H**ydroxy-**M**éthyl **F**urfural

Sommaire

Introduction général.....	1
---------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les intérêts des dattes algériennes dans la production de bioéthanol

I.1 Introduction.....	5
I.2 Répartition géographique du palmier dattier	5
I.3 Les différentes variétés des dattes algériennes	6
I.3.1 Deglet Nour	7
I.3.2 Degla Beida	8
I.3.3 Ghars	9
I.3.4 Deglet Talmine (deglet Djedir)	10
I.3.5 Hamraye	10
I.3.6 Hmira.....	11
I.3.7 Itima	11
I.3.8 Mech Degla	11
I.3.9 Tafzouine.....	12
I.3.11 Thouri	12
I.3.12 Kahlaya (Tinicine).....	12
I.3.13. Tinaceur.....	13
I.4 La biomasse	13
I.4.1 Les catégories de biomasse	13
I.4.2 valorisation de la biomasse (Fonctionnement technique et scientifique).....	13
I.4.3. Les effets de la biomasse.....	14
I.4.4. La biomasse	15
I.5 Les bioénergies	16
I.5.1 Le biogaz	16
I.5.2 Le biocarburant	17
I.5.3 Le bioéthanol.....	18
Le bioéthanol est.....	18
I.5.4 Le biodiesel	18
I.6 Conclusion	19

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

II.1 Introduction	21
II.2 Définition du bioéthanol	22
II.3 Etapes de préparation du bioéthanol à partir des plantes saccharifères	23
II.3.1 Bioéthanol de première génération	23
II.3.2 Bioéthanol de deuxième génération	23
II.3.3 Bioéthanol de troisième génération	23
II.4 Projets de production de bioéthanol à partir des dattes	24
II.4.1 À l'échelle nationale	24
II.4.2 A l'échelle mondiale	24
II.5 Avantages et inconvénients du bioéthanol	24
II.5.1 Avantages du bioéthanol	24
II.5.2 Inconvénients du bioéthanol	25
II.6 Biomasse végétale	25
II.6.1. Prétraitement de la biomasse végétale	26
II.6.2. Procédé d'hydrolyse avec l'acide dilué	27
II.6.3. Procédé d'hydrolyse avec l'acide concentré	27
II.6.4. Procédé d'hydrolyse alcaline	27
II.6.5. Procédés organosolv	27
II.7. Fermentation alcoolique	28
II.7.1. Définition de la fermentation	28
II.7.2. Objectifs de la fermentation	29
II.7.3. Procédé d'hydrolyse	29
II.7.4. Procédé de la fermentation alcoolique	29
II.7.5. Les micro-organismes utilisés en fermentation	31
II.7.6. Etude de la levure boulangère de type (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	33
II.7.7. Les phénomènes d'inhibition qui influencent sur la croissance des micro-organismes (Sc)	37
II.8. L'extraction du bioéthanol	38
II.8.1. Techniques de fermentation alcoolique	40
II.9. Conclusion	41

Chapitre III : Techniques d'extraction De Bioéthanol Des Dattes

III.1 Introduction	43
--------------------------	----

III.2. Utilisation du jus de dattes pour la production de bioéthanol	43
III.2.1. A Université Badji Mokhtar-Annaba par [20].....	43
III.2.2 Etapes d'extraction de bioéthanol effectués à l'Université Kasdi Merbah-Ouaregla	52
III.2.3. Méthode d'extraction utilisé par Boulal Ahmed et al à l'Université Ahmed Draia-Adrar	55
III.3. Conclusion.....	55
Chapitre IV : Discussion des résultats de mesures post-expérimental	
IV.1. Introduction	57
IV.2. Discussion des résultats obtenus par [20] (université de Annaba).....	57
IV.2.1. Courbes d'étalonnage.....	57
IV.3. Discussion des résultats obtenus par [44] (université de Ouargla)	65
IV.3.1 Résultats de l'analyse physicochimique au cours de la fermentation	65
IV.4 Discussion des résultats obtenus par [48] (université d'Adrar)	68
IV.4.1 Résultats des analyses des mouts de dattes pendant la fermentation alcoolique.....	68
IV.4.2 Résultats de l'analyse physicochimique du produit final (Bioéthanol).....	71
IV.5. Etude comparative des différents substrats utilisés avec « <i>S. cerevisiae</i> »	72
IV.5.1 Mesure de PH	72
IV.5.2 Mesure de la densité	73
IV.5.3 Détermination de la teneur des sucres totaux	73
IV.5.4 Résultats de l'analyse physicochimique du produit final (Bioéthanol).....	74
IV.6. Conclusion	75
Conclusion générale et perspectives.....	77
Références bibliographiques	79

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1. Principales variétés de dattes algériennes et leur aire de culture (Dubost,1991).

Tableau I.2. Caractéristiques physico-chimiques de Deglet Nour.

Tableau I.3. Caractéristiques physico-chimiques de Degla Beida.

Tableau I.4. Caractéristiques physico-chimiques de Ghars.

Tableau I.5. Les différentes générations de biocarburants et les procédés de transformation pour chaque génération.

Tableau I.6. Propriétés physico-chimiques de l'éthanol.

Chapitre II

Tableau II.1. Différents procédés de prétraitement de la biomasse.

Tableau II.2. Produits industriels issus de bioprocédés.

Tableau II.3. Concentrations inhibant 80% de la croissance cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae* pour les principaux sous-produits de la fermentation alcoolique.

Chapitre III

Tableau III.1. Matériels et appareils utilisés par Fennouche. I. (2017).

Tableau III.2. Conditions de croissance de la levure « *Saccharomyces cerevisiae* ».

Chapitre IV

Tableau IV.1. Caractéristiques physico-chimiques des jus de dattes avant fermentation.

Tableau IV.2 Détermination des paramètres de croissance de « *S. cerevisiae* » pour les deux jus de datte concentré et dilué.

Tableau IV.3 Caractéristiques physicochimiques et biochimiques des produits de fermentation en présence des deux jus de dattes.

Tableau IV.4 Caractérisation du bioéthanol obtenu par distillation des différents jus de dattes concentré et dilué.

Tableau IV.5 Teneur en sucre totaux et saccharose des dattes.

Tableau IV.6 Valeurs moyennes de quelques paramètres physico-chimiques des deux variétés de dattes communes.

Tableau IV.7 Résultats des analyses physicochimiques du bioéthanol produit au laboratoire (produit final).

Tableau IV.8 Résultat de mesure de PH des trois différents substrats des dattes.

Tableau IV.9 Résultat de mesure de densité des trois différents substrats des dattes.

LISTES DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1. Répartition des palmeraies en Algérie.

Figure I.2. Répartition des palmeraies de Deglet Nour, Degla Beida et Ghers en Algérie.

Figure I.3. Caractéristique morphologique de datte de variété Degla Beida

Figure I.4 : Caractéristique morphologique de datte de variété Ghars

Figure I.5 : Caractéristique morphologique de datte de variété Deglet Talmine

Figure I.6 : Caractéristique morphologique de datte de variété Hamraye

Figure I.7 : Caractéristique morphologique de datte de variété Hmira datte entière, pulpe et noyau

Figure I.8 : la datte entière, la pulpe et le noyau de la variété Itima

Figure I.9 : la datte entière, la pulpe et le noyau de la variété Mech Degla

Figure I.10 : Caractéristique morphologique de datte de variété Tafzouine

Figure I.11 : Caractéristique morphologique de datte de variété Tantbouchet

Figure I.12 : la datte entière, la pulpe et le noyau de la variété Thouri

Figure I.13 : Caractéristique morphologique de datte de variété Kahlaya (Tinicine)

Figure I.14 : la forme de la matière première de datte de variété Tinaceur

Figure I.15. Objectifs du programme Algérien des énergies renouvelables 22 GW à l'horizon 2030.

Figure I.16. Evolution des objectifs par filière (programme Algérien des énergies renouvelables).

Chapitre II

Figure II.1. Etapes de préparation du bioéthanol à partir des plantes saccharifères.

Figure II.2. Schéma de prétraitement de la biomasse lignocellulosique.

Figure II.3. Hydrolyse du saccharose.

Figure II.4. Types de procédés de fermentation.

Figure II.5. La structure morphologique et les constituants de la levure type (*Saccharomyces cerevisia*)

Figure II.6. Schéma de la technique de fermentation et hydrolyse séparées pour la biomasse lignocellulosique.

Chapitre III

Figure III.1. Une électronographie (photographie prise au microscope électronique à balayage).

Figure III.2. Etapes de prétraitement des dattes.

Figure III.3. Montage expérimental pour l'extraction du jus de dattes.

Figure III.4. Dispositif expérimental de la fermentation alcoolique.

Figure III.5. Diagramme de production de l'éthanol.

Figure III.6. Le bain-marie et le réacteur de fermentation.

Chapitre IV

Figure IV.1 Courbe d'étalonnage du glucose obtenu à une longueur d'onde ($\lambda=488$ nm).

Figure IV.2 Courbe d'étalonnage de la concentration de cellules de levure ($\lambda=600$ nm).

Figure IV.3 Aspect morphologique de la souche *S. cerevisiae* utilisée dans [20].

Figure IV.4 Levures cultivées dans un moût de dattes concentré.

Figure IV.5 Courbes de croissance de *S. cerevisiae* pour les jus de dattes à différentes valeurs de Brix.

Figure IV.6 Modélisation de la phase de croissance exponentielle pour « *S.cerevisiae* » Détermination des vitesses de croissance maximale pour les deux jus de datte concentré et dilué.

Figure IV.7 Ecume formée durant la fermentation des mouts de datte : (a) : moût de dattes concentré. (b) : moût de dattes dilué.

Figure IV.8 Cinétique classique du pH lors d'une fermentation alcoolique.

Figure IV.9 Evolution de la densité en fonction du temps de fermentation.

Figure IV.10 Evolution du taux de sucre totaux au cours de la fermentation.

Figure IV.11 Evolution du pH des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique.

Figure IV.12 Evolution de la densité des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique.

Figure IV.13 Evolution du degré alcoolique des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation et après distillation.

Figure IV.14 Evolution des sucres totaux des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique.

Figure IV.15 Evolution du pH des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique (a) Tinaceur et (b) Takarbouchet.

Figure IV.16 Evolution de la densité des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique (a) Tinaceur et (b) Takarbouchet.

Figure IV.17 Evolution du taux de sucre totaux au cours de la fermentation.

Figure IV.18 Flamme a été obtenue à partir de jus de dattes dilué après la Combustion du bioéthanol (univ Annaba).

Figure IV.19 Bioéthanol produit à partir de datte Takarbouchet (univ Adrar).

المخلص :

تؤدي العمليات الصناعية المختلفة التي تستخدم النباتات إلى تكوين نفايات سيليلوزية كبيرة تسمى الكتلة الحيوية. هذه الأخيرة لها فوائد اقتصادية عديدة و مربحة، ولهذا السبب فكرنا في هذه الدراسة النظرية التي تستند إلى عرض مزايا تثمين استغلال الكتلة الحيوية النباتية في إنتاج الجيل الثاني من الإيثانول الحيوي من التمور الجزائرية ذات القيمة السوقية المنخفضة من أجل تحسين عائد الإنتاج الحيوي للإيثانول. تعتمد العملية المستخدمة في البحوث الثلاثة التي درسناها على تقنية التخمير الكحولي الكلاسيكي اللاهوائي. تقييم تطور الكتلة الحيوية واستيعاب السكريات الكلية وإنتاج الإيثانول الحيوي تم دراسته. في نهاية مرحلة التخمير يجب إجراء التقطير التجزيئي المزدوج حتى يتم استخراج الإيثانول. أظهرت أغلب النتائج التي تحصل عليها الباحثون الثلاثة أن التمور ذات نوعية " Kentichi " Hamraya " , " Degla-Beida " غنية بالسكريات التخفيضية. في الختام نستنتج أن هذا العمل أتاح لنا إمكانية تطوير عملية التكنولوجيا الحيوية المتبعة في تطوير استخدام فرع " الكتلة الحيوية الصلبة " والذي لا يسمح فقط بالحد من التأثير البيئي ، ولكن أيضاً في خفض التكاليف وإضافة قيمة اجتماعية واقتصادية لهذه النفايات.

الكلمات المفتاحية : الإيثانول الحيوي، التخمير الكحولي، استعادة الطاقة، ركيزة التمور، الكتلة الحيوية، خميرة الجعة.

Résumé :

Les différentes exploitations industrielles qui utilisent les plantes entraînent la formation de considérables déchets lignocellulosiques nommés biomasse. Cette dernière a des intérêts économique très rentable, c'est pour cela nous avons pensé à cette étude théorique qui se base sur la valorisation de la biomasse végétale dans la production du bioéthanol de deuxième génération à base des moûts issu de dattes Algériennes de faible valeur marchande .dans le but d'optimiser le rendement de bio-production de l'éthanol. Le procédé utilisé par les trois travaux qu'on a étudié est basé sur une fermentation alcoolique classique en anaérobiose. L'évolution de la biomasse, l'assimilation des sucres totaux et la production de bioéthanol ont été évaluées. A la fin de la fermentation, une double distillation fractionnée doit être effectuée pour pouvoir extraire l'éthanol. Les résultats obtenus par les trois chercheurs ont montré que le moût des dattes : Kentichi, Hamraya et Degla-Beida était riche en sucres réducteurs. En conclusion, ce travail a permis de mettre le point sur le procédé biotechnologique suivi dans la valorisation de l'utilisation de la filière « biomasse solide » pour permettre non seulement la réduction de l'impact environnemental, mais aussi de diminuer les coûts et d'ajouter une valeur socio-économique à ces déchets.

Mots clés : Bioéthanol, Fermentation alcoolique, Valorisation énergétique, moûts de dattes, Biomasse, *Saccharomyces cerevisiae*.

INTRODUCTION GENERALE

Le carburant utilisé actuellement est principalement du pétrole qui est un fossile de matière première en quantité limitée sur Terre. Il devient de plus en plus rare de la trouver de façon permanente. Parmi les énergies les plus utilisées on cite « l'éthanol » fabriqué largement dans le monde entier qui est en réalité issu du pétrole. Il est facilement produit par hydrolyse de l'éthylène, un produit pétrochimique majeur. Deux millions de tonnes d'éthanol dérivé de pétrole sont produites chaque année. Ces carburant ne vont pas durer plus de quelques décennies: en tant que combustibles fossiles, leurs réserves sont limitées et la sécurité de l'approvisionnement est problématique pour de nombreux pays qui les importent; leur utilisation est la principale source de gaz qui provoquent les changements climatiques et le réchauffement global. Il est donc nécessaire de trouver des substituts à ces combustibles.

Plusieurs chercheurs scientifiques ont fait des efforts pour découvrir des nouvelles sources d'énergies que le pétrole. L'homme a pensé à produire des énergies moins chères en exploitant les déchets riches en matière organique renouvelable comme la biomasse. L'éthanol dérivé du pétrole (éthanol synthétique) est l'une de ces énergies les plus utilisées actuellement dans plusieurs domaines. C'est un solvant industriel largement utilisé qui a des applications très variées mais il représente des inconvénients majeurs par rapport à l'environnement. Il faut donc trouver une alternative environnementale à ce carburant pétrolier, en cherchant à produire des carburants propres à partir de sources renouvelables, organiques et végétales.

Vu que les fruits et les légumes ne sont pas tous intégrés dans l'alimentation humaine quotidienne puisqu'ils peuvent avoir des couleurs, des goûts et des arômes on appréciés, on cherche à trouver des alternatives pour les valoriser sans pour autant influencer l'équilibre alimentaire. Ainsi, leur utilisation en tant que matière première pour la production de bioénergies peut être une bonne alternative aux énergies fossiles.

Le bioéthanol est un biocarburant écologique peut remplacer l'hydrocarbure carburants à base de pétrole. Il est donc, de l'éthanol d'origine biologique et agricole, qui se présente sous la forme d'un liquide incolore et inflammable. Dans le monde, le bioéthanol a de nombreuses utilisations dans les différents domaines. Il est présent dans les liqueurs, les cosmétiques ou encore les médicaments, les vernis, les colles, les peintures et les produits alimentaires et non alimentaires.... En 2009, la production mondiale de bioéthanol a atteint 740 millions d'hectolitres [1].

A la lumière de cela, notre attention est accordée à une meilleure gestion des déchets organiques, en particulier les sous-produits provenant des résidus d'agriculture (dattes betterave, canne à sucre, etc.). En Algérie, les cultivars de dattes sont nombreux et sont cependant très mal exploités à l'exception de « DEGLAT NOUR » et à un degré moindre, « GHARS », « DEGLAT BEIDA » et « MECH DEGLAT » qui présentent une importance économique majeure. Des milliers de tonnes de dattes restent non utilisées et peuvent dépasser les 30% de la production, soit environ 120.000 tonnes qui pourraient être valorisées (récupérées et transformées), d'après les statistiques du ministère de l'agriculture.

Notre projet de fin d'étude est une synthèse scientifique sur l'utilisation des dattes Algériennes pour la production du bioéthanol. La recherche bibliographique très précise qu'avec elle nous avons commencé, permet de découvrir les méthodologies d'extraction de bioéthanol qui contribue bien à l'élimination de la pollution environnementale et permet de produire des matériaux à haute valeur ajoutée en contribuant au développement industriel et agricole. Dans ce contexte, notre but s'agit-il d'étudier les méthodes d'utilisation des déchets agricoles tels que les mauvaises dattes riches en saccharose pour produire du bioéthanol.

Au début de notre projet le mois de Mars 2020, nous avons visité le centre de développement des énergies renouvelables « CDER- Bouzerea-Alger » pour visiter les différents unités de recherche pour pouvoir apprendre le protocole de la partie expérimentale que nous allons utiliser au niveau du laboratoire de biochimie de notre Université. Aussi, une convention d'un stage d'un mois au niveau du centre a été discuté durant la visite.

Nos manipulations expérimentales ont été commencé par la suite au niveau de l'Université Djilali Bounaama-Khemis Miliana, mais malheureusement avec la pandémie COVID-19 nous sommes trouvés obligés d'arrêter les essais et de partir chez nous en confinement obligatoire après fermetures des universités depuis le mois de Mars. Le thème de notre mémoire a été donc converti en une étude théorique en respectant les dernières décisions ministérielles enrichis par les avis des organes scientifique des universités.

Ce manuscrit est divisé en quatre chapitres, le premier est consacré à l'explication de ce que nous avons appris de notre étude bibliographique relative aux généralités sur la bioénergie ainsi sur les différents types d'agriculture phénicienne que possède l'Algérie. Dans le deuxième chapitre, nous avons expliqué les méthodes expérimentales et les techniques utilisés par plusieurs chercheurs pour la production efficace du bioéthanol. Le troisième chapitre s'intéresse à une étude détaillée de la méthodologie utilisé par l'Université Badji

Introduction générale

Mokhtar-Annaba, le deuxième à l'Université Kasdi Merbah-Ouaregla et l'Université Ahmed Draia-Adrar pour l'extraction de bioéthanol. Enfin, Le dernier chapitre se base sur présentation sous forme de comparaison entre les résultats de recherche obtenus par les différentes universités algériennes de ce domaine : l'Université Badji Mokhtar-Annaba, le deuxième à l'Université Kasdi Merbah-Ouaregla et l'Université Ahmed Draia-Adrar. Le mémoire est terminé par une conclusion générale en expliquant le travail effectué avec citation de quelques perspectives de notre travail.

CHAPITRE I :

Généralité sur les intérêts des dattes algériennes dans la production de bioéthanol.

CHAPITRE I : Généralité sur les intérêts des dattes algériennes dans la production de bioéthanol

I.1 Introduction

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) est une plante d'intérêt écologique, économique et social pour de nombreux pays des zones arides. Il constitue l'axe principal de l'agriculture dans les régions désertiques. En Algérie, En 2017, les palmiers productifs sont estimés à 15.7 millions et ceux plantés a 18.53 millions [2]. La filière phoenicicole, produit avec tous ses genres, est produite au niveau de 16 wilayas du Sud sur une superficie de 170000 ha [3].

En 2019, Biskra, El Oued, Ghardaïa et Ouargla ont enregistré une production de 1.661.920 qx de dattes. Ouargla Classée parmi les premières wilayas productrices de dattes, en quantité et en qualité, la wilaya d'Ouargla dispose d'une richesse phoenicicole qui dépasse les 2,6 millions de palmiers-dattiers, dont 2.184.011 palmiers productifs, éparpillés sur une superficie de plus de 24.000 ha, au titre de l'actuelle saison agricole cette récolte prévisionnelle concerne notamment les trois variétés principales, à savoir "Deglet-Nour" (dattes fines), "Ghars" (dattes molles) et "Degla-Beida" (datte sèches), avec un rendement moyen estimé à 68 qx le hectare selon les statistiques de la DSA [4].

D'après ces statistiques, les spécialistes ont déclaré que les dattes algériennes avaient réussi et ont réalisés un surplus. C'est pour cela les écologistes avec les chimistes cherchent à trouver des alternatives pour les valoriser et surtout quelles sont riches en saccharose. Ils ont trouvé qu'ils peuvent les utilisés en tant que matière première pour la production du biocarburant (le bioéthanol) , car il représente une alternative intéressante et un moyen de participer à l'atténuation de l'effet de serre. Il n'y a aucun doute sur l'utilisation des dattes algériennes pour produire du bioéthanol au lieu de l'importer à partir du marché mondiale.

Dans ce premier chapitre nous exposons les caractériels des différents types des dattes Algériennes utilisés dans la production du bioéthanol qui est un carburant obtenu à partir de la fermentation de ses matières sucrier Qui participent à enrichir le domaine de la bioénergie en Algérie.

I.2 Répartition géographique du palmier dattier

En Algérie, la culture du palmier dattier occupe toutes les régions situées sous l'Atlas Saharien soit 6000 ha depuis la frontière Marocaine à l'Ouest jusqu'à la frontière Est Tuniso-

Libyenne. Du Nord au Sud du pays, elle s'étend depuis la limite Sud de l'Atlas Saharien jusqu'à Reggan à l'Ouest, Tamanrasset au centre et Djanet à l'Est (**figure I.1**).

Les principales régions productrices sont celles de l'Est indemnes de Bayoud et qui concentrent toute la production de la variété Deglet-Nour, avec principalement les palmeraies d'Oued righ et des Ziban, d'Oued souf, de la cuvette d'Ouargla et du Mzab. A l'Ouest ce sont les palmeraies de l'Oued Saoura, du Touat, du Gourara et du Tidikelt [5].

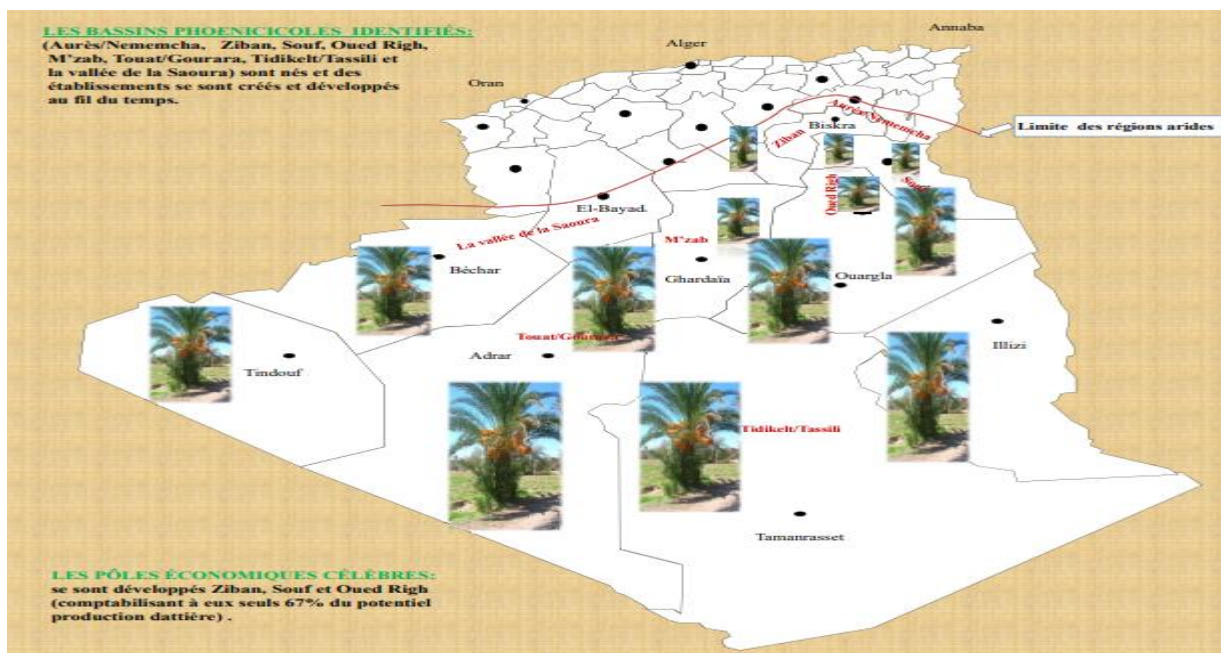


Figure I.1 : Répartition des palmeraies en Algérie [6].

I.3 Les différentes variétés des dattes algériennes

La datte est le fruit comestible du dattier (*Phoenix dactylifera*). C'est très apprécié, de haute valeur nutritionnelle et énergétique [7]. En Algérie, il existe une grande diversité des variétés confondues selon les goûts, formes et couleurs très variant d'un terroir à un autre. Tout ça à cause des entités écologiques. Les Principales variétés existant en Algérie sont 16 variétés qui composent notre gamme (**Tableau I.1**).

Tableau I.1 : Principales variétés de dattes algériennes et leur aire de culture [8].

Variétés	Consistance	Aire de culture	Utilisation
<i>Deglet-Nour</i>	Demi molle (T)	Bas Sahara Mzab	Export tout usage
<i>Ghars</i>	Molle (P)	Idem	En pâte (pâtisserie)
<i>Degla-Beïda</i>	Sèche (T)	Oued rhir	Farine
<i>Mech Degla</i>	Sèche (T)	Ziban	Farine
<i>Tante boucht</i>	Molle (P)	Ouargla Mzab	En pâte
<i>Tatezuine</i>	Demi molle (P)	Ouargla Mzab	Fruit frais
<i>Bent Keballah</i>	Molle (P)	Ouargla Mzab	Congelée
<i>Tadala</i>	Molle (N)	Mzab Laghouat	Fruit frais
<i>Timjouhert</i>	Demi molle (N)	Mzab Gourara	Fruit frais
<i>Hmira</i>	Demi molle (N)	Touat, Saoura	Conservation
<i>Tegaza</i>	Demi molle (N)	Tidikelt	Vente/sahel
<i>Tazerzait</i>	Demi molle (N)	Sud ouest	Vente
<i>Ouarglia</i>	Demi molle (N)	Sud ouest	Fruit frais
<i>Tim-nacer</i>	Sèche (N)	Sud ouest	Vente/Sahel
<i>Taker-boucht</i>	Demi molle (T)	Touat, Gourara	Vente locale
<i>Aghrs</i>	Sèche (T)	Touat	Conservation

I.3.1 Deglet Nour

C'est la reine des dattes à une excellente texture mi-mielleuse, mi-fibreuse, leur terroir se situe à Biskra en Algérie (**figure I.2**).

☞ Aire de localisation :

- Fréquent dans toutes les palmeraies du Sud-est (Bas Sahara) et abondante dans les Ziban (**figure I.2**).

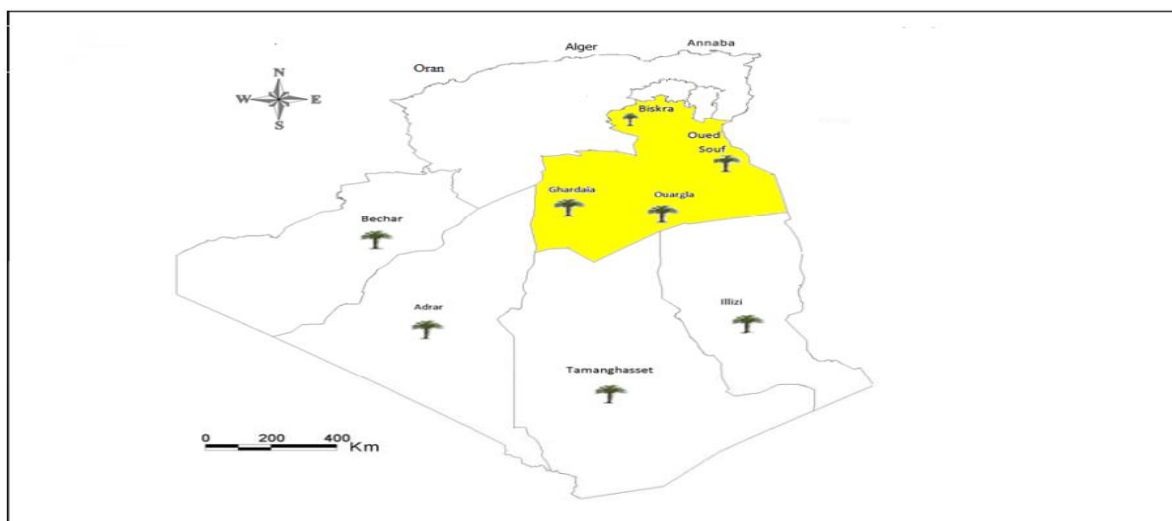


Figure I.2 : Répartition des palmeraies de Deglet Nour, Degla Beïda et Ghars en Algérie [9].

Caractères spécifiques :

- Nom vernaculaire : Deglet Nour
- (par rapport à sa brillance et sa couleur translucide).

☞ Caractérisations morphologiques :

- Forme : ovoïde
 - Taille moyen de la datte : L = 4.34 cm ; l = 1.7 cm
 - Poids moyen de la datte : 11.84 g
 - Poids moyen de pulpe : 10.92 g
 - Poids moyen de noyau : 0.91 g
- ☞ Composition physico-chimique : **voir tableau I.2**

Tableau I.2 : Caractéristiques physico-chimiques de Deglet Nour [10-11].

Matière sèche (%)	pH	Sucres réducteurs (%)	Saccharose (%)	Sucres totaux (%)	Cendres totales (%)
85.77	5.96	22.81	46.11	71.37	1.65

I.3.2 Degla Beida

- ☞ Aire de localisation :
- Fréquent dans toutes les palmeraies du Sud-Est

(Bas Sahara) (**figure I.2**).

- ☞ Caractères spécifiques :
- Nom vernaculaire : Degla Beida (Par rapport à sa couleur blanchâtre).
 - Couleur : jaune, jaune orangé
 - Texture : farineuse
- ☞ Caractérisations morphologiques :
- Forme : sub-cylindrique
 - Taille moyen de la datte : L = 2.85 cm ; l = 2 cm
 - Poids moyen de la datte : 18.75 g
 - Poids moyen de pulpe : 18.06 g
 - Poids moyen de noyau : 0.87 g



Figure I.3 : Caractéristique morphologique de datte de variété Degla Beida [11].

- ☞ Caractérisation physico-chimique : **tableau I.3**.

Tableau I.3 : Caractéristiques physico-chimiques de Degla Beida [10-11].

Matière sèche (%)	pH	Sucres réducteurs (%)	Saccharose (%)	Sucres totaux (%)	Cendres totales (%)	Na (%)	Ca (%)
teneur élevé	5.18	42	30.36	74	16.04	traces	14.58

I.3.3 Ghars

☞ Aire de localisation :

- très peu fréquent dans le sud-est (**figure I.2**).

☞ Caractères spécifiques :

- Nom vernaculaire : Ghars (pâteux et collant)
- Couleur : ombré
- Texture : fibreuse

☞ Caractérisations morphologiques :

- Forme : cylindrique
- Taille moyen de la datte : L = 4.36 cm ; l = 1.79 cm
- Poids moyen de la datte : 9.75 g
- Poids moyen de pulpe : 8.6 g
- Poids moyen de noyau : 1.11 g



Figure I.4 : Caractéristique morphologique de datte de variété Ghars [11].

☞ Caractérisation physico-chimique : **tableau I.4**.

Tableau I.4 : Caractéristiques physico-chimiques de Ghars [10-11].

Matière sèche (%)	pH	Sucres réducteurs (%)	Saccharose (%)	Sucres totaux (%)	Cendres totales (%)	Na (%)	Ca (%)
93.07	6.16	80.68	4.37	85.28	17.29	0.26	12.25

Suivant le tableau ci-dessus, on peut remarquer que la datte sèche (Dégla Beida) présente un pH acide de 5.18. C'est un taux d'acidité élevé par rapport aux dattes molles (Ghars) et demi-molles (Deglet Noir), qui constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne pour assurer sa prolifération.

En générale, un pH de l'ordre de 3 à 6 est très favorable au développement des levures. Donc, Le pH des dattes cités ci-dessus est compris entre 5,18 pour la variété sèche (Dégla-Beida) et 6.15 pour la variété molle (Ghars). Ce pH est défavorable à la Prolifération des bactéries, mais il est favorable à la prolifération des levures comme *Saccharomyces cerevisiae* [12].

I.3.4 Deglet Talmine (deglet Djedir)



Figure I.5 : Caractéristique morphologique de datte de variété Deglet Talmine [11].

I.3.5 Hamraye

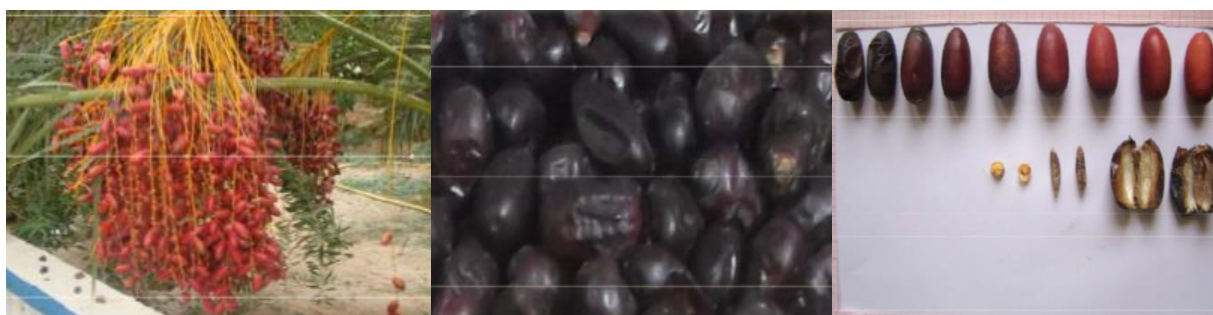


Figure I.6 : Caractéristique morphologique de datte de variété Hamraye [11].

I.3.6 Hmira

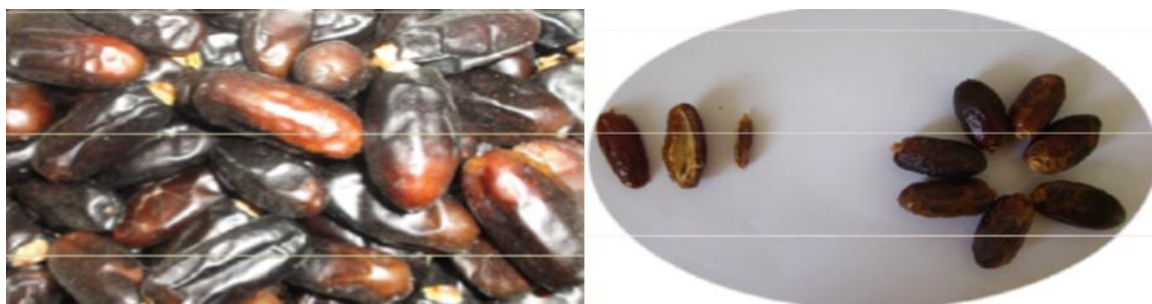


Figure I.7: Caractéristique morphologique de datte de variété Hmira datte entière, pulpe et noyau [11].

I.3.7 Itima

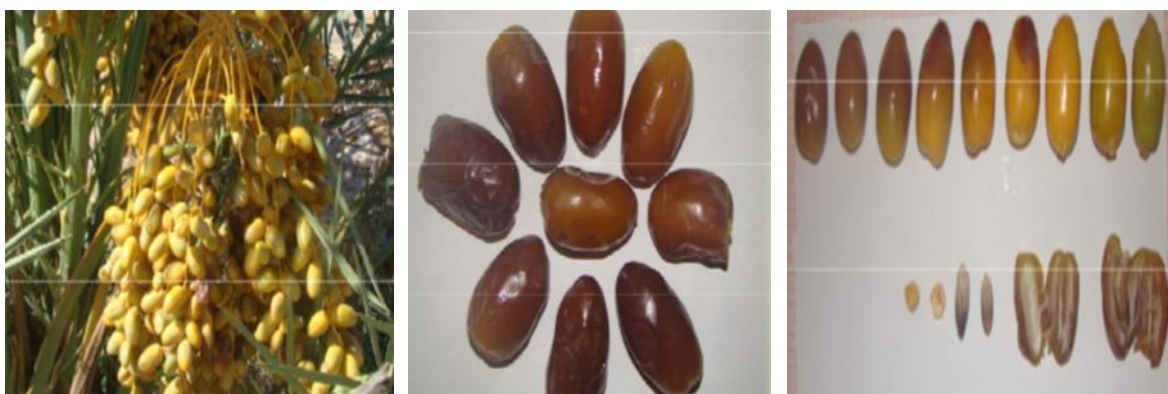


Figure I.8 : la datte entière, la pulpe et le noyau de la variété Itima [11].

I.3.8 Mech Degla



Figure I.9 : la datte entière, la pulpe et le noyau de la variété Mech Degla [11].

I.3.9 Tafzouine



Figure I.10 : Caractéristique morphologique de datte de variété Tafzouine [11].

I.3.10 Tantbouchet



Figure I.11 : Caractéristique morphologique de datte de variété Tantbouchet [11].

I.3.11 Thouri



Figure I.12 : la datte entière, la pulpe et le noyau de la variété Thouri [11].

I.3.12 Kahlaya (Tinicine)



Figure I.13 : Caractéristique morphologique de datte de variété Kahlaya (Tinicine) [11].

I.3.13. Tinaceur



Figure I.14 : la forme de la matière première de datte de variété Tinaceur [25].

I.4 La biomasse

La biomasse est l'ensemble de la matière organique pouvant se transformer en énergie, d'origine végétale (résidus provenant de l'agriculture, bois...) ou animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol). Elle est considérée toujours comme une source d'énergie renouvelable tels que les biocarburants pour le transport (produits essentiellement à partir de sucre, de céréales...), le chauffage domestique (alimenté au bois); et la combustion de bois et de déchets dans des centrales produisant de l'électricité, de la chaleur ou les deux.

I.4.1 Les catégories de biomasse

Elle existe sous forme de carbone organique sous trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées [13]:

- les solides (ex : paille, copeaux, bûches) ;
- les liquides (ex : huiles végétales, bioalcools) ;
- les gazeux (ex : biogaz).

La biomasse n'est considérée comme une source d'énergie renouvelable que si l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres.

I.4.2 valorisation de la biomasse (Fonctionnement technique et scientifique)

On distingue trois procédés de valorisation de la biomasse :

A. La voie sèche

Constituée par la filière thermochimique, qui regroupe les technologies cités ci-dessous :

- La combustion produit de la chaleur par l'oxydation complète du combustible, en général en présence d'un excès d'air.
- La gazéification de la biomasse solide est réalisée dans un réacteur spécifique. Elle consiste en une réaction entre le carbone issu de la biomasse et des gaz réactants (la

vapeur d'eau et le dioxyde de carbone). Le résultat de la transformation est un gaz combustible composé d'hydrogène et d'oxyde de carbone.

- La pyrolyse est la décomposition de la matière carbonée sous l'action de la chaleur. Pour produire du charbon végétal solide ou liquide, de l'huile thermique liquide ou du gaz combustible.

B. La voie humide (par la méthanisation)

Il s'agit d'un procédé à la dégradation anaérobie par des micro-organismes de la matière organique. Pour permet de produire le biogaz qui est le produit de la digestion anaérobie des matériaux organiques.

C. La production de biocarburants

Sont des carburants liquides ou gazeux résultant de la réaction entre l'huile végétale et l'alcool dans le cas du biodiesel ou à partir d'un mélange de sucre fermenté dans le cas du bioéthanol. Il existe 3 générations de biocarburants:

- ⇒ Première génération: biocarburant semencier ;
- ⇒ Deuxième génération: biocarburants à partir de résidus de cultures ;
- ⇒ La troisième génération: le biocarburant produit par l'hydrogène produit par les microorganismes ou produit par les micro-algues (pétrole).

I.4.3. Les effets de la biomasse

La valorisation énergétique de la biomasse peut permettre d'augmenter la part des énergies renouvelables dans un mix énergétique et de réduire la dépendance au pétrole ou au gaz. La diversité des matières organiques qui composent la biomasse bénéficient aux pays des pays en renforçant leur indépendance énergétique. De plus, la biomasse participe à la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre dans la mesure où elle remplace le dioxyde de carbone résultant de la combustion de bioénergie par le dioxyde de carbone que les plantes absorbent.

L'utilisation de la biomasse peut dans certains cas engendrer des déséquilibres environnementaux (l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres), la biomasse ne peut être considérée comme une énergie renouvelable que si elle est renouvelée.

La concession de parcelles à l'industrie des biocarburants a réduit la taille des terres agricoles destinées à l'alimentation. Certains experts craignent que l'essor des biocarburants

déclenche une crise alimentaire mondiale, en particulier dans le contexte d'une forte croissance démographique terrestre (plus de 100 millions d'individus en plus par an) [14].

I.4.4. La biomasse

A. La biomasse dans le monde

La biomasse couvre près de 10% des besoins mondiaux en énergie. Deux tiers de la consommation mondiale d'énergie issue de la biomasse sont consacrés à la cuisine et au chauffage dans les pays en voie de développement [14].

Hors consommation domestique, les principaux pays dans le monde ayant recours à la biomasse sont le Brésil, les États-Unis et l'Inde [13]. La biomasse et les déchets constituent 67,6 % de la production primaire d'énergie renouvelable dans l'Union européenne en 2010 [15].

B. La biomasse en Algérie

Le programme national de développement des énergies renouvelables en Algérie porte de nouvelles filières telles que la biomasse [16]. En Algérie, les dattes sont produites en grande quantité, surtout ces dernières années. Cette biomasse, qui a un impact majeur sur l'environnement, peut être transformée en un produit à haute valeur ajoutée. Il est possible de fixer des dattes communes à faible valeur commerciale et d'introduire une nouvelle génération de produits à forte valeur ajoutée tels que le bioéthanol sur le marché national et international. En plus d'être utilisé dans la composition chimique de plusieurs produits, le bioéthanol peut être mélangé à de l'essence pour produire du carburant propre tout en améliorant l'octane [17].

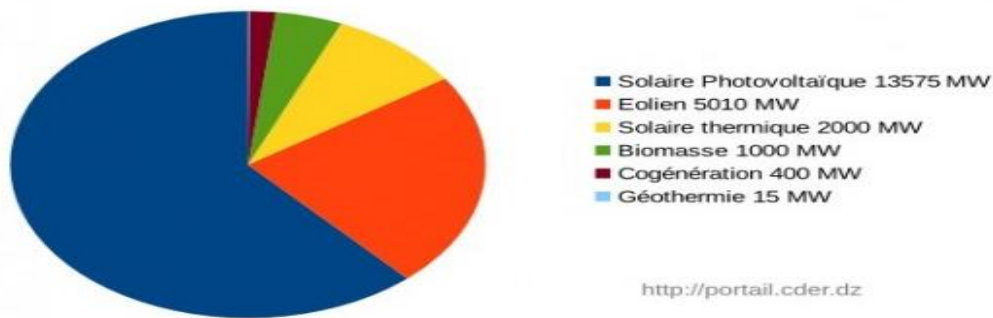


Figure I.15 : Objectifs du programme Algérien des énergies renouvelables 22 GW à l'horizon 2030 [16-18].

En remarquons la **figure I.15** on peut dire que la réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité et 37 % de la capacité installée. Le volume de gaz naturel épargné

par les 22 000 MW en renouvelables, atteindra environ 300 milliards de m³, soit un volume équivalant à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014 (**Figure I.16**).

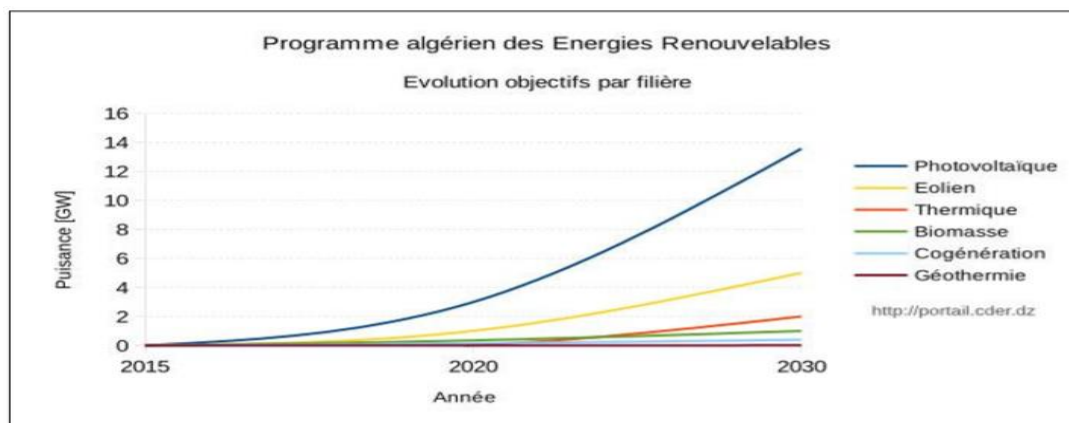


Figure I.16: Évolution des objectifs par filière (Programme Algérien des énergies renouvelables) [19].

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois. Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets en biomasse, en géothermie et en cogénération.

I.5 Les bioénergies

La bioénergie est une forme d'énergie qui provient du processus de valorisation énergétique de la biomasse, lorsqu'elle est utilisée comme combustible de la production de chaleur (le bois énergie) ou d'électricité par opposition aux énergies fossiles. En général, la bioénergie est l'un des majeures sources d'énergie pour la moitié de la population mondiale.

L'Algérie s'intéresse à la bioénergie, car elle apparaît comme une alternative renouvelable et encore moins polluante (les émissions de GES). Les biocarburants peuvent être produits à partir de la phoeniciculture car ils sont un type de biomasse. En effet, une multitude de matières premières nationales sont convertibles en biocarburants, donc des biocarburants sont produits : le biogaz, le bioéthanol et le biodiesel.

I.5.1 Le biogaz

Le biogaz est issu de la fermentation anaérobie de matières organiques qui se trouvent dans les déchets (agriculture, industrie...). La création du biogaz grâce à un processus appelé

« méthanisation ». Le biogaz se produit de façon naturelle (spontanément) dans les (marais, décharges d’ordures ménagères, etc.) ou peut être recréé artificiellement dans des sites de méthanisation (des installations spécifiques appelées digesteurs). Le biogaz est composé de méthane combustible et de gaz carbonique, il peut être utilisé brut ou après transformation.

À l’heure de la transition énergétique, le biogaz se révèle être une énergie renouvelable aux multiples atouts. La production de cette énergie verte permet en effet de valoriser les déchets organiques tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

I.5.2 Le biocarburant

Carburant combustible liquide ou gazeux issu de la transformation des matières végétales produites par l'agriculture (betterave, datte, blé, maïs, colza, tournesol, pomme de terre...). Leur combustion ne produit que du CO₂ et de la vapeur d'eau et pas ou peu de NOx et SOx. Les biocarburants sont une source d’énergie renouvelable peuvent être divisés en deux groupes (**tableau I.5**):

Tableau I.5 : les différentes générations de biocarburants et les procédés de transformation pour chaque génération [20].

Génération	Génération 1^{ère}	Génération 2^{ème}	Génération 3^{ème}
Origine des substrats	grains de blé, colza, tournesol	déchets organiques (les dattes, la betterave sucrière...)	micro-algues
Procédés mis en œuvre	fermentation, trans-estérification	gazéification, hydrolyse enzymatique, méthanisation	méthanisation, gazéification, fermentation
Produit final	bioéthanol, biodiesel	biométhane, bioéthanol, biodiesel, biohydrogène	biométhane, bioéthanol, biodiesel
Rendement énergétique mtep/ha/an	1 à 4	3,5 à 5	20 à 40
Stade de maturité technologique	Industriel	industrialisation à court terme	recherche pilote

I.5.3 Le bioéthanol

Le bioéthanol est un carburant renouvelable de rechange pour l'essence. Il est extrait de la datte, betterave, céréales... ou de la biomasse. Les sucres contenus dans ces matières premières sont transformés en alcool par fermentation, processus qui dégage du gaz carbonique (CO₂). La structure de glucose peut être fermentée directement puis dissoute dans de l'eau. Ce mélange est ensuite chauffé. La fermentation transforme alors les sucres en éthanol et en dioxyde de carbone grâce à des levures telles que *Saccharomyces*. En théorie 51% du glucose est convertie en éthanol, le reste est utilisé par la levure comme source d'énergie ce qui diminue l'efficacité de 40 à 48% [21].

Tableau I.6 : Propriétés physico-chimiques de l'éthanol [22]

Paramètre	Ethanol
Synonymes	Alcool éthylique, Ethyl hydroxide, Methylcarbinol, Absolute ethanol
Formule brute	C ₂ H ₆ O
Forme physique	Liquide incolore et mobile
Poids moléculaire	46,07 g/mol
Solubilité dans l'eau	Soluble en toutes proportions à température ambiante
Point de fusion	-114°C
Température d'allumage	420°C
Chaleur latente de vaporisation	842 kj/kg -930 kj/kg
Pression de vapeur	5900 Pa à 20°C 6700 Pa à 25°C 10000 Pa à 30°C 29300 à 50°C
Densité	0.789 à 20°C (densité relative) ; 1,59 (densité de vapeur)
Point d'éclair	13°C

I.5.4 Le biodiesel

Le biodiesel sont obtenus après une réaction entre une huile végétale triglycérides (de colza ou de soja) et du méthanol ou éthanol et en présence d'un catalyseur (hydroxyde de sodium ou potassium). Représente 27% des biocarburants dans le monde, mais plus de 77% en Europe.

I.6 Conclusion

D'après notre étude théorique sur les palmiers et les dattes Algériennes, nous concluons que L'Algérie a de fortes potentialités qui lui permettent de devenir parmi les plus grands pays producteurs du bioéthanol issu des palmeraies. En tant que première évaluation, elle a des implications économiques et environnementales.

Ainsi les études effectuées dans ce domaine montrent que les sucres constituent la majeure partie de la pulpe des dattes qui lui confère une grande valeur énergétique. La quantité des sucres montre que les dattes molles renferment des teneurs élevées en sucres totaux, en sucres réducteurs. Les dattes sèches présentent une teneur relativement moyenne en saccharose. Le saccharose peut être un facteur de l'aspect dur de la variété sèche (Dégla-Beida) [23]. Les dattes molles sont à sucres réducteurs tandis que les dattes sèches contiennent le saccharose.

Chapitre II :
Techniques de fermentation
alcoolique des dattes

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

II.1 Introduction

Le bioéthanol s'est imposé depuis longtemps comme le biocarburant numéro un dans le monde et le marché du bioéthanol a poursuivi son expansion rapide au cours de ces dernières années. L'utilisation croissante du bioéthanol comme alternative aux carburants fossiles est un fait acquis depuis plusieurs années au Brésil et aux Etats-Unis. La valorisation énergétique des sous-produits de l'industrie des dattes en bioéthanol s'inscrit dans une démarche économique et environnementale. Les déchets de dattes, et les mauvaises dattes sont dotés de teneurs élevées en sucres (73 – 83 %) : glucose, fructose et saccharose [24-25]. Ils contiennent également des protéines, des lipides, des éléments minéraux et des vitamines [24,18]. Il peut être transformé, par des procédés biotechnologiques en biocarburant, substance énergétique qui peut remplacer le pétrole léger, ou au moins permettre le coupage de l'essence (5 à 10 %).

L'industrie alimentaire en Algérie, génère d'importantes quantités de déchets. Le secteur phoenicicole, fournit plusieurs tonnes de déchets de dattes dans chaque ferme. Ce sont des dattes qui ne sont pas consommées par les humains, soit du fait de leurs faibles qualités gustatives, soit du fait de leur texture 'rébarbative' (trop dure), soit tout simplement parce qu'elles sont négligées au profit d'autres aliments plus attractifs. Les microorganismes utilisés pour la production de bioéthanol à partir des sucres sont des levures *Saccharomyces* plus qlqs bactéries [24,26].

Suite aux informations indiquées dans l'article [24] qui a indiqué les travaux étudiés par [20-25, 27] on peut conclure que les conditions environnementales influencent le comportement des levures en affectant ses capacités de croissances et de production. Ces paramètres sont la température, l'oxydation, la concentration en éthanol ou co-produits dans le milieu de culture, ainsi que la concentration élevée en sucres et l'hyperosmolarité. En fonction de l'intensité de ces grandeurs, elles peuvent avoir une influence qui vise à ralentir ou arrêter l'activité des levures. Les substances inhibitrices sont parfois difficiles à éviter puisqu'elles sont souvent des substrats ou produits de la réaction biochimique considérée. La réponse de la levure face à un stress est également mise en œuvre de façon dynamique avec une capacité ou non d'adaptation aux conditions environnementales en fonction du temps.

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

L'extraction solide-liquide, encore appelé extraction par solvant est une opération de transfert de matière destinée à séparer les principes solubles d'un substrat solide par leur diffusion dans un solvant. Son but est d'extraire, de séparer ou de dissoudre par immersion dans un liquide ou par arrosage par un liquide, un ou plusieurs composants mélangés à un solide. La diffusion est réalisée grâce à l'existence d'un gradient de concentration en soluté à extraire entre la phase solide et la phase liquide. A la fin de l'opération, le système tend vers l'équilibre. Il s'agit normalement d'une opération à pression constante. L'extraction solide se présente sous plusieurs variantes (percolation, décoction, infusion et macération) avec comme dénominateur commun de faire interagir le solvant sur le matériau solide pour dissoudre ses composés solubles. Elle constitue la première opération de séparation de plusieurs filières de transformations (extraits des fruits) boissons alcoolisées, sucreries, etc...), et constitue la charnière au niveau de laquelle, les industries alimentaires prennent le relais de domaine agricole. Cette opération est très ancienne. Elle est largement utilisée en industrie alimentaire pour extraire les plantes des composés alimentaires ou pharmaceutiques, par exemple de la production de boissons ou de médicaments [24].

Dans ce chapitre, nous allons montrer les différents procédés biotechnologiques nécessaires à l'utilisation des sucres de sous-produits des dattes en tant que source de carbone pour produire un biocarburant (bioéthanol). Nous allons expliquer en se basant sur la recherche bibliographique que nous avons faite, les conditions d'extraction du jus des dattes. Ainsi l'influence de la température d'extraction, le ratio pulpe/eau et le temps d'extraction. Sans oublier la fermentation alcoolique de sirop des dattes par les levures.

II.2 Définition du bioéthanol

Le bioéthanol est l'éthanol (CH_3OH) élaboré à partir de la biomasse. Il est obtenu par la fermentation des sucres fermentescibles contenus dans la biomasse en présence d'une levure '*Saccharomyces cerevisiae*' qui est l'une des levures utilisées lors de la fermentation des sucres. Le bioéthanol peut être produit à partir:

- ✓ De substrats riches en sucrose (canne à sucre, betterave sucrière, etc.), en amidon (maïs, l'orge, blé, pomme de terre, etc.);
- ✓ De substrats celluloseux 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),
- ✓ De micro-algues.

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

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. 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 [28].

II.3 Etapes de préparation du bioéthanol à partir des plantes saccharifères

On distingue trois générations de bioéthanol :

II.3.1 Bioéthanol de première génération

Sont produits à partir de matières premières qui peuvent être utilisées dans une chaîne alimentaire animale ou humaine (cane à sucre, de céréales, de betterave sucrière et de datte).

II.3.2 Bioéthanol de deuxième génération

Sont actuellement mises au point pour exploiter les matières cellulosiques de composants ligneux ou à base de carbone qui ne sont pas directement utilisés dans la production alimentaire. Telles que le bois, les feuilles et les tiges des plantes ou celles issues de déchets.

II.3.3 Bioéthanol de troisième génération

S'appuient principalement sur l'utilisation de microorganismes tels que les micro-algues [13].

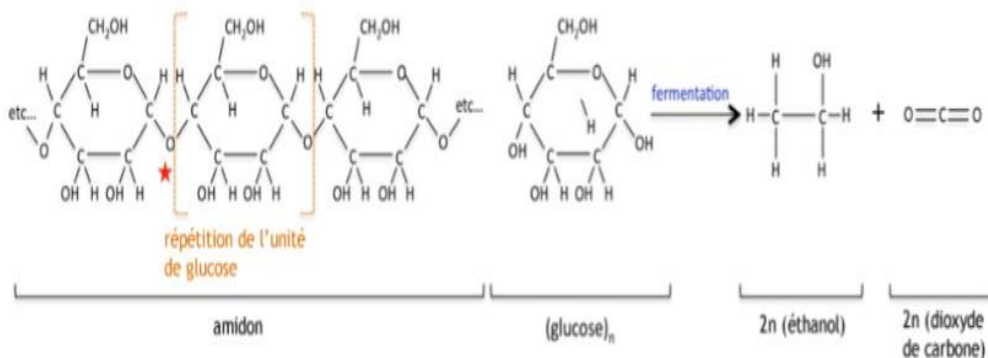


Figure II.1 : Etapes de préparation du bioéthanol à partir des plantes saccharifères [18].

II.4 Projets de production de bioéthanol à partir des dattes

II.4.1 À l'échelle nationale

Suivant un article publié dans la presse du **quotidien El Moudjahid**, L'Algérie a de fortes potentialités qui lui permettent de devenir parmi les plus grands pays producteurs de bioéthanol issu des palmeraies, « L'Algérie produit 300.000 tonnes de dattes par an dont la moitié seulement est commercialisée, le reste servant d'aliment pour le 'bétail' [29].

Dans **Agro-ligne le 16 Novembre 2008**, ils ont déclaré que la société émirienne de biotechnologie spécialisée dans la gestion moderne des palmeraies et de ses produits associés compte réaliser cette expérience en Algérie, en lançant une unité de transformation de dattes et de palmiers à Oumeche, dans la zone industrielle de Biskra. L'usine qui sera dotée de 7 centres technologiques, permettra de développer la filière phœnicicole, tout en conciliant le secteur agricole et celui des hydrocarbures [30].

Le fruit des dattes contient 65% de sucre c'est pour cela ils comptent à utiliser au départ les 150.000 tonnes de dattes communes (*Phoenix*) impropres à la consommation pour fabriquer le bioéthanol. La production de cette énergie vitale augmentera plus tard la superficie des palmeraies, fournissant ainsi aux agriculteurs un excédent de ressources. Le bioéthanol produit non polluant est également incorporé dans le secteur des hydrocarbures comme carburant au lieu du plomb ou de l'essence qu'ils utilisent actuellement pour leur oxygène. Selon [29], 5% de bioéthanol par litre d'essence pourrait réduire les émissions de monoxyde de carbone de 30%.

II.4.2 A l'échelle mondiale

Selon la **presse le 24 novembre 2008**, la société Oasis Ltd, installée à Dubaï, a mis au point la fabrication du bioéthanol qui utilisera dans un premier temps le surplus de dattes produites en Algérie pour fabriquer le nakhoil, «bioéthanol arabe non polluant, source de revenu pour les agriculteurs et qui favorise la sécurité alimentaire» [29].

II.5 Avantages et inconvénients du bioéthanol

II.5.1 Avantages du bioéthanol

- ✓ Conservation des ressources de carburant fossile : chaque litre de bioéthanol produit à base de matières premières renouvelables signifie la préservation de sources d'énergie comme le pétrole.

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

- ✓ Assurer l'approvisionnement en carburant de qualité issu de ressources propres (biomasse) : à cause du développement des marchés, il est à prévoir que l'exploitation de pétrole brut va devenir de plus en plus difficile et onéreuse. Protection du climat : Les sources d'énergie renouvelable comme le bioéthanol impliquent moins de production de gaz à effet de serre (moins d'émission de dioxyde de carbone CO₂ fossile que les carburants conventionnels). Le bioéthanol est neutre en CO₂ qui est relâché quand le bioéthanol est brûlé, a été au départ absorbé par les plantes à base desquelles il est produit, lors du processus de photosynthèse.
- ✓ Moins d'émissions non réglementées de benzène et de butadiène (les taux de benzène diminuent à mesure que la concentration d'éthanol dans l'essence augmente).
- ✓ Création d'un nouveau secteur industriel et soutien du développement rural Avantages en comparaison avec les carburants conventionnels : Le bioéthanol bat des records grâce à ses propriétés chimiques. Son indice d'octane est plus élevé en permettant un fonctionnement plus efficace des moteurs à allumage par étincelle que celui du pétrole, ne contient pratiquement pas de sulfure et il est biodégradable [31].

II.5.2 Inconvénients du bioéthanol

- ✓ Un coût d'installation important.
- ✓ Le non compatibilité de certains véhicules
- ✓ Son indice d'octane étant moins élevé que celui de diesel, le bioéthanol ne convient pas comme carburant propre pour les moteurs diesels conventionnels, à moins qu'un accélérateur d'ignition ne soit ajouté.
- ✓ Emissions très élevées d'hydrocarbures par évaporation, ce qui requiert un réglage de la pression de vapeur de l'essence de basse à laquelle l'éthanol est ajouté [32].

II.6 Biomasse végétale

La biomasse végétale est constituée principalement de matière organique ainsi que de matières inorganique en plus faible quantité. La matière organique à l'échelle macromoléculaire consiste en la cellulose, l'hémicellulose, la lignine et des matières extractibles. Cette matière doit-être hydrolysée afin de la rendre accessible aux micro-organismes. Dans un premier lieu, la biomasse subit un prétraitement afin d'enlever la lignine **Figure II.2**. Au cours de cette étape, une partie de l'hémicellulose peut être convertie en sucres. En second lieu, la cellulose et l'hémicellulose restantes subissent une hydrolyse acide ou enzymatique et les sucres obtenus sont par la suite fermentés en éthanol [20].

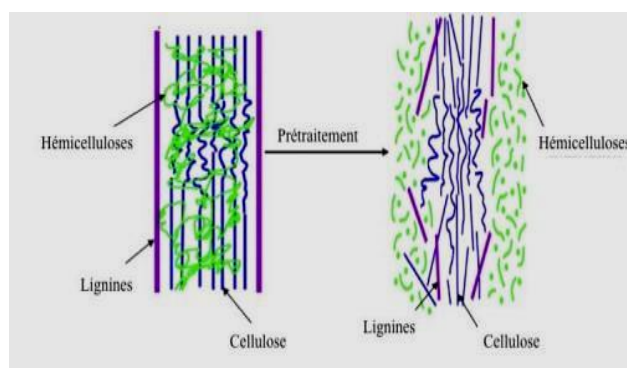


Figure II.2 : Schéma du prétraitement de la biomasse lignocellulosique [33].

II.6.1. Prétraitement de la biomasse végétale

C'est un traitement nécessaire pour rendre la cellulose accessible à l'hydrolyse (modifier les propriétés physiques et physicochimiques de la lignocellulosique) par différentes actions. Ces actions peuvent être en fonction de type de prétraitement. En plus des prétraitements physiques, thermochimiques et biologiques (**Tableau II.1**), les procédés chimiques ont été largement utilisés, ils comprennent l'hydrolyse acide, alcaline ou encore le procédé [20].

Tableau II.1 : Différents procédés de prétraitement de la biomasse [20].

Type de procédés	Exemples
Procédés physiques	Broyage et radiations en haute énergie
Procédés chimiques	<ul style="list-style-type: none"> - Avec des acides - Avec des bases - Avec des solvants organiques (organosolv) - Avec des agents oxydants - Avec des liquides ioniques
Procédés thermochimiques	<ul style="list-style-type: none"> - Explosion à la vapeur - Prétraitement à l'ammoniac - Explosion au CO₂ - Prétraitement mécanique/alcalin - Torréfaction
Procédés biochimiques	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de champignon pour rendre soluble la lignine
Combinés	<ul style="list-style-type: none"> - Explosion de vapeur catalysée

II.6.2.Procédé d'hydrolyse avec l'acide dilué

C'est un procédé continu à haute température (>160 °C) pour les basses teneurs en solide. Il peut s'opérer en batch à basse température (<160 °C) pour les hautes teneurs en solides. Il est à noter que pendant cette hydrolyse, une forte élimination des hémicelluloses est obtenue [20].

II.6.3.Procédé d'hydrolyse avec l'acide concentré

Ce procédé se fait à l'aide d'agent puissants pour l'hydrolyse de la cellulose (les enzymes ne sont pas nécessaires après l'hydrolyse à l'acide fort). On assiste généralement à un haut rendement en sucres monomériques mais qui peuvent-être toxiques et corrosifs [20].

II.6.4.Procédé d'hydrolyse alcaline

Procédé bien connu dans l'industrie papetière sous le nom de procédé kraft qui utilise un mélange de NaOH et Na₂S pour traiter les copeaux de bois. Le but de procédé kraft est l'élimination des hémicelluloses avec une forte élimination de la lignine. Les hydrolyses basiques sont réalisées au moyen de soude, de chaux ou d'ammoniaque. Les agents alcalins sont dans la plupart des cas employés comme agents gonflants de la cellulose. Les réactifs peuvent alors s'insérer à l'intérieur des fibres de cellulose pour permettre la rupture des liaisons hydrogène. Les procédés alcalins sont principalement utilisés comme prétraitement pour s'affranchir de la lignine et de l'hémicellulose, et peu pour l'hydrolyse [20].

II.6.5.Procédés organosolv

Dans ce cas, il y a scission solvolytique des liaisons éther dans la lignine et des liaisons hémicelluloses-lignine ; en milieu acide, les liaisons α -éther sont particulièrement concernées. Ce type de procédé fait diminuer la teneur de la biomasse végétale en hémicelluloses et en lignine. Les procédés Organosolv sont les procédés de mise en pâte par des solvants organiques. Ce procédé utilise peu de produits inorganiques ou aucun contrairement aux procédés kraft, sulfites ou soda. Il utilise à la place un mélange de solvants organiques et d'eau pour extraire la lignine et l'hémicelluloses de la biomasse à de hautes températures et pressions. Les solvants organiques les plus utilisés sont des alcools lesquels sont parfois mélangés à d'autres solvants organiques. Pour la suite, la lignine est isolée par précipitation acide [20].

II.7. Fermentation alcoolique

II.7.1. Définition de la fermentation

Le terme de fermentation est apparu au 16^{ème} siècle il vient du latin (derveur=bouillir), qui signifié le dégagement des bulles de CO₂ dans un moût de vinification. La fermentation est tout processus métabolique au cours duquel est utilisé un micro-organisme spécifique pour la libération de l'énergie. D'après, **Tortora et al.(2003)**, on peut définir la fermentation comme un processus qui peut:

- ✓ Libérer de l'énergie par la dégradation de sucres ou d'autres molécules organiques.
- ✓ Ne nécessite pas d'oxygène O₂, parfois se poursuivre en sa présence.
- ✓ Ne nécessite pas l'utilisation du cycle de Krebs ni d'une chaîne de transport des électrons.
- ✓ Utiliser une molécule organique comme accepteur d'électron final.

La fermentation alcoolique est l'un des procédés de vinification, qui permet de transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose par les levures de type (*Saccharomyces cerevisiae*) en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories selon la réaction suivante



La fermentation dure de 40 à 72 heures et la température est fixée entre 28°C et 32°C, elle se fait principalement par trois grands types : en batch, en Fed-batch (semi continu) ou en continu. Les procédés batch sont les plus utilisés à l'échelle industrielle.

Au cours de la fermentation alcoolique, le glucose est transformé en acide pyruvate qu'est métabolisé en dioxyde de carbone acétaldéhyde, et ensuite en éthanol. D'autres monosaccharides, outre que le glucose, peuvent aussi être utilisés. Certains monosaccharides peuvent directement entrer dans la chaîne de réaction de la fermentation (c'est le cas de fructose). D'autres peuvent être transformés en glucose par des enzymes de la cellule. Dans le cas de disaccharides ceux-ci doivent d'abord être digérés en monosaccharides. Cette digestion peut se faire à l'extérieur de la cellule ou à l'intérieur de celle-ci dans les deux cas, la digestion se fait sous l'action d'enzymes spécifiques synthétisées par la levure. Pour assurer un métabolisme optimal à la levure, le moût de fermentation ne doit pas dépasser une concentration en sucres supérieure à 30g/L. Par ailleurs, le milieu doit être supplémenté par des sels minéraux (sel ammoniacaux) et d'autres facteurs de croissance. La concentration initiale en sucres fermentescibles doit être très importante car elle conditionne le taux d'alcool à la fin de la fermentation [25].

II.7.2.Objectifs de la fermentation

Les objectifs de la fermentation sont :

- L'obtention d'une biomasse microbienne qui peut être utilisée à des fins alimentaires, médicales, pharmaceutiques, agricoles ou industrielles.
- La production des outils biologiques que l'on appelle des enzymes.
- La synthèse des métabolites non catalytiques que l'homme utilise dans les domaines très divers ; des composés énergétiques (méthane, éthanol), des matières premières chimiques intéressantes telles l'éthanol, le butanol ou des composants alimentaires tels les acides aminés et les vitamines.

II.7.3.Procédé d'hydrolyse

Le prétraitement acide de la biomasse (plantes lignocellulosiques, résidus d'agriculture, algues, etc.) a reçu une attention considérable de la recherche. Les hémicelluloses sont les premiers des constituants de la biomasse à se rompre durant l'hydrolyse acide. Lorsque l'acide sulfurique est utilisé, une concentration de 0.01 M est généralement suffisante pour rompre les hémicelluloses en leurs monomères. Par exemple, le saccharose présent dans cette biomasse peut ainsi être hydrolysé en glucose et en fructose en milieu acide. **Figure II.3 [18]**.

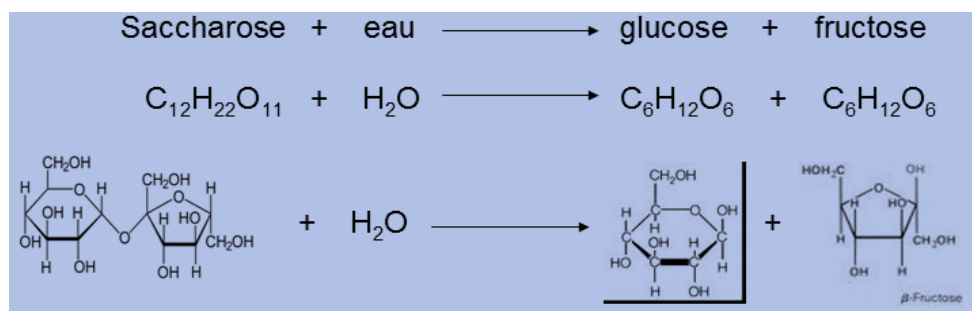


Figure II.3 : Hydrolyse du saccharose [18].

II.7.4.Procédé de la fermentation alcoolique

Le procédé de la fermentation alcoolique concerne les déchets à forte teneur en glucides (amidon ou sucres libres). Il permet de transformer les sucres fermentescibles par des levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de chaleur. Il existe un grand nombre de microorganismes utilisés pour la fermentation. Cependant peu sont réellement compétitifs en termes de rendement en éthanol par rapport au substrat consommé, de capacité

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

fermentaire, de tolérance élevée à l'éthanol et d'adaptation aux conditions de fermentation. L'espèce le plus utilisé au niveau industriel est la *S. cerevisiae*. Elle transforme le glucose en éthanol. Actuellement, aucun autre micro-organisme n'attient ses performances sur glucose en conditions non stériles, à savoir un rendement de l'ordre de 0.47 g d'éthanol par g du glucose, une productivité supérieure ou égale à 5g/l.h, et des concentrations finales en éthanol voisines de 10% en volume. *S. cerevisiae* présentes de nombreux atouts supplémentaires résultant de nombreuses années de sélection : résistance à l'éthanol, mise en œuvre industrielle aisée, etc [18]. Le Schéma du principe de la fermentation alcoolique par la levure (SC) est donné en détail dans [20].

Le bioéthanol est produit principalement par trois types de fermentation, discontinue (batch), semi-continue (Fed-batch), et continue [18].

A. Le mode discontinu ou (batch)

Dans ce mode de fonctionnement la totalité des éléments nutritifs nécessaires à la croissance biologique est introduite lors du démarrage de la réaction. Aucun apport ni prélèvement (excepté bien sûr pour quelques mesures hors lignes éventuellement) n'est réalisé par la suite et la réaction se déroule à volume constant. Les seules actions possibles de l'opérateur ne concernent que les variables d'environnement (pH, température, vitesse d'agitation, aération,...). Peu de moyens sont ainsi nécessaires à sa mise en œuvre, ce qui en fait son attrait du point de vue industriel. Il souffre cependant d'un inconvénient majeur : l'apport initial d'une quantité élevée du substrat inhibe généralement la croissance des microorganismes qui le consomment, ce qui se traduit par des durées de traitement allongées, et limite la charge initiale admissible [18].

B. Le mode semi-continu ou (Fed-batch)

Tout en nécessitant un dispositif de stockage des affluents, ce mode de fonctionnement se distingue du précédent par un apport des différents éléments nutritifs au fur et à mesure des besoins constatés des micro-organismes. La variation du volume du milieu réactionnel est donc une fonction directe de l'état d'avancement de la réaction.

Ce mode permet essentiellement d'éviter les problèmes d'inhibition associés au mode précédent, et de fonctionner à des taux spécifiques de croissance proches de leur valeur maximale. A partir d'un volume initial préalablementensemencé, le réacteur est alimenté par un débit augmentant de façon exponentielle, nécessitant un contrôle en boucle fermée. C'est d'ailleurs ce dernier point qui a fortement limité l'utilisation du fed-batch en milieu industriel [18].

C. Le mode continu

Ce mode est caractérisé par un volume réactionnel constant. Il est soumis à un soutirage de milieu réactionnel égal au flux d'alimentation en matière nutritive (en employant une régulation de niveau). Les procédés continus fonctionnent en régime permanent, en maintenant, pour les conditions d'alimentation fixées, le système dans un état stationnaire, en évitant tout phénomène inhibiteur grâce à l'effet de dilution dû à l'alimentation. Ces modes de fonctionnement permettent en outre les productions importantes dans des réacteurs de taille réduite et ne nécessitent pas d'importants dispositifs de stockage en amont, contrairement aux modes précédents [18].

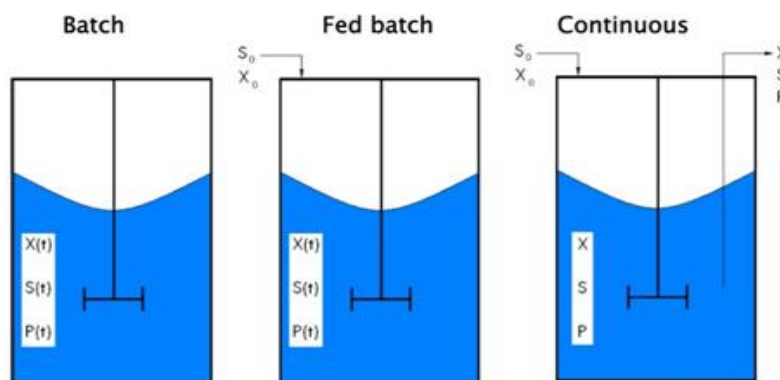


Figure II.4 : Types de procédé de fermentation [34].

II.7.5. Les micro-organismes utilisés en fermentation

La fermentation est mise en œuvre dans des bioréacteurs (ou fermenteurs) qui assurent la croissance des micro-organismes et qui élaborent des réactions biologiques (réactions à cellules). Celles-ci sont généralement catalysées par des substances particulières appelées enzymes [20]. Les enzymes sont des molécules protéiques permettant d'accélérer jusqu'à des millions de fois des réactions chimiques du métabolisme se déroulant dans un milieu cellulaire ou extracellulaire. Elles agissent à faible concentration et elles se retrouvent intactes de fin de réaction. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques qui interviennent dans toutes les réactions métaboliques énergétiquement possibles qu'elles accélèrent par activation spécifique. Elles permettent d'atteindre l'état d'équilibre de la réaction sans le modifier [26].

A. Souches utilisées

Les micro-organismes naturels, constituant un ensemble très varié (bactéries, levures, champignons microscopiques, cellules animales et végétales) constitué un réservoir extraordinaire d'agents capables à la mise en œuvre de bioprocédés industriels. Le **Tableau**

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

II.2 donne les succinctement les produits industriels obtenus à l'aide de ces micro-organismes [20].

Tableau II.2 : Produits industriels issus de bioprocédés [20].

Type de micro-organisme	Produit	Secteur d'utilisation
Levure	Pain, vin, bière, sauce de soja	Alimentation
Bactéries	Pain, yaourt, vinaigre	
Moisissures	Fromage, camembert	
Bactéries	Antibiotique, hormones	Pharmaceutique
Moisissures	Antibiotiques	
Cellules de mammifères	Interféron	
Levure	Enzymes	Agro-alimentaire
Moisissures	Enzymes	
Levures	Ethanol, Acétone,	Intermédiaires chimiques
Bactéries	butanol ;	
Moisissures	Acide citrique	
Bactéries	Bio insecticide	Insecticide

B. Croissance microbienne

La courbe de croissance microbienne en mode discontinu fait apparaître les différentes phases citées ci-dessous [35].

La phase de latence : elle correspond à une période d'adaptation métabolique de micro-organisme au milieu. Elle est réduite au maximum en fermentation industrielle.

La phase exponentielle de croissance : c'est la phase au cours de laquelle la vitesse spécifique de croissance μ_{expo} est maximale. La quantité de nutriments est en excès est la biomasse augmente donc le plus rapidement. Les produits formés au cours de cette phase sont les métabolites primaires. Tant que n'apparaît pas de facteur limitant la croissance. La phase exponentielle se poursuit. En coordonnées semi-logarithmiques $\ln X = f(t)$, la courbe de la phase exponentielle est une droite. Pour cette phase, on a la relation : $\frac{dX}{dt} = \mu X \Rightarrow \ln \frac{X_t}{X_0} = \mu t$

Pendant la phase exponentielle, la vitesse spécifique atteint sa valeur maximale ; elle est notée μ_{max} ; on a alors :

$$X_t = X_0 e^{\mu_{\text{max}} t} \quad \text{Eq (II.1)}$$

X_t : est la biomasse microbienne à l'instant t (g/L)

X_0 : est la biomasse microbienne initiale (g/L)

μ_{max} : est la vitesse spécifique de croissance pendant la phase exponentielle (h^{-1})

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

t : est le temps (h)

La biomasse microbienne X_t peut être remplacée soit par la concentration d'oxygène (procédé aérobie) ou la concentration de gaz carbonique (procédé anaérobie) qui varie avec le temps. L'équation (**Eq II.1**) reste alors valable.

La phase stationnaire : elle apparaît après une phase de ralentissement. Elle fait suite à la consommation des nutriments et à la présence des déchets microbiens.

La phase de déclin : elle correspond à la diminution de la biomasse qui est liée à une lyse cellulaire [20].

C. Paramètres de croissance

Certains paramètres de croissance peuvent être déterminés suite à une utilisation de micro-organismes dans un bioprocédé. Il s'agit du taux de croissance, du temps de doublement de la biomasse et de la vitesse spécifique de croissance μ_{\max} (**Eq. II.1**).

Taux de croissance : il mesure l'accroissement de la population microbienne au cours d'une période de temps t donnée et dans les conditions déterminées ; il est noté μ et est donnée par la relation :

$$\mu = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \quad (\text{Eq. II. 2})$$

X: est la biomasses microbienne (g/L en nombre de cellules).

μ : a pour unité temps⁻¹.

Temps de doublement de la biomasse : il est également appelé temps de génération ; il indique le temps auquel la biomasse microbienne double. Il est noté que t_d est donnée par la relation (**Eq.II.3**).

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (\text{Eq. II. 3})$$

II.7.6. Etude de la levure boulangère de type (*Saccharomyces cerevisiae*)

A. Généralités et taxonomie

Les levures sont des champignons unicellulaires, de formes variables, sphérique cylindrique, allongées, apicules, dont la taille ne dépasse guère 6 à 8 millièmes de millimètres. Présence d'ascospores dans des asques à paroi lisse ; 1 à 4 par asque. Lorsque on observe une levure au microscope électronique, on distingue, une paroi cellulaire, une membrane cytoplasmique, un cytoplasme, un noyau, des vacuoles, des ribosomes, et des mitochondries

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

[26]. Les mitochondries sont les véritables centrales énergétiques de la cellule lorsque celles-ci fonctionnent en présence d'oxygène. Leurs rôles sont l'utilisation des sucres pour produire de l'énergie et permettre ainsi à la cellule d'assurer sa croissance. Les levures se reproduisent par bourgeonnement, par scissiparité où la combinaison des deux processus. Il existe plusieurs genres de levures et la taxonomie de la levure boulangère est la suivante :

- ✓ Règnes des protistes
- ✓ Embranchements des Eucaryotes
- ✓ Classe des Ascomycètes
- ✓ S/Classe des Hémiascomycètes
- ✓ Ordre : Endomycétales
- ✓ Famille des Saccharomycetaceae
- ✓ S/Famille des Saccharomycoidea
- ✓ Genre : saccharomyces
- ✓ Espèce : *Saccharomyces cerevisiae*

Les caractéristiques morphologiques telles, la forme de la cellule, l'aptitude à la filamentation, les caractéristiques physiologiques et sexuelles peuvent être utilisées comme critères de classification et d'identification des levures [26].

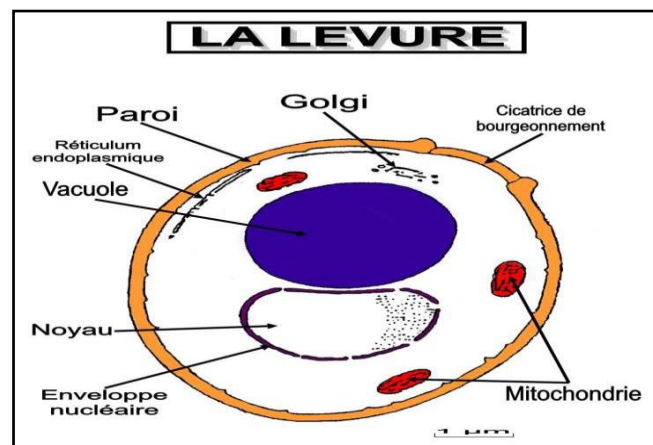


Figure II.5 : La structure morphologique et les constituants de la levure type (*Saccharomyces cerevisiae*) [20].

B. Le métabolisme fermentaire des *Saccharomyces cerevisiae*

La levure, comme tout être vivant, vit en aérobiose ; mais elle a aussi la remarquable faculté de s'adapter à un milieu anaérobie. Pour assurer ses dépenses énergétiques, elle utilise différents substrats carbonés, principalement des sucres. Le glucose

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

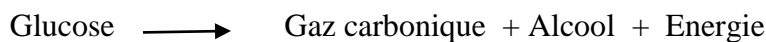
est l'aliment carboné préférentiel de *Saccharomyces cerevisiae*. Le saccharose est immédiatement transformé en glucose et fructose par l'invertase par contre, le maltose entre dans la cellule de la levure grâce à une perméase spécifique pour être ensuite scindé en deux molécules de glucose par la maltase. Les conditions d'oxygénation du milieu génèrent deux types de métabolisme [26].

B.1 En aérobiose : Lorsque la levure se trouve en présence d'air, elle produit à partir du sucre et de l'oxygène, du gaz carbonique, de l'eau et une grande quantité d'énergie. C'est le processus métabolique de la respiration. Dans des conditions d'oxydation du glucose est complète.



Toute l'énergie biochimique potentiellement contenue dans le glucose est libérée. Grâce à cette énergie, la levure assure son maintien en vie. Toutefois, elle peut aussi l'utiliser pour synthétiser de la matière organique, c'est-à-dire entrer en croissance et se multiplier. Il lui faudra alors trouver dans le milieu d'autres éléments nutritifs, en particulier de l'azote. Ce processus métabolique est optimisé par les industriels pour cultiver la levure [26].

B.2 En anaérobiose : En absence d'oxygène, la levure peut utiliser les sucres pour produire l'énergie nécessaire à son maintien en vie. Ce processus métabolique a été défini par Pasteur comme étant celui de la fermentation. Les sucres sont transformés en gaz carbonique et en alcool.



L'alcool formé contient encore beaucoup d'énergie. Il n'y a donc qu'une partie de l'énergie biochimique potentiellement présente dans le glucose qui a été libérée. Il assure un minimum vital à la levure, mais ne lui permet pas de se multiplier rapidement [26].

C. Conditions et facteurs de croissance

Dans les expériences de fermentation de [26] ils ont utilisé la culture en discontinu (batch), la croissance se traduit par l'augmentation en taille et en nombre pour assurer le développement il faut fournir aux micro-organismes les nutriments nécessaires [20]. Les vitamines sont considérées comme des facteurs importants pour la croissance des levures. La déficience de ces derniers peut avoir des effets négatifs sur la croissance de la levure [26]. La température idéale pour la croissance de la levure boulangère est comprise entre 25 et 30 °C, un pH compris entre 4.5 et 5.0 et un gramme d'oxygène pour la production d'un gramme de levure sèche [26].

D. Les besoins nutritionnels de la levure (Sc)

Le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires à la croissance et aux besoins nutritionnels de la levure [20]. Les besoins des levures pour leur croissance sont les suivants :

D.1. L'eau : Les levures sont constituées de 75% d'eau et 25% de matière sèche [20].

D.2. Le carbone : La levure boulangère peut métaboliser plusieurs composés carbonés (Glucose, Fructose, Mannose, saccharose, et Maltose). Elle peut aussi métaboliser les acides tartrique, succinique, acétique, lactique, et acétique ainsi que le l'éthanol en anaérobiose. Les sucres réducteurs (fructose et glucose) sont directement inclus dans le cycle de glycolyse par contre, le saccharose et le maltose doivent être hydrolysés en sucre simples. Enfin, l'activité de l'invertase est élevée par contre, celle de la maltase est très variable et peut être un facteur limitant dans la fermentation de maltose. Les substances carbonées sont soit assimilées ou fermentées par les levures boulangères [26]. Le carbone représente environ 50% du poids sec de la levure [20].

D.3. L'azote : La levure peut utiliser l'azote sous forme minérale tels, l'urée, les nitrates et l'ammonium. La levure assimile les ions ammonium plus rapidement que les acides aminés en aérobiose. L'azote ammoniacal est rapidement transformé par la levure en de nombreux constituants, acides aminés, protéines et acides nucléiques [26]. Les levures contiennent 10% environ d'azote [20].

D.4. Les vitamines : Des régulateurs et des cofacteurs importants des voies métaboliques. Elles agissent généralement comme coenzymes ou précurseurs d'enzymes. *Saccharomyces cerevisiae* est auxotrophe pour les vitamines suivantes qui seront ajoutées au milieu de culture [20].

D.5. Les sels minéraux : Les sels minéraux sont les éléments indispensables pour la croissance et la multiplication des levures et les plus indispensables sont : Le phosphore, potassium, calcium, magnésium, cuivre et le manganèse. Leurs déficiences ont des répercussions négatives sur la fermentation. Toutefois, à part le phosphore, ces éléments sont en général présents en quantité suffisante dans les divers milieux carbonés telle la mélasse [26].

D.6. Les oligo-éléments (ions inorganiques) :

- Les macroéléments : K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cl^- dont la concentration nécessaire varie entre 0.1 et 1 mm.

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

- Les micro-éléments : CO^{2+} , B^{2+} , Cd^{2+} , Cr^+ , Cu^{2+} , I , Mo^+ , Ni^{2+} pour lesquels une concentration de 0.1 à 100 μM est suffisante [2].

II.7.7. Les phénomènes d'inhibition qui influencent sur la croissance des micro-organismes (Sc)

A. Sur le substrat

Des fortes concentrations en substrat induisent une inhibition de la croissance cellulaire et de la capacité fermentaire. L'inhibition de la capacité fermentaire devient significative entre 150 et 250 g/L de sucres, pour une inhibition complète rapportée à 400 g/L de glucose, alors que l'inhibition de la croissance commence à des concentrations souvent plus faibles [25].

B. Sur les co-métabolites produits

L'effet inhibiteur sur la croissance des principaux sous-produits a été testé par (Maioresella *et al.*, 1983) : tels que : acide acétique, acide formique, acide lactique, acétaldéhyde, glycérol (Tableau II.3) [25].

Tableau II.3 : Concentrations inhibant 80% de la croissance cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae* pour les principaux sous-produit de la fermentation alcoolique (Maioresella *et al.*, 1983) [25].

Sous-produits	Concentrations inhibitrice g/L
Glycérol	450
Acide lactique	38
Acide acétique	7.5
Acétaldéhyde	5
Acide formique	2.7

C. Par l'éthanol : notion de tolérance à l'éthanol

L'effet négatif de l'éthanol se traduit par une inhibition générale de la cellule des micro-organismes affectent aussi bien la croissance cellulaire que la capacité fermentaire [25].

- **Sur la croissance cellulaire :** L'inhibition de la croissance par l'éthanol commence autour de 20 à 40 g/L chez *Saccharomyces sup*, la concentration inhibitrice pour la croissance est de l'ordre de 70 à 110 g/L selon les souches et les espèces (Casey et Ingledew, 1986).

- **Sur la capacité fermentaire :** pour la production d'éthanol, la concentration inhibitrice peut aller jusqu'à plus de 20% (V/V) pour *Saccharomyces cerevisiae* (Hayashida et Ohta, 1981).

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

L'inhibition par l'éthanol sur la capacité fermentaire est moins importante que sur la croissance cellulaire. En effet, la production d'éthanol peut se poursuivre une fois la croissance est arrêtée.

- **Sur la viabilité** : l'effet de l'éthanol sur la viabilité cellulaire ne se fait sentir que pour les concentrations plus importantes que celles provoquant l'arrêt de la croissance (**Kalmokoff et Ingledew, 1985**).

D. Effet du CO₂ sur les levures

Lorsque la concentration en CO₂ du milieu atteint un taux de saturation, la fermentation s'arrête au bout de quelques heures (**Laisne et al., 1972**).

E. Effet de la pression osmotique et de l'activité de l'eau sur les levures

L'effet de la pression osmotique varie d'une souche à une autre. La plupart des souches ne peuvent se développer pour des activités d'eau inférieure à 0.9. Certains tolèrent des pressions osmotiques plus élevées correspondant à une activité de l'eau de l'ordre de 0.6 mais avec un métabolisme lent (**Leveau et Bouix, 1979**).

F. Effet de pH et de la température sur la croissance des levures

L'optimum de pH pour la croissance des levures varie de 4.5 à 6.5 beaucoup d'espèces tolèrent de grandes variations de pH. Elles peuvent encore se développer à pH 2.8-3.0 et pH 8-8.5. La température de croissance se comprise entre 30 et 37°C. La température de la levure optimale se situe vers 25°C (**Bourgeois et al., 1988**).

G. Rôle d'O₂

Il est important pour la synthèse des acides gras insaturés et des stérols qui protègent les levures du stress alcoolique chez les (*Saccharomyces cerevisiae*) l'O₂ est indispensable pour assurer la survie des levures et l'épuisement complet des sucres en présence de concentration élevé en éthanol son apport doit être continu tout au long de la culture [20].

II.8. L'extraction du bioéthanol

La liqueur fermentée contient entre 8 et 15 % d'alcool. L'éthanol est séparé de la liqueur par un système de distillation à plusieurs colonnes qui fournit un alcool pur à 96%.

Pour les besoins de commercialisation, l'éthanol est déshydraté par un tamis moléculaire. L'éthanol est alors dit « anhydre ». Un dénaturant y est ajouté en petite quantité (2 à 5%) afin d'éviter qu'il soit commercialisé sur le marché de l'alimentation humaine.

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

L'éthanol et l'eau composent un azéotrope quand est atteinte une concentration en éthanol de 95.6% (W/W). Sa température d'ébullition à pression atmosphérique est alors de 78.2°C, pour 79°C concernant l'éthanol. Il est possible d'obtenir de l'éthanol pur en effectuant une distillation à une pression de 0.11 atmosphères, mais ce procédé est trop coûteux. Il est préférable d'effectuer deux étapes d'extraction.

Une première distillation classique est effectuée pour obtenir un mélange proche de la proportion azéotrope. Plusieurs solutions existent ensuite pour déshydrater ce mélange, la distillation azéotrope, la distillation extractive, la séparation sur tamis moléculaire ou la pervaporation.

Une distillation azéotrope consiste à introduire un solvant entraîneur qui va former un azéotrope ternaire dont la température d'ébullition est inférieure à l'azéotrope eau-éthanol.

La distillation de cet azéotrope ternaire va permettre d'obtenir de l'éthanol pur à plus de 99% en bas de colonne. Le distillat, contenant eau, éthanol et solvant extracteur, est divisé en deux phases par décantation. La phase contenant l'éthanol est renvoyée à la colonne de distillation azéotrope, la phase aqueuse subit une nouvelle distillation afin de séparer l'eau du solvant extracteur. Les solvants employés sont le cyclohexane, le diéthylether, le n-pentane, le benzène et le toluène. Ces deux derniers ne sont plus guère utilisés, du fait de leur toxicité, le cyclohexane étant privilégié pour les données concernant l'azéotrope eau-éthanol-cyclohexane.

La distillation extractive est une distillation effectuée avec un troisième constituant qui a le pouvoir d'inverser les températures relatives d'ébullition du mélange. Ainsi, la température d'ébullition de l'azéotrope n'est plus la plus faible. Ce troisième constituant peut être un liquide (l'éthylène glycol par exemple, ou l'essence en cas de production de carburant), un sel (acétate de potassium, acétate de sodium...), un liquide ionique ou des polymères. Une étape annexe est ici aussi nécessaire pour recycler le constituant ajouté.

Le procédé qui s'impose de plus en plus est la séparation sur tamis moléculaire. Il s'agit d'un tamis composés de zéolites, dans les pores ont un diamètre nominal de 0.30 nm. Les molécules d'éthanol (approximativement 0.44 nm de diamètre) sont retenues par ce tamis, alors que les molécules d'eau (0.28 nm de diamètre), plus petites, peuvent pénétrer les pores.

Cette technologie présente un excellent bilan énergétique de 0.1 à 0.2 MJ/kg d'éthanol pour une consommation totale (avec la première distillation) de 5 MJ/kg d'éthanol.

La séparation eau-éthanol peut également s'effectuer par des membranes par pervaporation. Des membranes hydrophiles ou hydrophobes existent. Ce procédé peut également être utilisé pendant la fermentation pour extraire l'éthanol en continu, et limiter ainsi son pouvoir inhibiteur [18].

II.8.1. Techniques de fermentation alcoolique

A. Fermentation et hydrolyse séparées (SHF)

Le mécanisme **Figure II.6** fondé sur la base de la séparation de l'hydrolyse et la fermentation en deux processus distincts comme dans le processus de production de bioéthanol normal, l'hydrolyse sera effectuée d'abord pour dégrader les sucres de manomètres de charge par l'utilisation suivie de la réaction de fermentation qui augmentera les sucres dans la phase d'hydrolyse. Un problème majeur associé au processus (SHF) est l'inhibition du produit final par des sucres qui se forment lors de l'hydrolyse [20].

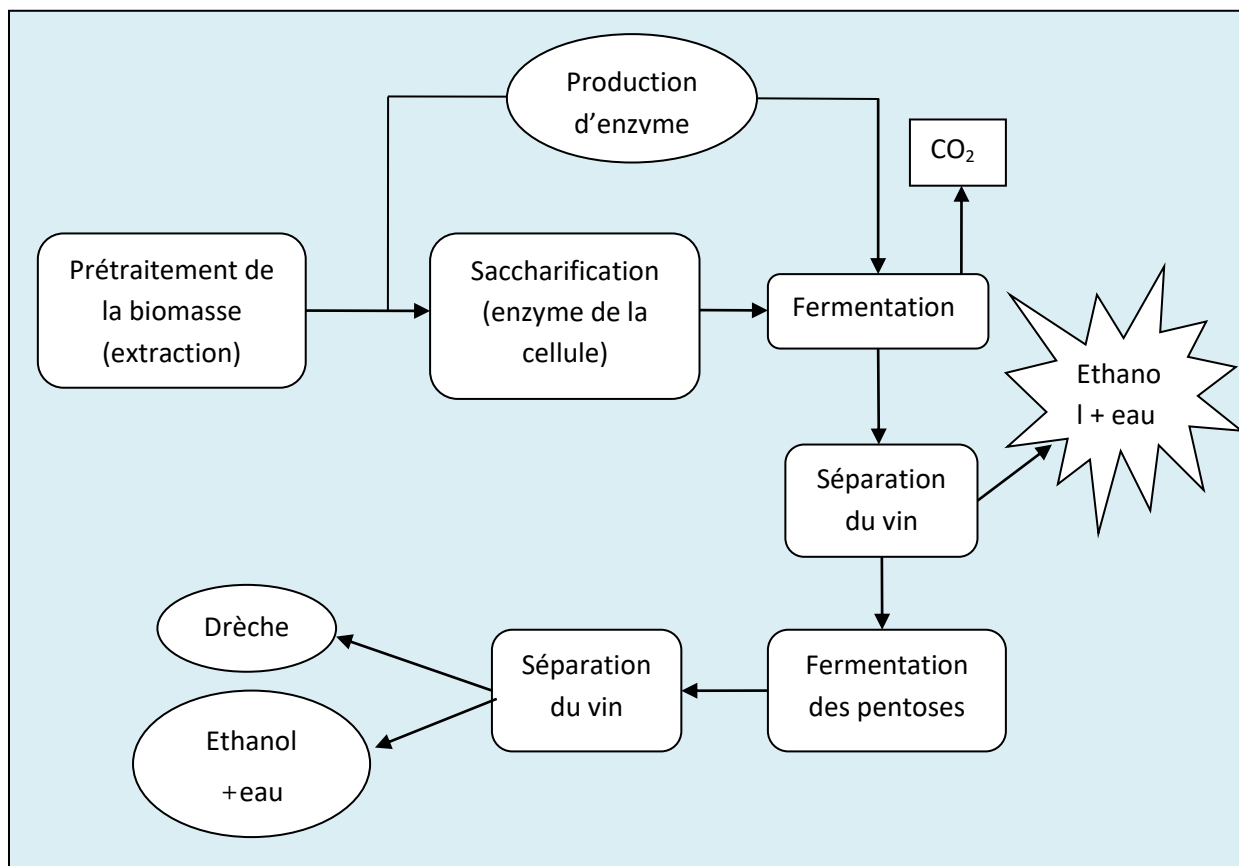


Figure II.6 : Schéma de la technique de fermentation et hydrolyse séparées pour la biomasse lignocellulosique [20].

B. La saccharification et fermentation simultanée (SFS)

Ce procédé est plus utilisé, appelé encore conversion microbienne directe, est un procédé qui s'effectue en une seule étape. En effet ce procédé intègre la production d'enzyme, la saccharification et la fermentation par un micro-organisme spécial ou consortium microbien en un seul processus sans nécessite le prétraitement du substrat même si un certain nombre

Chapitre II : Techniques de fermentation alcoolique des dattes

d'auteurs ont étiqueté leurs procédés comme étant CBP alors qu'un prétraitement a été effectué où des enzymes ont été ajoutées [27].

Il est attrayant car il permet de réduire le nombre de réacteurs, simplifier les opérations et ainsi augmenter la compétitivité du bioéthanol lignocellulosique. Ceci nécessite toutefois la conception d'un micro-organisme / consortium microbien approprié ce qui reste un verrou technologique [27].

C. Distillation du mélange eau-éthanol (purification)

Pour de l'éthanol pur, dit absolu, deux étapes sont nécessaires après la distillation. La première étape a pour but de purifier l'alcool contenu dans les bruts en éliminant les impuretés. Ce procédé consiste en une succession de distillations à des températures allant de 85°C à 102°C. La première partie de ce procédé est destinée à concentrer l'alcool et à éliminer les impuretés (alcools supérieurs). Enfin la dernière partie élimine le méthanol contenu dans l'alcool [25].

D. Obtention de biomolécules à grande valeur ajoutée

Le saccharose peut être utilisé comme substrat de fermentation pour produire de l'alcool éthylique ou de l'alcool butylique, de la glycérine ou de l'acide citrique. Le saccharose peut également être converti en esters et éthers, desquels on peut extraire des résines dures et solides. La mélasse permet aussi de produire de l'alcool, utilisé comme spiritueux ou en médecine et aussi dans la fabrication de parfums. L'acide lactique est produit par fermentation bactérienne du saccharose. A partir de l'acide lactique, il est possible de synthétiser des sels et des esters [20].

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre et après une étude théorique des techniques de la fermentation alcoolique d'une biomasse végétale participant à l'extraction de bioéthanol, on peut répondre à la question ' pourquoi convertir pour le bioéthanol '.

- ✓ Le bioéthanol respectueux de l'environnement...
- ✓ Le bioéthanol est un carburant produit à base de végétaux. Il ne nécessite pas de forage et d'extraction de ressources fossiles comme les autres types d'essences.
- ✓ Le bioéthanol a un bilan carbone de production neutre puisque les végétaux à son origine consomment du CO₂ lors de leurs pousses, ce CO₂ absorbé permet d'équilibrer le bilan carbone lorsque l'on rejette ensuite le gaz avec le moteur à essence.
- ✓ On estime que le bioéthanol permet de réduire de près de 50% les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux carburants fossiles.

Chapitre III

Technique d'extraction de bioéthanol

Chapitre III: Techniques d'extraction de bioéthanol

III.1 Introduction

La biomasse végétale est une source d'énergie renouvelable qui consomme du CO₂ par la photosynthèse. Son utilisation permet d'éviter l'émission de 50% à 80% de CO₂ selon les applications par rapport à l'équivalent d'origine fossile [36]. En 2019, Biskra, El Oued, Ghardaïa et Ouargla, une production de 1.661.920 qx de dattes. Ouargla Classée parmi les premières wilayas productrices de dattes, en quantité et en qualité, la wilaya d'Ouargla dispose d'une richesse phoenicicole qui dépasse les 2,6 millions de palmiers-dattiers, dont 2.184.011 palmiers productifs, éparpillés sur une superficie de plus de 24.000 ha, au titre de l'actuelle saison agricole. Cette récolte prévisionnelle concerne notamment les trois variétés principales, à savoir "Deglet-Nour" (dattes fines), "Ghars" (dattes molles) et "Degla-Beida" (dattes sèches), avec un rendement moyen estimé à 68 qx le hectare selon les statistiques de la DSA [4]. Vu la disponibilité de ces dattes en quantité assez importante dans notre pays, la production de bioéthanol à partir de ces matières constitue une solution intéressante sur le plan économique. Comme nous le savons que le bioéthanol est issu d'un procédé biotechnologique de fermentation anaérobie. Il a une importance économique du fait qu'il est utilisé dans des secteurs variés et vitaux et surtout pour diminuer la quantité d'alcool importée par notre pays chaque année qui est entre 30.000 et 50.000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins [37].

Notre travail se base sur une synthèse détaillée concerne l'utilisation des dattes Algériennes dans le processus de fermentation pour la production de bioéthanol par bioconversion anaérobie en présence de la levure sèche de type « *Saccharomyces cerevisiae* ». Dans ce chapitre nous allons comparer les méthodologies utilisés dans deux projets de fin d'étude effectués en Algérie en utilisant deux différentes variétés des dattes Algériennes. Le premier travail a été effectué à l'Université Badji Mokhtar-Annaba, le deuxième à l'Université Kasdi Merbah-Ouaregla et l'Université Ahmed Draia-Adrar.

III.2. Utilisation du jus de dattes pour la production de bioéthanol

III.2.1. A Université Badji Mokhtar-Annaba par [20]

Dans le travail de Fennouche. I. (2017) référencé par [20] réalisé à l'Université de Annaba, ils ont basé sur l'utilisation du jus des dattes algériennes de moindre qualité en ajoutant des divers produits biologiques et chimiques. Pour cela, ils ont utilisé dans leurs

Chapitre III : Techniques d'extraction de bioéthanol de dattes

expérimentations pour l'élaboration du procédé de production de bioéthanol, le matériel cité dans le **Tableau III.1**.

Tableau III.1 : Matériels et appareils utilisés par **Fennouche. I.(2017)**

Type de matériels	Matériels
Matériels végétal	- Dattes algériennes de moindre qualité provenant de la région du Sahara
Matériel biologique (Micro-organisme)	Levure boulangère (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)
Milieu nutritionnel	- KH_2PO_4 (5 g/L) - $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1 g/L) - $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (2 g/L)
Appareils utilisés	- pH-mètre de type Inolab pH 7110 - Spectrophotomètre de type Secomam Prim - Refractomètre de type Atago RX-5000 - Thermomètre - centrifugeuse 80-2 CENTRIFUGE - Balance - Microscope optique DM300, LEICA - plaque chauffante IKAMAG - Agitateur (Modèle Hanna 210)
Réactifs chimiques	- Glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) - Hydroxyde de sodium (NaOH) - Phénolphtaléine - Chaux (CaCO_3) - Acide sulfurique (H_2SO_4) - Acide chlorhydrique (HCl)

La levure utilisée est la levure de bière de type « *Saccharomyces cerevisiae* » qu'est un champignon unicellulaire microscopique. Saccharo- signifie « sucre », myces « champignon » [38]. La **Figure III.1** montre une cellule-mère, un bourgeon en formation (à droite), et des cicatrices de bourgeonnement (à gauche).

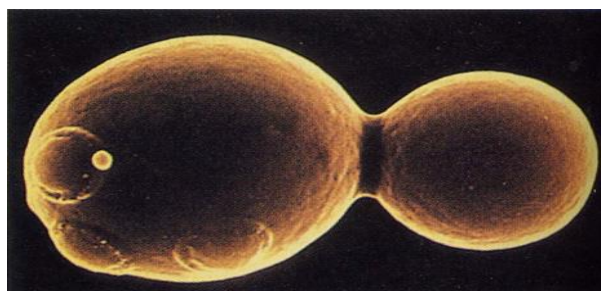


Figure III.1 : Une électronographie (photographie prise au microscope électronique à balayage) [20].

Les conditions de croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sont indiquées dans le **Tableau III.2** [39].

Tableau III.2 : Conditions de croissance de la levure « *Saccharomyces cerevisiae* » [39].

Paramètres physicochimiques	Conditions optimales pour l'activité levurienne
Température	30 °C
pH	4,5
Type de fermentation	Anaérobie
Sels minéraux	Azote, Potassium, Phosphates, Magnésium
Sucres fermentés	Glucose, saccharose
Sucres non fermentés	Lactose

A Sélection et préparation des dattes

Les dattes utilisées dans les expériences de la référence [20] sont provenus du sud Algérien. Elles ont une grande richesse en sucres et en glucides qui sont abondantes surtout dans la datte sèche. Cette énergie répond aux besoins et constituer un substrat de choix pour produire de nombreuses substances à forte valeur ajoutée tel que l'éthanol [40].

A.1. Protocole de prétraitement de la biomasse pour l'extraction du jus (substrat) : Pour la préparation des différents moûts et extraction du jus, des opérations telles que le lavage, le dénoyautage, le broyage, l'égouttage sont effectuées. Les prétraitements diffèrent selon la nature de la matière première et sa teneur en sucres (saccharose, fructose ou glucose). Le schéma du prétraitement est illustré dans la **Figure III.2**.

A.2. Prétraitement des dattes : Les principales étapes pour la production du sirop de dattes sont similaires à celles évoquées précédemment. Elles sont résumées comme il est montré sur la **Figure III.2**.

- Lavage des dattes pour les débarrasser des impuretés, puis les dénoyauter à l'aide d'un couteau tranchant ;
- Broyage grossièrement le fruit et le mélanger à 100 ml d'eau distillée ;
- Placer le mélange dans un ballon de 500 ml muni d'un réfrigérant à reflux ;
- Disposition d'un ballon dans un bain thermostaté à une température de 65 °C et agiter pendant 30 min;
- Refaire cette opération en rajoutant 100 ml d'eau distillée et agiter le mélange pendant 30 min sous une température de 65 °C. Ceci permet une meilleure extraction des sucres et un bon épuisement des pulpes ;
- Filtrer le mélange en récupérant le jus de dattes ;
- Neutraliser le jus avec HCl 1M jusqu'à un pH de 4,5. Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération des levures [41].
- Doser les sucres totaux dans le jus de dattes ainsi obtenu.

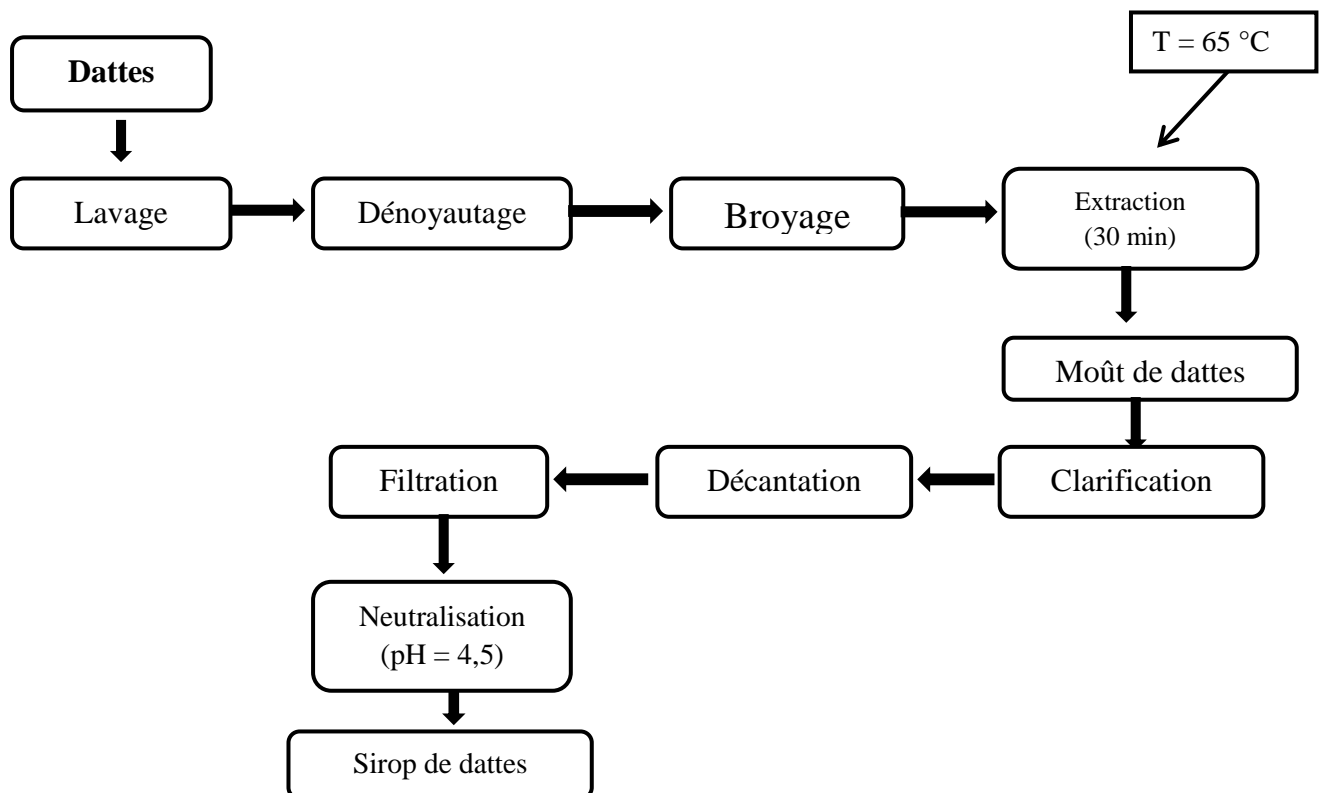


Figure III.2 : Etapes de prétraitement des dattes.

La **figure III.3** représente le montage expérimental utilisé dans l'extraction du jus de dattes.

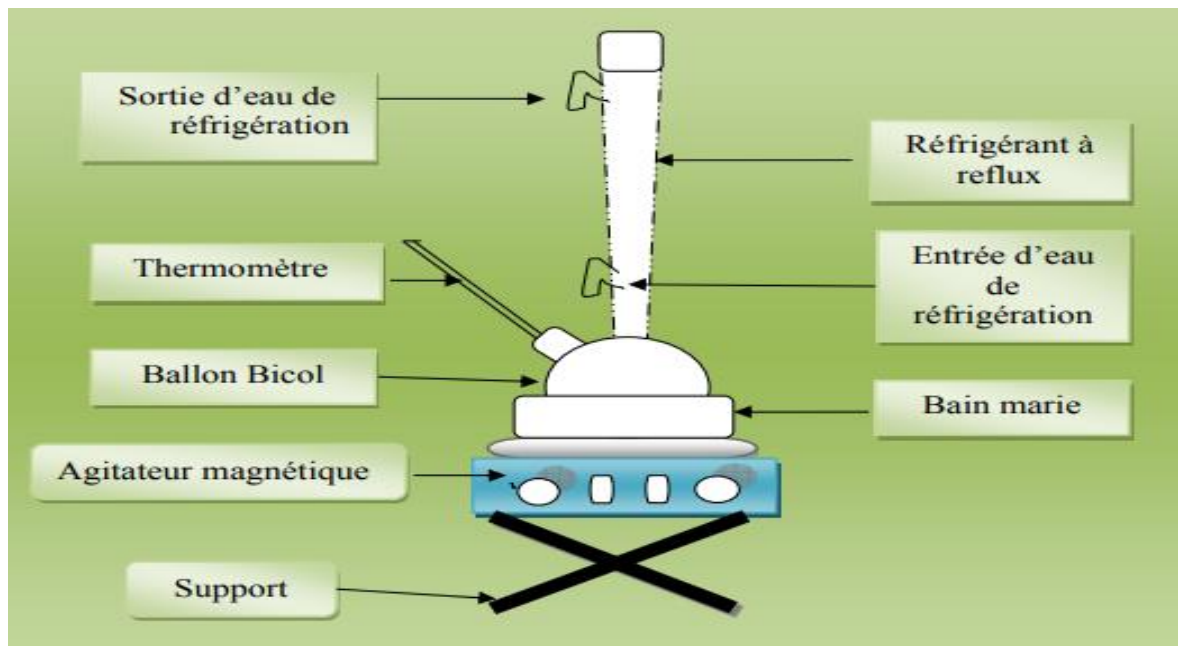


Figure III.3 : Montage expérimental pour l'extraction du jus de dattes [20].

B. Procédé de fermentation éthanologique

Pour qu'une fermentation s'effectue dans de bonnes conditions, le moût qui a été extrait de la matière première ne doit pas excéder une concentration en sucres supérieure à 300 g/L. La concentration initiale en sucres fermentescibles est très importante car elle conditionne le taux d'alcool en fin de fermentation. Aussi, le milieu doit être supplémenté de sels minéraux pour assurer un métabolisme optimal pour les levures [41].

La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures. Toutefois, cette opération est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO₂ dégagé. Alternativement à la fermentation, des mesures de la concentration de CO₂ et des analyses physico-chimiques et biochimiques sont effectuées pour suivre l'évolution de la fermentation tels que :

- L'acidité du moût à l'aide d'un pH mètre ;
- Le taux de glucose ;
- L'évolution de la couleur et de l'odeur du moût ;
- La densité du milieu ;

Entre temps, ils ont effectué le suivi cinétique de croissance des levures par l'identification des phases de latence, exponentielle et ralentissement par contre, ils n'ont pas pu mettre en évidence la phase de déclin.

C. Protocole de la fermentation alcoolique

Les expériences de la fermentation de dattes sont réalisées dans un bioréacteur d'une capacité de 500 ml opérant en mode discontinu comme le montre la **Figure III.4** cité dans le manuscrit du [6] indiquant le dispositif expérimental de la fermentation alcoolique utilisé. Les étapes suivies par [20] sont :

- ✓ La température du bain thermostat est maintenue à une valeur de 30 ± 2 °C en assurant l'agitation magnétique.
- ✓ Un volume de 500 ml de jus (ayant un pH de 4,5) légèrement chauffé est placé dans le fermenteur;
- ✓ les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des micro-organismes sont ajoutés au milieu.
- ✓ Afin de favoriser l'oxygénation du milieu, une légère agitation du liquide a été assurée.
- ✓ Une masse de 2 g de levures est alors versée dans le réacteur qu'il faut rapidement fermer à l'aide d'un bouchon hermétique afin d'assurer les conditions anaérobiques.
- ✓ La fermentation commence une fois que le dégagement de CO₂ est observé.
- ✓ La quantité du CO₂ dégagé est alors mesurée par la méthode de déplacement de liquide.
- ✓ Le temps de fermentation est fixé à 72 h au bout duquel l'opération de distillation du mélange fermenté est élaborée afin de récupérer le bioéthanol.

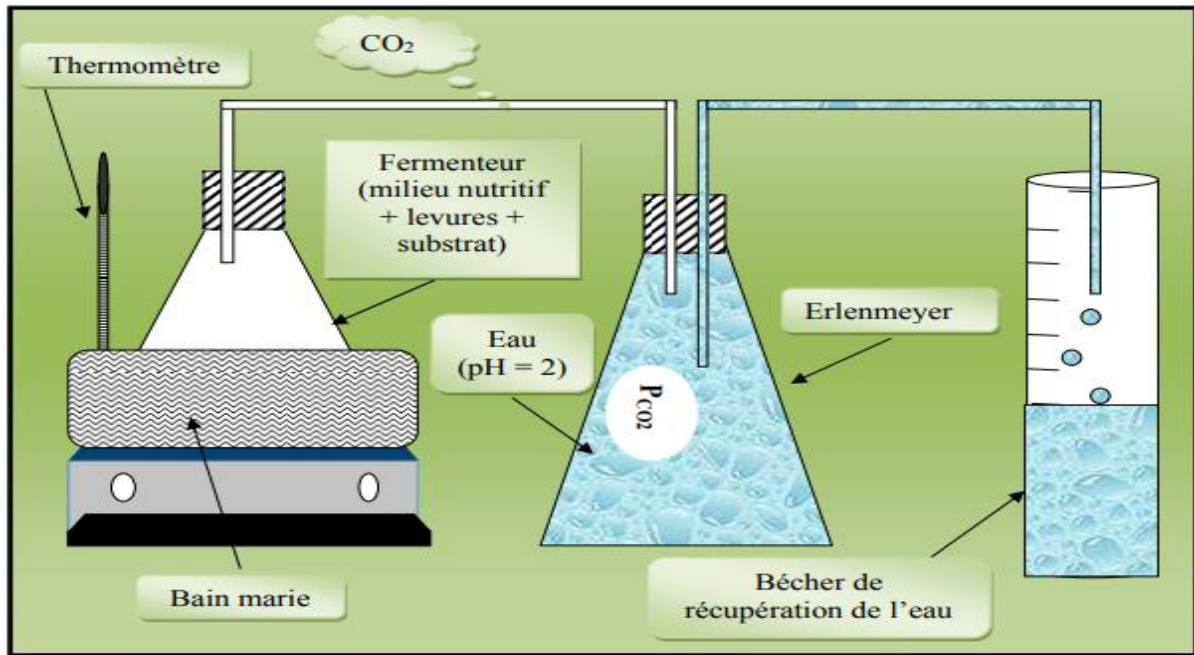


Figure III.4 : Dispositif expérimental de la fermentation alcoolique [20].

D. Distillation du mélange-Récupération du bioéthanol

Au bout de 72 h de fermentation, le vin de dattes obtenu est distillé afin d'extraire l'éthanol. La température de distillation est de l'ordre de 78 °C. La distillation est effectuée dans un montage classique comportant un chauffe-ballon, des colonnes de réfrigération et une ampoule de récupération de distillat (éthanol).

E. Techniques analytiques et aspect du substrat

La caractérisation du jus des dattes produit est effectués par le chercheur en déterminant un certain nombre de ses propriétés physicochimiques pour se rendre compte de son aptitude à la biotransformation, tels que le pH, l'extrait sec soluble massique (°Brix), l'acidité titrable, les taux de sucres totaux, etc. Aussi, le bioéthanol est caractérisé par la mesure de certains paramètres physico-chimiques.

E.1. Aspect du substrat : Pour une bonne élaboration du procédé de fermentation, le jus utilisé doit être sirupeux et visqueux. Sa couleur diffère selon la nature de la matière première à partir de laquelle il a été extrait.

E.2. Mesure du Brix : Le Brix est une mesure de l'extrait sec soluble total (Sucres). Il est mesuré par un réfractomètre. La détermination du Brix est basée sur la capacité des sucres

d'un jus à faire dévier la lumière [42]. Un réfractomètre mesure le Brix par un pourcentage Brix en graduations de 0,1 %.

E.3. Mesure du Ph : e pour le contrôle du moût, avant et au cours de la fermentation, la détermination du pH, est essentiell. Sa variation renseigne l'activité métabolique de la levure au cours la transformation des sucres en alcool. La détermination du pH a été effectué par un pH-mètre de type Inolab pH 7110 [20].

E.4. Mesure de la matière sèche : ils ont déterminé la matière sèche (substrat) sur un échantillon de 10 ml de jus par dessiccation à l'étuve (à une température de 105 °C) jusqu' à l'obtention d'un poids constant [20]. Elle est exprimée en pourcentage et donnée par l'Eq.(1).

$$MS(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_2 - M_0} * 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

Où

M_0 : est la masse de la capsule vide (g).

M_1 : est la masse de la capsule et du résidu après dessiccation (g).

M_2 : est la masse de la capsule et de la prise d'essai (g).

E.5. Mesure de la densité : La densité d'un liquide est donnée par le rapport entre la masse volumique de ce liquide et celle de l'eau prise à 4 °C (1000 kg/m³). Dans le premier travail, la masse volumique du bioéthanol a été déterminée par pesée (m) d'un volume connu (v) de bioéthanol à 20 °C. elle est donnée par l'Eq.(2).

$$D = m/v \quad \text{Eq. (2)}$$

D : est la densité en (g/ml), m : la masse d'échantillon en (g), et v : le volume de bioéthanol en (ml).

Donne la valeur de la masse volumique de l'alcool qui permet d'accéder à la densité recherchée.

E.6. Dosage de l'acidité : La méthode utilisée par [6] est la titration avec une base forte de tous les acides organiques; nous utilisons pour la titration, de la soude 1N avec la phénolphtaléine comme indicateur coloré.

E.7. Dosage des sucres totaux : La Méthode de **Dubois**, découvert en 1956 permet de déterminer la concentration des sucres pour former un dérivé du furfural par acide concentré sur le glucose. Son principe repose sur la réaction suivante : l'acide sulfurique concentré

provoque à chaud le départ de plusieurs molécules d'eaux à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne de la formation d'un hydroxy-méthylfurfural (HMF) dans le cas d'hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune-orangé). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses. La densité optique a été mesurée à 488 nm à l'aide d'un spectrophotomètre [42].

Oses → dérivés furfuraliques milieu acide → composés colorés phénol.

E.8. Quantité de biomasse : pour permettre de suivre la croissance des micro-organismes afin d'estimer la qualité de la fermentation, il faut connaître la quantité de levures évoluant au cours de la fermentation.. Une fois celle-ci déterminée, le milieu de fermentation est récupéré et filtré. La phase solide est centrifugée à 3500 tours/min pendant 15 minutes. Le culot obtenu est lavé deux fois avec de l'eau distillée puis centrifugé à nouveau. Le culot est alors pesé pour déterminer le poids en biomasse fraîche. Après séchage à 75 °C durant 24 h, le poids sec est déterminé [20].

F. Mesure de la pression du CO₂

La méthode utilisée pour mesurer le CO₂ résultant de la fermentation suite à la dégradation des sucres présents dans le substrat est la détermination de la pression du gaz par déplacement de liquide. Comme le montre la **Figure III.5**, Le montage permettant d'effectuer la mesure de la pression du CO₂ contient un fermenteur relié par l'intermédiaire d'un tube à un erlenmeyer rempli d'eau à un pH égal à 2. Ce dernier est à son tour relié par un deuxième tuyau à un récipient vide. Le CO₂ produit dans le fermenteur entre dans l'erlenmeyer en exerçant une pression qui va chasser une quantité d'eau proportionnelle à cette pression. Cette quantité d'eau récupérée dans le deuxième récipient a un volume équivalent à la pression de CO₂ libéré. Pour une bonne mesure, le système doit être étanche.

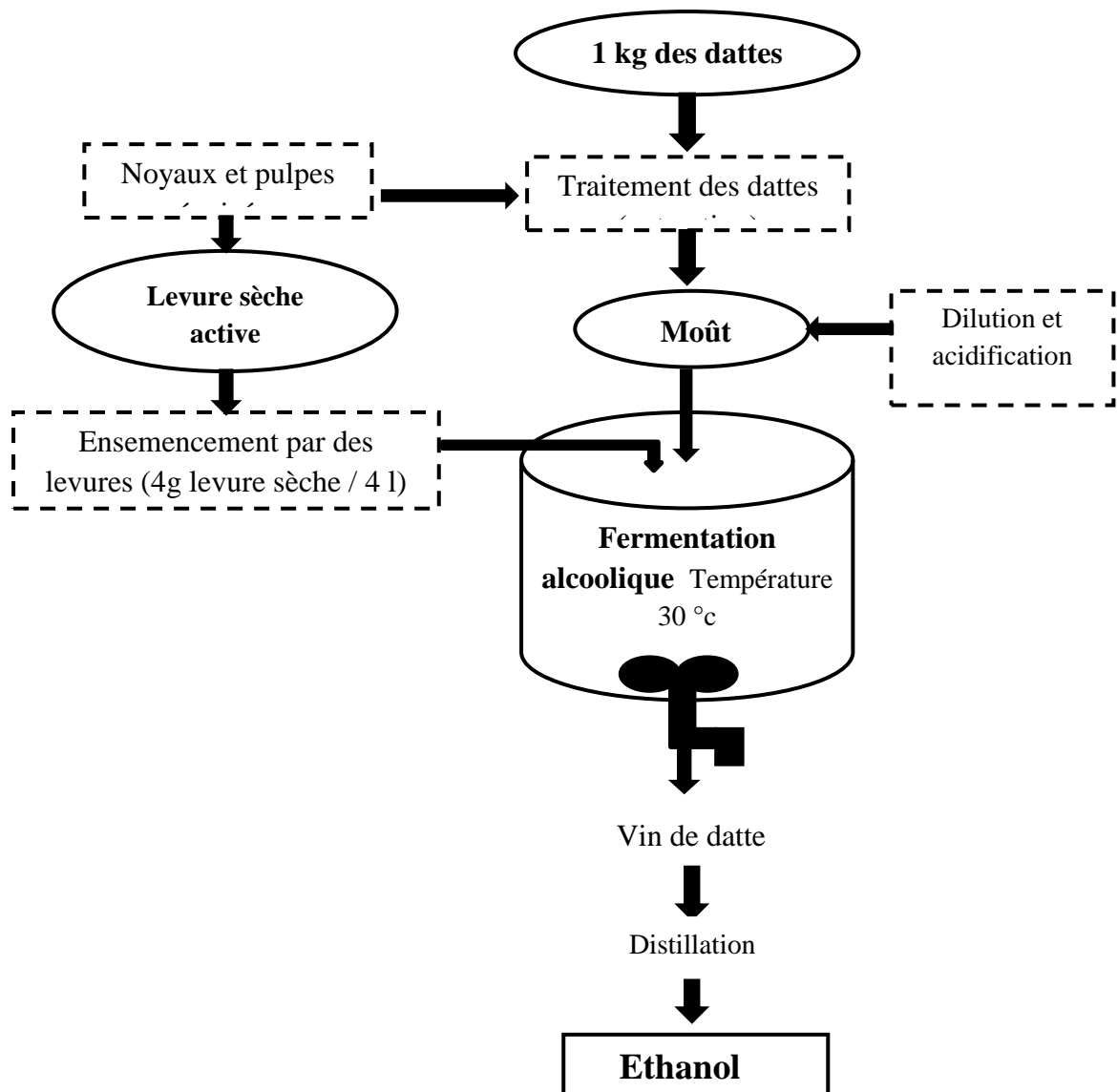


Figure III.5 : Diagramme de production de l'éthanol [43].

III.2.2 Etapes d'extraction de bioéthanol effectués à l'Université Kasdi Merbah-Ouaregla

Le travail de la référence [44] a été achevé dans un laboratoire de recherche, en se basant sur une technique d'extraction très simple. Elle se base sur le même principe du premier travail exposé dans le paragraphe précédent.

A. Matière première (matériel végétal)

Dans le travail effectué par Boulal. A et al : Ils ont utilisé deux dérivés de dattes communes « **Aghmou** » et « **Tinaceur** » sur la base de l'abondance par ce que ces variétés ne sont pas bien appréciées par les consommateurs et ça malgré sa richesse en sucres, en minéraux et en vitamines. Sa faible teneur en eau (15 % environ) favorise sa conservation (les

dattes sont conservées à l'état sec). Ils ont utilisé des emballages en carton pour les acheminer au laboratoire, où ont été réalisés leurs travaux expérimentaux.

B. Préparation de moût de dattes

Les étapes suivies par [44] dans la production de l'éthanol à partir des dattes sont:

- ✓ Prise de poids : 1 kg de dattes par une balance;
- ✓ Lavage à l'eau de robinet dans une passoire pour faciliter le séchage.
- ✓ L'imbibition des dattes à l'aide d'une eau chaude (90 à 95 °C) afin de faciliter le dénoyautage.
- ✓ Le broyage des pulpes.
- ✓ L'eau d'imbibition riche en sucre sera utilisée comme eau de dilution du moût. Les dattes -ainsi traitées- sont ensuite diluées à raison de 1 kg de dattes pour 4000 ml d'eau. Le pH du moût est ajusté entre 4.3 et 4.7 par l'acide sulfurique (H₂SO₄, 1N). Pour maintenir le pH ils ont ajouté un tampon phosphaté. Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération de levures [44].

C. Procédé de la fermentation alcoolique

- ✓ Ensemencement du milieu par la levure « *Saccharomyces cerevisiae* » d'ordre (1 g/l),
- ✓ Comme le montre La **figure III.6**, le bio réacteur a été plongé dans un bain-marie de température maintenue à 30 (± 2) °C. La fermentation a été conduite en anaérobiose pendant 72 heures.
- ✓ La fermentation a été favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO₂ dégagé.
- ✓ Pour suivre l'évolution de la fermentation, il a procédé chaque 24 heures à des prélèvements pour effectuer les analyses physico-chimiques par alcoomètre et détecter l'odeur de l'alcool dans le moût. Après 72 heures, la fermentation est arrêtée [43].



Figure III.6 : Le bain-marie et le réacteur de fermentation [45].

L'opération de fermentation est répétée trois fois afin d'assurer l'obtention d'une valeur moyenne représentative des différentes analyses. Au cours de la fermentation, ils ont suivis les paramètres suivants:

- L'acidité du moût à l'aide d'un pH mètre;
- Le taux de sucre;
- Le degré alcoolique;
- La densité du milieu réactionnel;
- Teneur en protéines totales.

D. Distillation alcoolique

Dans cette étape, ils ont distillé le vin de dattes à une température de l'ordre de 78 °C afin d'extraire l'éthanol.

E. Analyses physicochimique de bioéthanol extrait

E.1. Détermination du pH : Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre sous agitation (Modèle Hanna 210) [46].

E.2. Détermination de la densité : ils Ont été pris 10 ml de jus de datte puis ils l'ont pesé à l'aide d'une balance électronique de précision. Pour prendre son poids, l'opération est répété plusieurs fois, le rapport (m/v) est noté, la moyenne est pris comme résultat final.

E.3. Dosage du degré alcoolique : Le dosage du degré alcoolique au cours de la fermentation a été effectué par aérométrie. La méthode consiste à distiller le jus alcoolisé, puis mesurer à la température ambiante le degré alcoolique du distillat à l'aide d'un alcoomètre (gradué de 0 à 100°) [44].

E.4. Dosage des sucres totaux (Méthode de Dubois, 1956) : pour déterminer la concentration des sucres (oses totaux) dans le produit, ils ont utilisé la méthode de Dubois comme dans le premier.

Oses → dérivés furfuraliques milieu acide → composés colorés phénol.

La formation des chromophores de couleur jaune-orange. Leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 490 nm [47]. La teneur des sucres est exprimée en µg/ml converti en g/l.

III.2.3. Méthode d'extraction utilisé par Boulal Ahmed et al à l'Université Ahmed Draia-Adrar

Dans la référence [48] : ils ont suivi le même protocole qu'il est utilisé par le premier et le deuxième travail. Les étapes sont citées dans le paragraphe ci-dessous.

A. Préparation de moût de dattes

✓ Les mêmes étapes expliquées dans le **paragraphe III.2.2**, la seule différence est le poids des dattes qui a été fixé à 300 g.

B. Procédé de fermentation

Le bioréacteur a été plongé dans un bain-marie d'une température est maintenue à $30 \pm 2^\circ\text{C}$ comme dans [43]. La fermentation a été conduite en anaérobiose pendant 72 heures. Afin d'effectuer le suivi de l'évolution de la fermentation, ont été procédé chaque 24 h. à des prélèvements pour réaliser les analyses physicochimiques. A la fin de chaque temps, le mout est filtré puis distillé afin d'extraire l'éthanol. La température de distillation est de l'ordre de 78°C .

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé la méthodologie utilisé dans la partie expérimentale des trois travaux [20, 43, 44] effectués dans trois universités Algériennes dans le cadre des projets de fin d'étude. L'objectif commun visé par les trois travaux est de produire du bioéthanol à partir des dérivés de trois variétés différentes de dattes de moindre qualité. Ils ont le même substrat favorable qui est riche en sucre. Les dattes sont facilement biodégradables. Le procédé la fermentation alcoolique en présence de la levure « *Saccharomyces cerevisiae* » a été choisi par les travaux parce qu'il est le plus rentable.

Chapitre IV:

**Discussion des résultats de
mesures poste-expérimentales**

Chapitre IV: Discussion des résultats de mesures poste-expérimentales

IV.1. Introduction

Dans le **chapitre 3**, nous avons présenté les méthodologies d'extraction de bioéthanol issue de trois variétés des dattes Algériennes. Dans les trois travaux, ils ont caractérisé la fiabilité de production de bioéthanol en effectuant des mesures poste-expérimentales pour tracer des courbes d'étalonnage des différents paramètres telles que la concentration du sucres totaux, le ph, le degré alcoolique et les différents caractères physico-chimiques et biochimiques. Dans ce chapitre nous allons exposés les résultats d'étalonnage des trois travaux.

IV.2. Discussion des résultats obtenus par [20] (université de Annaba)

Nous commençons par les résultats des analyses des mouts de dattes pendant la fermentation alcoolique. Les résultats des analyses physicochimiques du moût des dattes qui a été produit, sont présentés dans les paragraphes ci-dessous.

IV.2.1. Courbes d'étalonnage

A. Dosage du glucose par spectrophotométrie UV-vis

Le processus de fermentation alcoolique est la conversion de micro-organismes des sucres complexes présents dans les dattes en sucres simple (glucose, fructose). C'est pour cela le chercheur doit connaître la quantité de glucose dans les substrats utilisés, au préalable établir une courbe d'étalonnage qui était fait à une longueur d'onde de 488 nm en utilisant des solutions étalons à différentes concentrations en glucose (0, 2, 4, 6, 8 et 10 mg/L). La mesure de l'absorbance s'était effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre. Elle représente la variation de l'absorbance en fonction de la concentration du glucose. En analysant la courbe de la **figure IV.1**, nous remarquons qu'elle est linéaire dans le domaine des concentrations choisies et le coefficient de détermination est de 0,997. Donc, on peut conclure que le domaine de validité des analyses de glucose correspond donc à des concentrations de sucre inférieures à 10 mg/L.

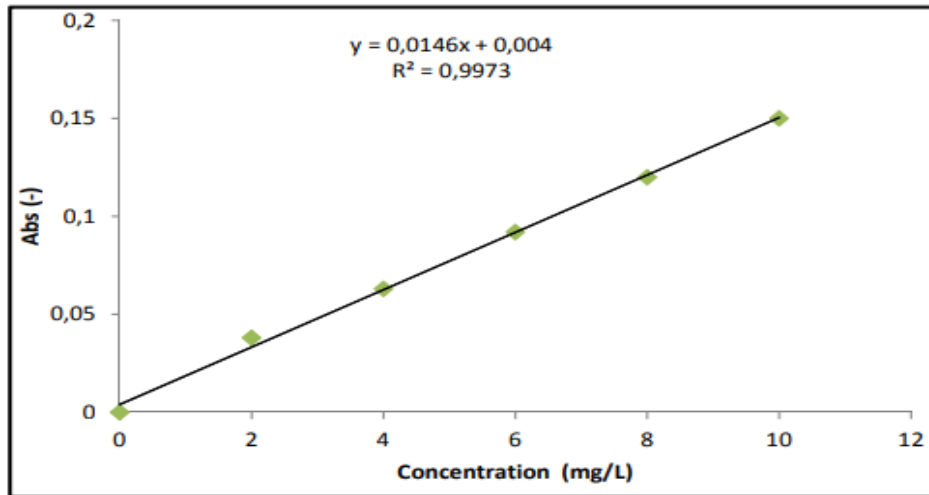


Figure IV.1 : Courbe d'étalonnage du glucose obtenu à une longueur d'onde ($\lambda=488$ nm).
[20].

B. La Densité cellulaire (Quantité de biomasse)

Pour mesurer des concentrations en biomasse, la courbe d'étalonnage représentant la densité optique (ou absorbance) en fonction du nombre de cellules de microorganismes présents dans un volume déterminé. Cette concentration en biomasse est exprimée en cellules/ μ L. Les mesures de [20] sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis à la longueur d'onde de 600 nm. Suite à la courbe d'étalonnage illustré par la **Figure IV.2** trouvé par la référence « **Chniti et al.** » on peut remarquer que cette courbe est linéaire jusqu'à la limite de 6 kcell/ μ L; son coefficient de détermination est égale à 0,994 [49].

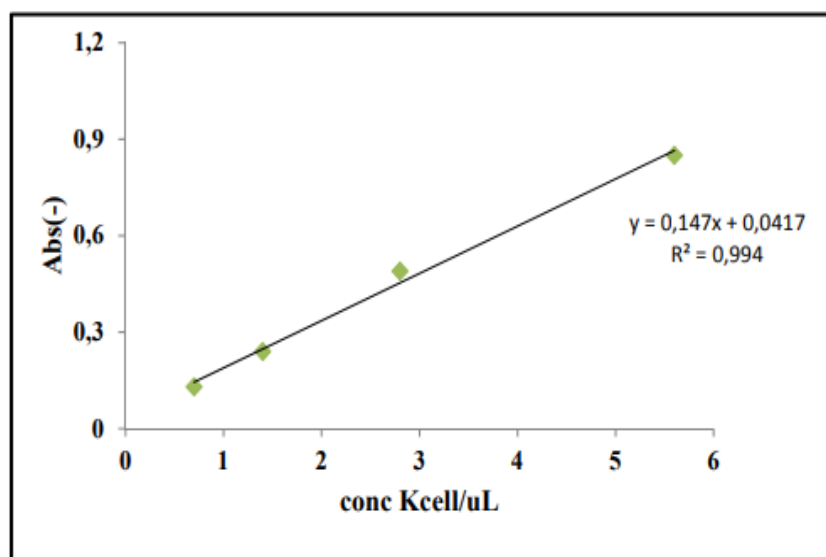


Figure IV.2 : Courbe d'étalonnage de la concentration de cellules de levure ($\lambda=600$ nm) [20].

C. Caractérisation physicochimique des moûts de dattes avant fermentation

Le jus de dattes est un produit sirupeux de couleur marron foncé à brun, riche en sucre. Les sucres sont les constituants les plus importants dans les dattes. Les auteurs [46-50] s'accordent sur le fait que les sucres de dattes varient en fonction de la variété considérée, du climat et du stade de maturation. Les résultats rapportés par différents auteurs dépendent en partie de la méthode utilisée. Néanmoins, tous les chercheurs conviennent que les teneurs en sucres totaux des dattes sont de l'ordre de 50 à 65 %. Pour substrat du jus de dattes (moût de dattes), de la première étude [20] extrait suite au prétraitement expliqué dans le **paragraphe III.2.1** du **chapitre III**, ils ont utilisé deux jus tels que :

- 1^{er} jus : Moût de dattes concentré avec un Brix = 22,2
- 2^{ème} jus : Moût de dattes dilué : Brix = 12,0

Les résultats de mesure de certaines propriétés physicochimiques des 2 jus sont donnés dans le **Tableau IV.1** [20].

Le pH du jus de dattes concentré est de 6,3; la dilution de ce jus a fait baissé ce pH jusqu'à 4,1. Cette valeur est bénéfique, elle est très proche à la valeur optimale du pH qui convient bien à la croissance et au métabolisme de la levure comme il a expliqué [51]. Un très léger abaissement de la densité du moût de dattes lorsqu'ils l'ont dilué. Cela résultant de l'inversion du saccharose par l'invertase au cours de la maturation de la datte en fructose. Les résultats sont presque similaires à ceux obtenu par **Zineb sayah et al** [12].

Tableau IV.1 : Caractéristiques physico-chimiques des jus de dattes avant fermentation.

Caractéristique physicochimique	Brix=22,1	Brix=12
PH	6.3	4.1
Densité à 20 °C	0.992	0.990
Indice de réfraction à 18 °C	1,3673	1,3361
Couleur	Marron foncé	Marron clair

D. Fermentation alcoolique

D.1. Aspect morphologique de la souche de levures : Par la **figure IV.3**, [20] montre que l'aspect morphologique de la levure « *S. cerevisiae* » représente des cellules arrondies, plus

ou moins ovalaires. Elles ont la forme d'un ellipsoïde de révolution dont le grand axe atteint une longueur variant entre 5 et 8 μm .

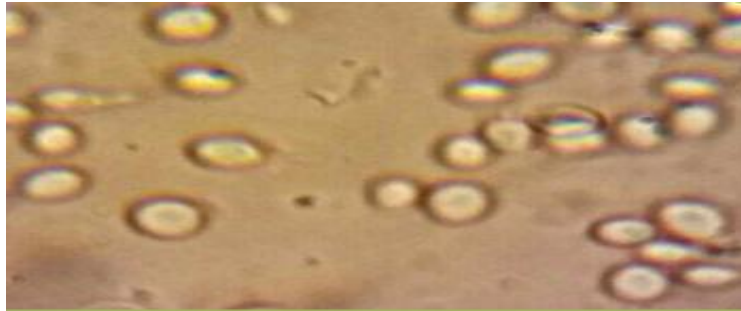


Figure IV. 3 : Aspect morphologique de la souche *S. cerevisiae* utilisée dans [20].

D.2. Déroulement de la fermentation

Premières observations en présence du jus de dattes : en remarquant la **figure IV.4** représente les levures cultivées dans un moût de dattes concentré, [20] a été observé un bon développement de mousse et un grand dégagement de CO_2 . Juste après 3 h de fermentation, elle a pu remarquer une mousse plus épaisse, qui a tendance à s'épaissir encore plus avec le temps. Après un jour de fermentation, [20] a constaté un très bon développement de microorganismes, signe d'une grande croissance. Les levures se dispersent aussi bien au fond qu'à la surface du bioréacteur en formant presque une pâte (pâte levurienne). Le jus de datte représente un milieu favorable à la levure « *S. cerevisiae* » ; il contient donc les éléments nutritifs nécessaires à une bonne croissance des champignons. Cependant, avec le temps, les nutriments s'épuisent (fermentation en milieu non renouvelé) et la croissance s'atténue. L'accumulation de substances toxiques, produits de la fermentation contribue aussi au ralentissement voir au déclin des microorganismes [20].



Figure IV.4 : Levures cultivées dans un moût de dattes concentré [20].

D.3. Suivi de la croissance de *S. cerevisiae* en présence du jus de dattes : La croissance des levures est suivie par mesure de la pression de CO₂ dégagé au cours de la fermentation. L'activité fermentaire des levures est également mesurée par la mesure du CO₂ dégagé. Les courbes de croissance de « *S. cerevisiae* » en présence des jus de dattes concentré et dilué sont illustrées par la **Figure IV.5** [20]. Les différentes phases de croissance:

- ✓ La durée de la phase de latence est de 30 min; ce temps est nécessaire aux levures pour s'adapter au milieu dans lequel elle se trouve.
- ✓ La phase exponentielle démarre alors pour durer jusqu'à 250 min pour le jus concentré (Brix = 22,2) elle qu'elle dure jusqu'à 500 min pour le jus dilué (Brix = 12).
- ✓ Les phases stationnaires sont alors enregistrées dans les deux cas. Malgré que le jus de dattes concentré contienne une quantité de sucre beaucoup plus importante que celle du jus dilué, la croissance de « *S. cerevisiae* » est meilleure dans le jus dilué; ceci peut s'expliquer par une intolérance aux grandes concentrations de sucres qui se manifeste par un ralentissement accompagné surement d'un déclin. Cet effet a été largement étudié et démontré dans divers travaux [52]. Il est alors intéressant de chercher la concentration optimale en sucres (Brix optimal) qui donnerait la meilleure croissance des levures, en particulier la souche « *S. cerevisiae* ».

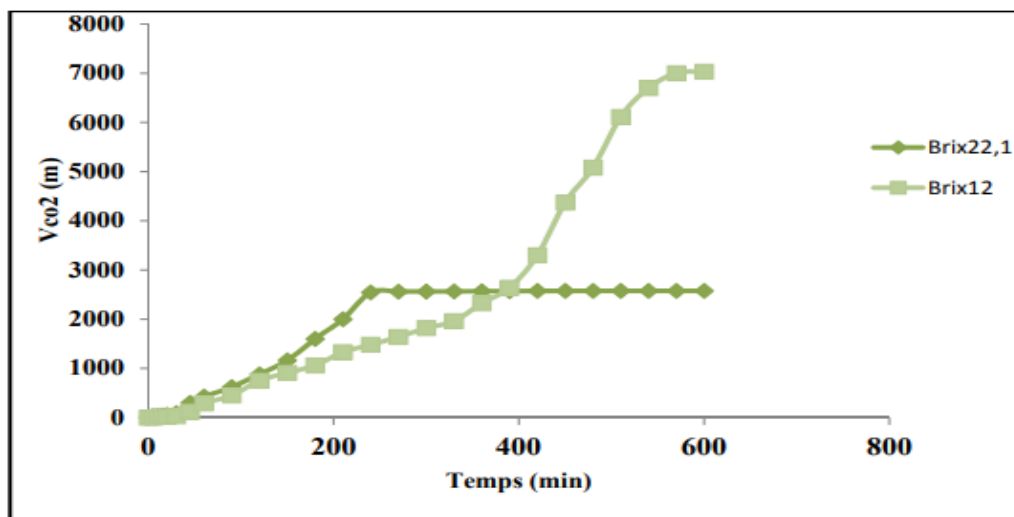


Figure IV.5 : Courbes de croissance de *S. cerevisiae* pour les jus de dattes à différentes valeurs de Brix [20].

D.4. Détermination des paramètres de croissance : Dans les travaux étudiés, ils ont montré que les paramètres de croissance qui peuvent être déterminés suite aux différentes manipulations sont : la vitesse maximale de croissance (U_{max}) et le temps de génération ($t_{1/2}$). La vitesse maximale de croissance mesure l'accroissement de la population microbienne au cours de la phase exponentielle et ce dans des conditions définies dans [20]. U_{max} est égale à la pente de la droite représentant la fonction $\text{Log}V_{CO_2} = f(t)$. Les courbes donnant cette fonction pour les deux types de jus de dattes sont illustrées par la **Figure IV.6**. Nous remarquons que les deux courbes sont linéaires avec des coefficients de détermination proches de l'unité. Une fois les vitesses U_{max} calculées, le temps de génération (ou temps de doublement de la biomasse) est déduit en appliquant l'équation **Eq. IV.1**.

$$\mu = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad \text{Eq. (IV. 1)}$$

x : est la biomasse microbienne (g/L ou en nombre de cellules).

μ : a pour unité temps⁻¹

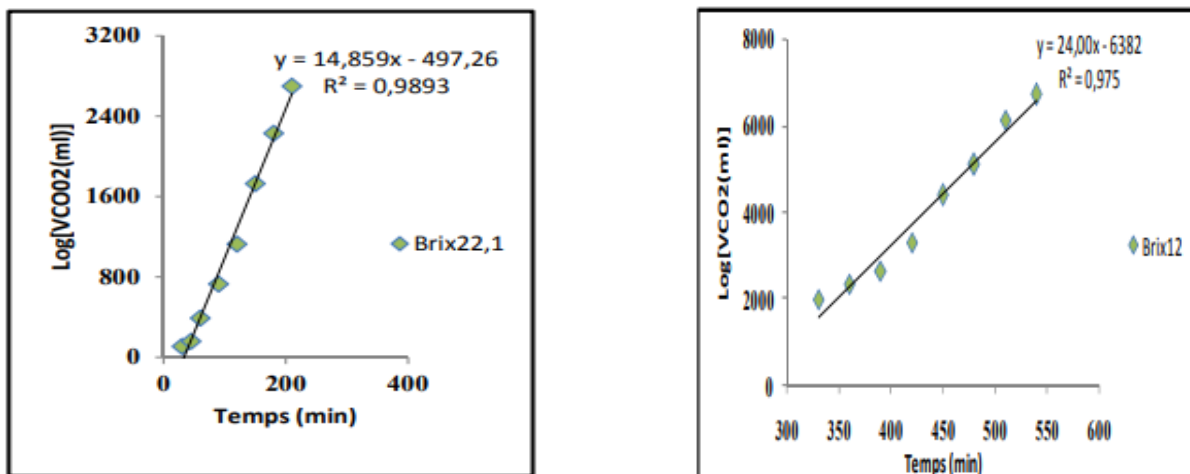


Figure IV.6 : Modélisation de la phase de croissance exponentielle pour « *S.cerevisiae* » Détermination des vitesses de croissance maximale pour les deux jus de datte concentré et dilué [20].

Les paramètres de croissance calculés sont résumés dans le **Tableau IV.2** [20].

Tableau IV.2 : Détermination des paramètres de croissance de « *S. cerevisiae* » pour les deux jus de datte concentré et dilué.

Nature du substrat	U_{max} (min ⁻¹)	R2 (l)	$t_{1/2}$ (min)
Moût de dattes concentré	14.85	0.989	0.05
Moût de dattes dilué	24	0.975	0.03

La vitesse maximale U_{max} du moût de datte dilué est la plus élevée et est égale à 24 min⁻¹. Par ailleurs, le mout de datte concentré conduit à une valeur faible égale à 14.85 min⁻¹ de la vitesse U_{max} . Ceci veut dire que la souche de levures « *S. cerevisiae* » s'adapte mieux et préfère comme substrat un moût de dattes dilué. La valeur du temps de génération qui est égal à 0,03 min pour le moût de datte dilué et 0.05 min pour le mout de datte concentré. Plus la valeur de $t_{1/2}$ est faible, plus les microorganismes se dédoublent facilement. Les résultats sont un peu différents de ceux reportés dans l'étude de **Bacha A et al**, qui rapportent une valeur de $t_{1/2}$ égale à 4h par rapport à une souche isolé dans un milieu naturel [53].

D.5. Caractérisation physicochimique et biochimique des produits de fermentation en présence du jus de dattes : Après la fermentation des jus de dattes, les produits (liquide + Biomasse) sont basés sur la séparation puis l'analyse. Le **Tableau IV.3** résume les valeurs des analyses de certains paramètres physicochimiques et biochimiques.

Tableau IV.3: Caractéristiques physicochimiques et biochimiques des produits de fermentation en présence des deux jus de datte [20].

Paramètre physicochimique	Jus concentré	Jus dilué
pH à 20 °C	4.7	3.9
Densité à 20 °C	0.992	0.965
Indice de réfraction à 18 °C	1.36	1.34
Couleur	Marron clair	Beige
Brix	19.5	4.5
Densité cellulaire (kcell/uL)	3.35	8.40
Matière sèches (g/L)	21.25	43.5

- Le pH du jus de dattes concentré est resté inchangé. Avec du jus dilué, on remarque une légère diminution du pH qui est donc dû à la production de certains acides organiques.
- La densité du liquide est également proche de l'unité (0,992-0,965).
- Il y a eu une dégradation dans la couleur du liquide beaucoup plus avec le jus de dattes dilué est beaucoup moins intense que le moût de dattes ayant servi à la fermentation. Cet effet est de la bonne marche de l'opération de fermentation.
- Pour le jus de dattes dilué, Il y a eu une grande diminution dans la valeur du Brix. Une bonne quantité de saccharose a pu être convertie en glucose.

- Le substrat dilué conduit à la plus grande concentration en matières sèches. les dattes constituent une matière première par excellence pour la croissance de « *S.Cerevisiae* » et donc probablement pour la production de bioéthanol. Ceci confirme le précédemment voir pour le résultat avec les courbes de croissance. Il faut également noter que le jus de dattes dilué convient mieux aux microorganismes ce qui appuie le résultat de l'intolérance de « *S. cerevisiae* » aux très grandes concentrations en sucres dans les milieux de culture.
- Le jus de dattes dilué représente la plus grande valeur de la densité cellulaire. une valeur de 8,40 kcell/uL ; cette mesure confirme le résultat trouvé avec les matières sèches à savoir le jus de dattes dilué constitue le meilleur substrat pour le développement des levures. Pendant
- Pendant la fermentation, [20] a observé une écume (mousse blanchâtre) très intense comparativement à celle formée avec le moût de dattes concentré **Figure IV.7**. le jus de dattes dilué devra donner la meilleure concentration et qualité du bioéthanol produit.



Figure IV. 7 : Ecume formée durant la fermentation des mouts de datte (a) Moût de dattes concentré (b) Moût de dattes dilué [20].

E. Résultats de l'analyse physicochimique du produit final (Bioéthanol)

De plus, ce produit a été réellement une odeur d'alcool piquante et est très inflammable. Pour les cinq échantillons d'alcool, la flamme est très intense, durable et rappelle celle qu'on obtient avec de l'essence.

Tableau IV.4 : Caractérisation du bioéthanol obtenu par distillation des différents jus de dattes concentré et dilué [20].

Substrat	Densité (/)	Volume (ml)	Concentration (g/L)	Odeur	Couleur
Jus de dattes concentré	0.86	36.4	78.2	Odeur d'alcool piquante	Liquide incolore
Jus de dattes dilué	0.88	42	92.4		

IV.3. Discussion des résultats obtenus par [44] (université de Ouargla)

IV.3.1 Résultats de l'analyse physicochimique au cours de la fermentation

Les résultats des analyses physicochimiques de moût de dattes qui a été produit à partir des variétés de dattes 'Tinaceur' et 'Aghmou', sont présentés comme suit:

A. Mesure de pH

La fermentation alcoolique, le métabolisme de la levure induit un changement perpétuel du milieu. Donc, la consommation des substrats carbonés et azotés s'accompagne de la production d'alcools. Parallèlement, l'observation d'une évolution du pH est représentée par la **figure IV.8**.

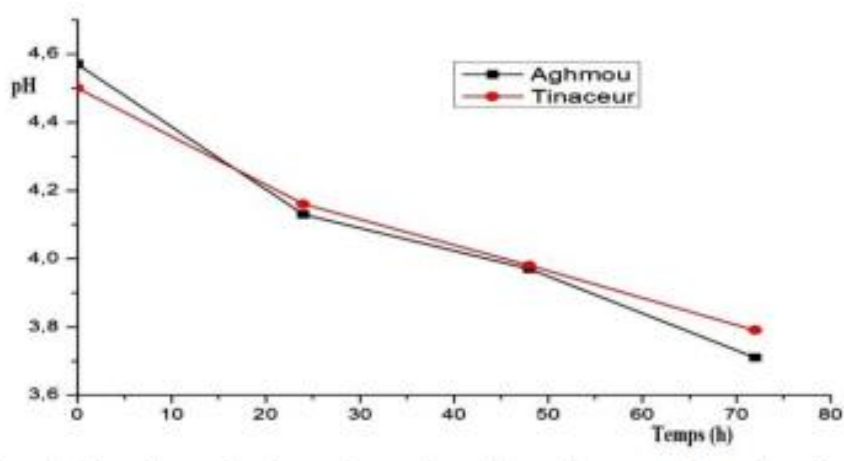


Figure IV.8 : Cinétique classique du pH lors d'une fermentation alcoolique [44].

L'évolution classique du pH présente une diminution du pH jusqu'à l'arrêt de la fermentation. Les composés du milieu pouvant exercer une influence sur le pH et l'évolution

de la composition du milieu au cours de la fermentation alcoolique pouvait modifier le pH. Les moûts de dattes ont un pH acide souvent lié à la présence d'acides organiques sont l'acide tartrique, l'acide malique et l'acide citrique. Au cours de la fermentation alcoolique, certains composés subissent très peu ou pas de changement. C'est le cas des acides organiques et des alcools sont produits par la levure. Afin de déterminer l'impact de chaque composant sur l'évolution du pH au cours de la fermentation alcoolique, des tests d'ajout de composés sont réalisés in vitro.

B. Densité

La **figure IV.9** montre une diminution remarquable de la densité au cours de la fermentation, qui peut être expliquée par la transformation du glucose en alcool et la perte de masse sous forme de CO₂ [54].

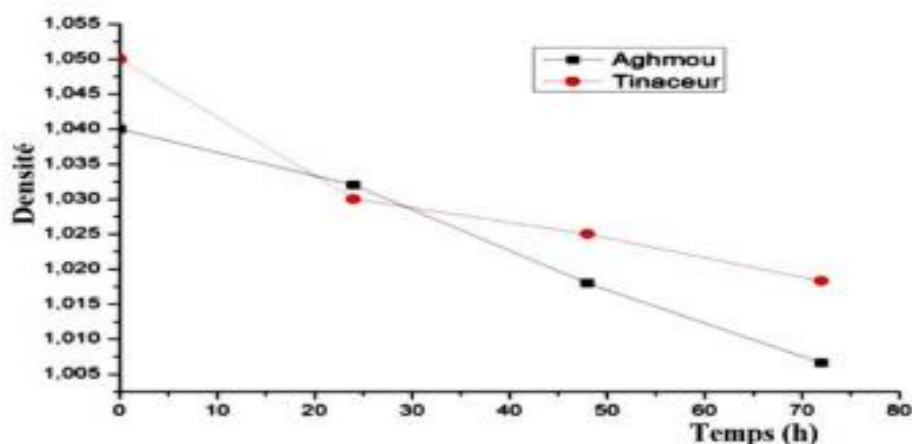


Figure IV.9 : Evolution de la densité en fonction du temps de fermentation [44].

C. Détermination de la teneur en sucres totaux (méthode de Dubois)

Les résultats des teneurs en sucres totaux sont mentionnés dans le **Tableau IV.5** [44].

Tableau IV.5 : Teneur en sucre totaux et saccharose des dattes.

Durée (h)	Sucres totaux (%)	
	Aghmou	Tinaceur
00 h	13	16.5
24 h	5.9	8.7
48 h	2	2.5
72 h	0.9	1.9

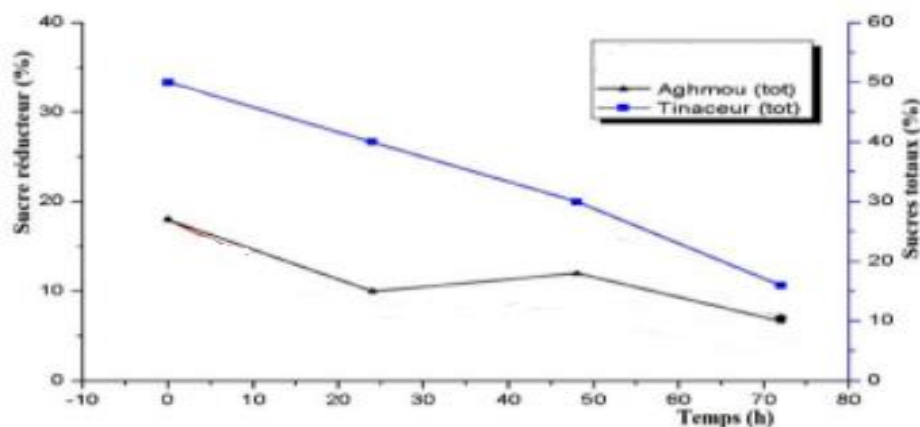


Figure IV.10 : Evolution du taux de sucre totaux au cours de la fermentation [44].

D'après la **figure IV.10**, le chercheur [44] a remarqué que :

- ✓ Les teneurs en sucres totaux des deux variétés de dattes varient entre 60 % à 13 % de **Tinaceur**, **Aghmou** est de 53 % à 10.5 %. Donc, La variété **Aghmou** est riche en sucre, avec une teneur de 51 %. La variété **Tinaceur** est moins sucrée (40%).
- ✓ Les teneurs en sucres totaux des deux variétés de dattes varient entre 60 % à 13 % de **Tinaceur**, **Aghmou** est de 53 % à 10.5 %. La variété **Aghmou** est riche en sucre, avec une teneur de 51 %. La variété **Tinaceur** est moins sucrée (40%).
- ✓ Ces différences peuvent être exploitées pour 72 heures de fermentation des moûts, une importante dégradation du sucre est révélée, cette transformation était active durant les premières 48 heures surtout entre 24 et 48 heures par contre la production d'alcool augmente durant les dernières 48 heures de la fermentation.
- ✓ **Elokidi (1987)** a évoqué un temps de fermentation entre 36 et 72 heures. L'évolution du degré d'alcool durant la fermentation montre que la cinétique de la production d'alcool est proportionnelle au taux de sucre contenu dans les dattes [55].

D. Résultats de l'analyse physicochimique du produit final

Les résultats des analyses physicochimiques de bioéthanol de dattes extrait par [44] et produit à partir des deux variétés de dattes **Aghmou** et **Tinaceur**, sont représentés dans le **TableauIV.6**. Après plusieurs mesures effectués par [44], ils ont découvert que la variété **Tinaceur** est plus intéressante du point de vue « rendement » par rapport à l'autre variété

Aghmou. Entre temps, ils ont déclaré que le bioéthanol obtenu est conforme aux normes internationales.

Tableau IV.6 : Valeurs moyennes de quelques paramètres physico-chimiques des deux variétés de dattes communes.

Valeurs moyennes des paramètres	Aghmou	Tinaceur
Densité	0.83	0.8
Degré d'alcool (1ère distillation)	48°	52°
Degré d'alcool (rectification)	93°	93°
Indice de réfraction	1.361	1.361
pH	5.85	5.65
Rendement	50%	65%

IV.4 Discussion des résultats obtenus par [48] (université d'Adrar)

Les résultats des analyses physicochimiques du moût des déchets de dattes qui a été produit à partir des deux variétés **Takarbouchet** et **Mech-Degla**, sont pris à partir de la référence [48].

IV.4.1 Résultats des analyses des mouts de dattes pendant la fermentation alcoolique

A. Mesure de pH

Le pH du milieu de production est initialement ajusté à 4,5. Au cours de la fermentation alcoolique, le métabolisme de la levure induit un changement perpétuel du milieu. Ainsi la consommation des substrats carbonés et azotés s'accompagne de la production de métabolites alcools. Une diminution assez importante du pH, est observée au cours de la fermentation pour les deux variétés. Cet abaissement est probablement dû dans un premier lieu à la diffusion des acides organiques contenus dans le mout de datte sont l'acide tartrique, l'acide malique et l'acide citrique. Ensuite vient le rôle des acides et alcools métabolisés par la levure présents dans le mout; mais aussi au CO₂ produit qui se dissout dans le milieu et qui contribue à l'acidification du milieu **figure IV.11**.

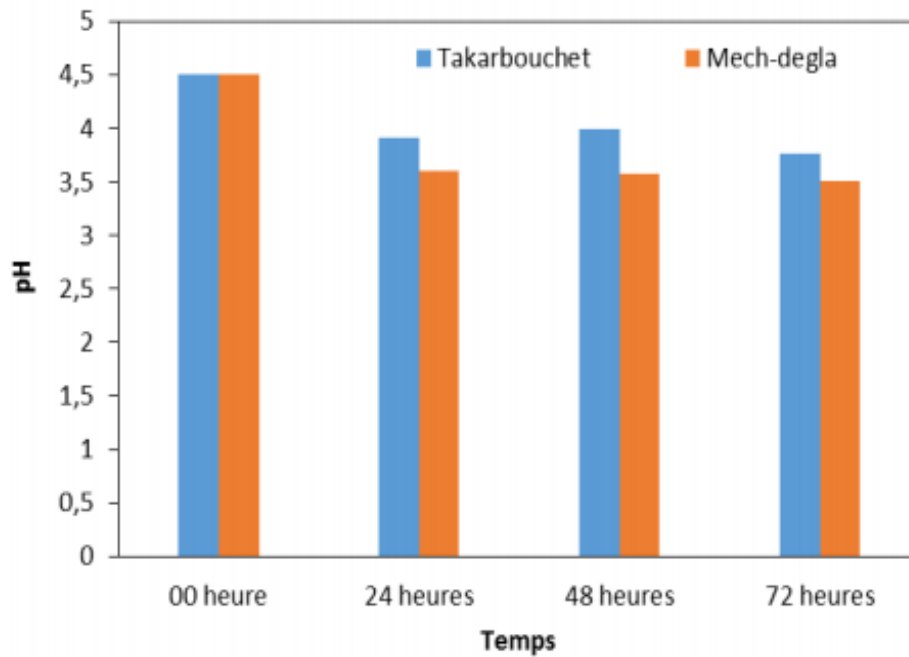


Figure IV.11 : Evolution du pH des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique [48].

B. Mesure de la densité

Suite à la **figure IV.12** de la référence [48], on remarque qu'au cours du temps, la densité montre une légère diminution due à la transformation du glucose en alcool et à la perte de masse sous forme de CO₂ [54].

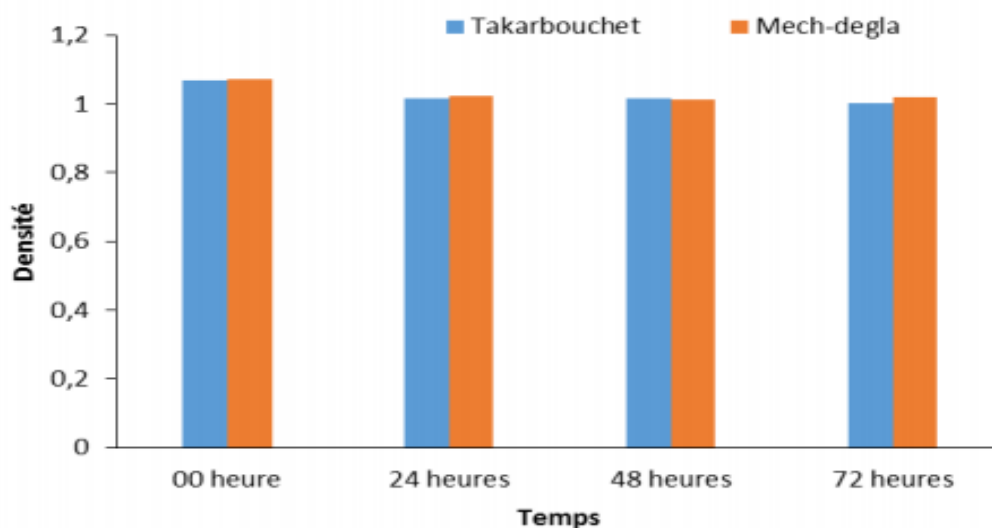


Figure IV.12 : Evolution de la densité des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique [48].

C. Dosage du degré alcoolique

La production d'éthanol augmente progressivement au cours de la fermentation pour les deux variétés cités au début du paragraphe précédent. Ils ont été remarqués que la cinétique de production d'alcool brut pour la variété **Takarbouchet** est meilleure par rapport à celle de **MechDegla**. Les degrés alcooliques obtenus, à la fin de la fermentation, sont de 79° et 65° respectivement pour les deux variétés.

L'évolution du degré d'alcool durant la fermentation montre que la cinétique de la production d'alcool est liée au taux de sucre contenu dans les dattes. Leurs résultats se rapprochent toutefois de ceux rapportés par [50] puisqu'ils sont compris entre 60 et 80 % comme le montre la **figure IV.13**.

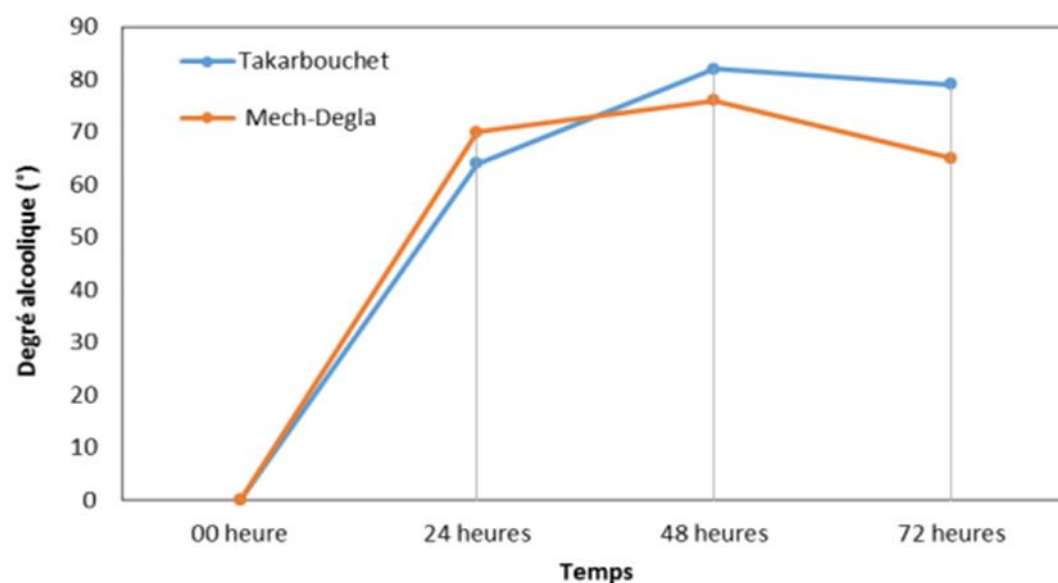


Figure IV.13 : Evolution du degré alcoolique des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation et après distillation [48].

D. Détermination de la teneur des sucres totaux

D'après la **figure IV.14**, ils ont été remarqués que les teneurs en sucres totaux des rebuts des deux variétés de datte au cours de la fermentation alcoolique diminuent de 37,5 à 8% pour la variété **Takarbouchet** et de 41,5 à 1 % pour **Mech-Degla**. Les différences peuvent être exploitées pour 72 heures de fermentation des moûts, une importante dégradation des sucres est révélée, cette transformation était active durant les premières 24 heures. Cette activité est accompagnée par la production d'alcool jusqu'à 48 heures [48].

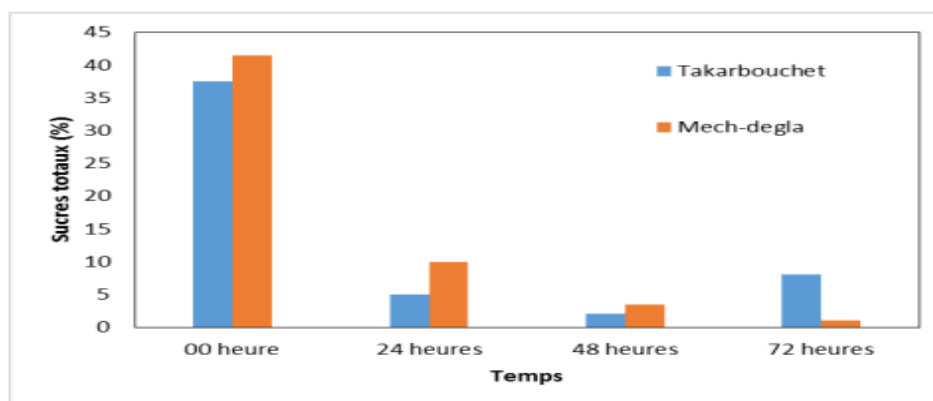


Figure IV.14 : Evolution des sucres totaux des rebuts des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique [48].

IV.4.2 Résultats de l'analyse physicochimique du produit final (Bioéthanol)

D'après les résultats obtenus par [48], on peut dire que le bioéthanol produit est conforme aux normes internationales **INRS, 1997**. Les analyses physicochimiques du bioéthanol produit à partir des dattes ont été représentés dans le **Tableau IV.7**. Ce tableau montre que la variété **Takarbouchet** est plus intéressante de points de vue du rendement par rapport à l'autre variété **Mech-degla**.

Tableau IV.7 : Résultats des analyses physicochimiques du bioéthanol produit au laboratoire (produit final) [48].

Paramètres	Takarbouchet	Mech-degla
pH	5.93	7.15
Densité	0.877	0.838
Degré alcoolique (1ière distillation)	60°	78°
Degré alcoolique (rectification)	84°	81°
Indice de réfraction	1,3642	1,3638
Rendement	23,33	13,66

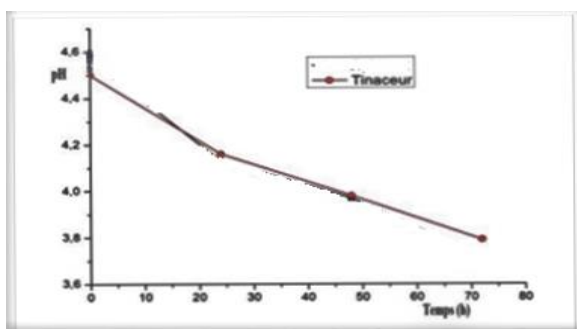
IV.5. Etude comparative des différents substrats utilisés avec « *S. cerevisiae* »

IV.5.1 Mesure de PH

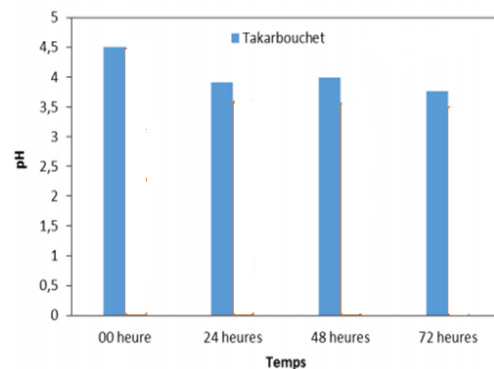
Le procédé de fermentation en vue de produire du bioéthanol à partir de différents substrats issus des dattes. Le pH est un facteur plus important pour le processus de méthanisation, il donne une idée sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu, en outre, les microorganismes ne peuvent se développer (fonctionner) que dans une plage spécifique de pH. Parmi ces trois substrats le jus le plus acide est le jus de datte dilué. Ce pH acide préjudiciable au développement des bactéries s'avère propice à la prolifération des levures [41] (figure IV.15).

Tableau IV.8 : Résultat de mesure de PH des trois différents substrats des dattes [20-44-48].

Les substrats	PH
Jus de dattes dilué	4.1
Jus de Tinaceur	5.65
Jus de Takarbouchet	5.93



a)



b)

Figure IV.15 : Evolution du pH des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique (a) **Tinaceur** et (b) **Takarouchet**.

IV.5.2 Mesure de la densité

Dans ces cas, La première remarque qu'on peut donner est que le bioéthanol a été obtenu dans les trois cas il y a deux jus (jus de dattes dilué et jus de **Takarbouchet**) à une densité de 0,85-0,88 qui est très proche de la valeur de l'éthanol donné dans la littérature.

Tableau IV.9 : Résultat de mesure de densité des trois différents substrats des dattes [20-44-48].

Les substrats	densité
Jus de dattes dilué	0.88
Jus de Tinaceur	0.8
Jus de Takarbouchet	0.877

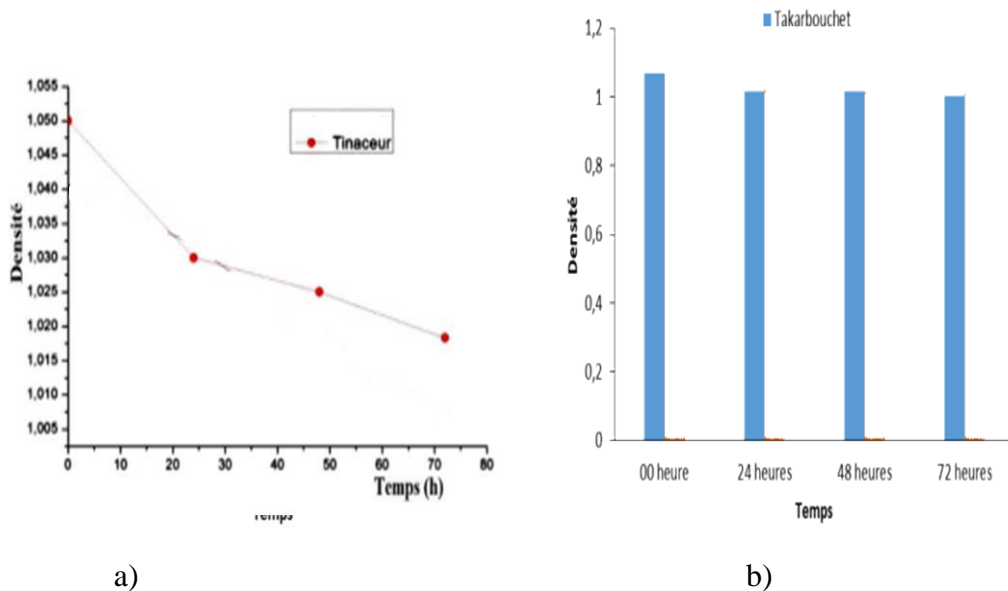


Figure IV.16 : Evolution de la densité des deux variétés de dattes au cours de la fermentation alcoolique (a) Tinaceur et (b) Takarbouchet [44-48].

IV.5.3 Détermination de la teneur des sucres totaux

Le sucre est diminué dans le (a) et (b) mais n'a pas été consommé totalement par la levure, cela peut être dû à l'arrêt de la croissance du *Saccharomyces cerevisiae* par accumulation des substances toxiques [56], ce qui indique que les acides gras, formés par les levures à la concentration de quelques milligrammes par litre, deviennent toxique pour cette dernière, aussi l'effet glucose et l'alcool dans le milieu devient inhibiteur **figure IV.17**.

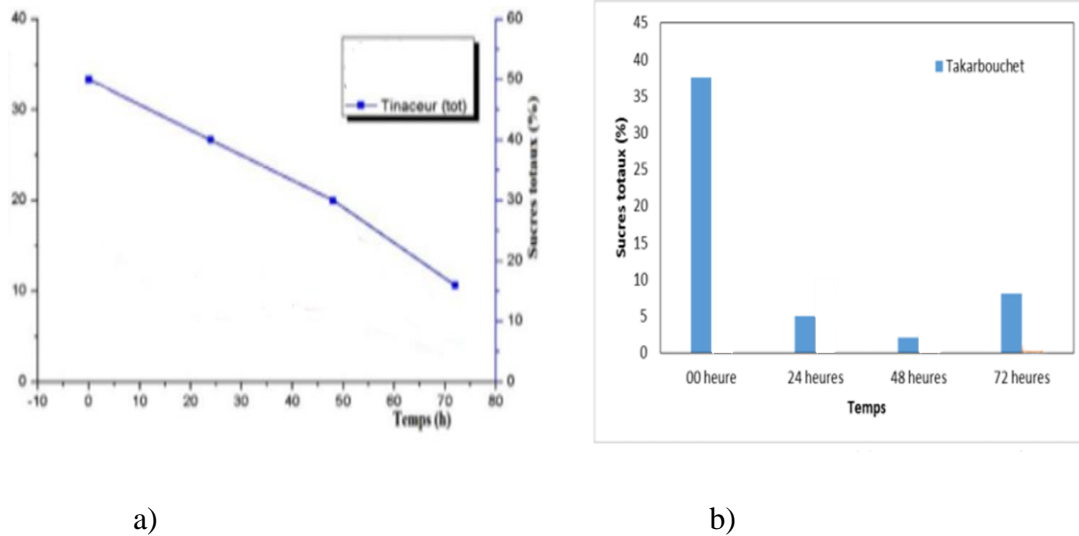


Figure IV.17 : Evolution du taux de sucre totaux au cours de la fermentation [44-48].

IV.5.4 Résultats de l'analyse physicochimique du produit final (Bioéthanol)

En regardant le **tableau IV.4**, le **tableau IV.6** et le **tableau IV.7**, on peut constater que la quantité de matière première n'est pas égale. Par conséquent, nous trouvons que le rendement en éthanol pour 1 kg de **Tinaceur** nous donne un pourcentage de 65%, et à partir de 300 g de **Takarbouchet**, un pourcentage de 23,33% a été extrait maintenant à partir de la proportionnel on trouve 1 kg de **Takarbouchet** donne 77.76% , et le jus de datte dilué donne une quantité de 42 ml de 500 ml de jus que signifie 8.4% c'est-à-dire en 1L de jus de datte dilué on trouve 16.8% et dans ce dernier nous trouvons Les caractéristiques physico-chimiques des produits obtenus sont conformes aux normes internationales, en plus ils présentent l'avantage d'être des produits 100 % bio, respecte l'environnement et ne porte pas atteinte à l'écologie.



Figure IV.18 : Flamme a été obtenue à partir de jus de dattes dilué après la Combustion du bioéthanol (univ Annaba) [20].



Figure IV.19 : Bioéthanol produit à partir de datte Takarbouchet (univ Adrar) [48].

IV.6. Conclusion

Les dattes communes de faible valeur marchande demeurent un substrat de choix pour fabrication du bioéthanol. Dans ce chapitre nous avons montré en détaille les résultats d'analyse physicochimique de trois variétés de dattes algériennes pour trouver lequel le mieux rentable dans la production du bioéthanol. L'objectif principal visé par les trois travaux est la sélection de la variété qui a un grand rendement du bioéthanol en utilisant la levure « *Saccharomyces cerevisiae* ». Ces résultats montrent que le produit obtenu à partir de **Takarbouchet** de 77.76% le plus grand. Il peut présenter l'avantage d'être 100 % bio, et aussi respectueux de l'environnement.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

L'utilisation de la biomasse pour produire du bioéthanol est aujourd'hui largement utilisée grâce aux nombreux bienfaits et surtout qu'il est peut être la solution du demain pour réduire la dépendance énergétique et baisser l'impact négatif des énergies fossiles sur l'environnement. Concernant la première génération, de plus en plus de pays utilisent cette technologie, bien qu'elle soit en fin de vie à cause de sa concurrence directe avec le secteur alimentaire. Cette première génération a été indispensable pour développer la deuxième génération de bioéthanol. Cette dernière est plus fiable, mais reste néanmoins encore en concurrence, par rapport au secteur agricole notamment pour l'utilisation de terre potentiellement disponible pour l'élevage.

L'objectif principal du présent projet de fin d'étude était la production de bioéthanol à partir des ressources d'agriculture de deuxième génération dont les dattes Algériennes de moindre qualité. Notre projet a été commencé le mois de Mars en collaboration avec le centre de développement des énergies renouvelable CDER-Bouzareaa, mais malheureusement à cause du confinement lié à la pandémie COVID 19, la partie expérimental a été annulée. Notre travail était converti en une étude théorique détaillée des techniques d'extraction de bioéthanol issus de plusieurs variétés des dattes Algériennes.

L'acquis fondamental de ce travail correspondait à l'exploitation du système micro-organisme/substrats pour l'analyse d'une filière développée à partir de la ressource agricole « les dattes » qui se base sur la fermentation alcoolique en utilisant de la levure «*S. cerevisiae*».

D'après les recherches que nous avons effectué en étudiants les méthodologies utilisés dans trois universités Algériennes, nous avons pu montrer la capacité de la souche de levure, *S. cerevisiae* à fermenter le glucose en bioéthanol avec un grand dégagement de CO₂ susceptible d'être valorisé. Les moûts de dattes utilisés dans les différents travaux étudiés, constituaient un milieu de culture par excellence pour *S. cerevisiae*.. Donc, on a pu confirmer qu'il était possible de réussir un procédé de fermentation optimal avec une bonne productivité en alcool. Dans les trois travaux expérimentaux ils ont obtenu un bioéthanol de bonne qualité (volatil, inflammable, limpide et possédant une odeur piquante, leurs résultats permettent d'envisager des études plus approfondies pour la mise au point d'un procédé de valorisation de milliers de tonnes de biomasse produite par les industries agroalimentaires.

Conclusion générale et perspectives

Pour améliorer les techniques de production à l'avenir, plusieurs solutions peuvent être apportées aux problématiques liées au bioéthanol. Concernant la première génération, la séparation du sucre et des protéines pourrait être une solution pour contrer la concurrence à l'alimentation. Il serait alors judicieux de créer un processus qui permet de séparer les sucres pour en produire des bioéthanol et les protéines pour qu'ils soient utilisés dans le secteur de l'alimentaire.

Les nombreuses perspectives qu'on peut citer suite à notre étude sont :

- Une étude plus approfondie des caractéristiques physicochimiques et biologiques des jus extraits de divers résidus agricoles;
- Une optimisation du milieu de fermentation en déterminant les concentrations optimales du pH et des sucres;
- L'isolement d'autres microorganismes plus performants capables de d'hydrolyser et fermenter simultanément le saccharose sans passer par un traitement préliminaire afin de diminuer le coût du procédé ;

Une analyse et séparation complètes des produits de fermentation afin de pouvoir récupérer les composés à valeur ajoutée synthétisés avec le bioéthanol ;Enfin, penser à produire du bioéthanol de troisième génération issu de micro-algues qui sont des ressources renouvelables à l'échelle de la vie humaine sans oublier bien sûr l'inconvénient des coûts de production de ce type de bioéthanol qui restent très élevés.

Références bibliographiques

- [1] https://sites.google.com/site/tpebioethanolavenir05/II--Domaines_d_utilisation
- [2] Algérie Presse Service. Le 30/Juillet/2018
- [3] Le Maghreb. Le 03/Décembre/2019.
- [4] Algérie Presse Service. Le 26/Août/2019
- [5] Matallah Med Assed Allah. (2004). Contribution à l'étude de la conservation des dattes de la variété Deglet-Nour : Isotherme d'adsorption et de désorption.
- [6] Bouguedoura. N. (1991). Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier. Etude in situ et in vitro du développement morphogénétiques des appareils végétatifs et reproducteurs. Thèse de doctorat. U.S.T.H.B., ALGER, 201p.
- [7] Bezghouche. S et Selatnia. Y. (2013). Contribution à l'étude de quelques caractéristiques physicochimiques et organoleptiques de quelques variétés de dattes Algériennes. Mémoire master. Université 08 mai 1945-Guelma.
- [8] DUBOST D. (1991). Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse de doctorat, université de Tours, France.
- [9] CRSTRA, (2011). Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides 2011
- [10] BELGUEDJ M, 2002
- [11] CRSTRA, (2014). Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides – Omar El Bernaoui. Quelques variétés de dattes Algériennes atout économique, social et nutritionnel.
- [12] Sayah. Z. Didi Ould El Hadj. M. (2010). Etude comparative des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des dattes de la cuvette d'Ouargla. Revue. Annales des Sciences et Technologie Vol. 2, N° 1, Juin 2010.
- [13] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse>
- [14] <http://www.bioenergytrade.org/downloads/t40-large-industrial-biomass-users.pdf>
- [15] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page

Références bibliographiques

- [16] <https://www.bioenergie-promotion.fr/40806/la-biomasse-fait-son-entree-dans-les-objectifs-energetiques-de-lalgerie/>
- [17] Mehani. I, Bouchekima. B. (2015). Valorization of Waste Dates in South Algeria: Biofuel Production. Revue. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical and Molecular Engineering Vol: 9, No: 9, 2015
- [18] Bounoua. F. (2017). Mémoire de master Production de bioéthanol à partir des déchets de l'industrie de transformation de pomme de terre. Université M'Hamed Bougara Boumerdès.
- [19] CNTTP. (2017). Centre National des Technologies de Production plus Propre. Les énergies renouvelables, Une priorité nationale Une priorité nationale, portail.cder.dz <https://challenge-cder.dz/news/2019/02/17/le-mix-energetique/>
- [20] Fennouche. I. (2017). Production de bioéthanol à partir de résidus d'agriculture. Mémoire master. Université BADJI MOKHTAR-ANNABA.
- [21] Paillet F., Taillades G., 2013. Les biocarburants, recherche scientifique. Université Montpellier 2, France.
- [22] https://www.substitution-cmr.fr/index.php?id=111&tx_kleesubstitution_pi3%5BCMR%5D=3&tx_kleesubstitution_pi3%5Bfiche%5D=59&tx_kleesubstitution_pi3%5Bdonnee%5D=175&tx_kleesubstitution_pi3%5Bonglet%5D=2&cHash=66c73703d2&backPid=110&home=18
- [23] DOWSON V. H. M., et ATEN A. (1963). Récolte et conditionnement des dattes. Collection F.A.O. Rome, cahier n°72.
- [24] CHNITI. S. (2015), «Optimisation de la bio production d'éthanol par valorisation des refus de l'industrie de conditionnement des dattes», thèse de doctorat, Université de RENNES 1,2015.
- [25] BOULAL. A. (2017). Contribution à l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (Btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. Thèse de doctorat. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, 2017.
- [26] ACOURENE. S. (2013). Valorisation biotechnologique des dattes de faible valeur marchande par la production de la levure boulangère, éthanol, acide citrique et α amylase. Thèse de doctorat. Ecole nationale supérieure d'agronomie El-Harrach Alger, 2013.

Références bibliographiques

- [27] Djida TAFOUKT-BOULOUS. (2016). Suivi de réactions biochimiques par calorimétrie en vue de la production de biocarburant de 2ème génération. Thèse de doctorat. Université AIX-Marseille Ecole Doctorale Sciences de L'Environnement. 2016.
- [28] Sadi. M. (2012) Le bioéthanol : une véritable alternative pour une énergie propre. Revue Recherche et Développement N° 25. 2012.
- [29] La presse. Le 24 Novembre 2008.
<https://www.lapresse.ca/environnement/dossiers/energies-vertes/200811/24/01-803830-creer-du-bioethanol-a-partir-de-dattes.php>
- [30] <https://www.agroligne.com/news-entreprises/15642-du-bioethanol-a-base-de-dattes-en-algerie.html>
- [31] <file:///C:/Users/Hp/Downloads/Documents/De-voordelen-van-bio-ethanol.pdf>.
- [32] <https://www.assurancesclavel.com/actualites/avantages-et-inconvenients-du-bioethanol/>.
- [33] <https://docplayer.fr/docs-images/82/84760130/images/24-0.jpg>.
- [34] <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcR1n5EUQzKxhTac2CGZAYSXowT2qPER61ZIA&usqp=CAU>
- [35] https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRHMESeONkn_vTIhb7KzLzPsR4LO5Tdbw1zw&usqp=CAU.
- [36] Delamette, 2004.
- [37] 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. 1997.
- [38] <http://droguet-sebastien.e-monsite.com/pages/activites-technologiques-1ere-2015-2016/at18-conditions-de-croissance-optimales-de-s-cerevisiae.html>.
- [39] Novak. M. H. (2004). Valorisations non alimentaires des coproduits de la transformation de la Betterave sucrière. Etude menée par la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux pour le compte de ValBiom, avec le soutien du Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture. 2004

Références bibliographiques

- [40] <https://www.lesfruitsetlegumesfrais.com/fruits-legumes/fruits-exotiques-et-tropicaux/datte/nutritions-et-bienfaits>.
- [41] Ould El Hadj. M., Cheick M., Hamdi W., Sayah Z., Bouaziz S. (2012). Étude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (dégela Beida, tacherwit et hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette d'Ouargla (Sahara septentrional est algérien).revue Algerian journal of arid environment, Vol. 2, n° 2.
- [42] Benaouida K. (2008).étude de l'alpha amylase de levures isolées d'un écosystème extrême (sol environnant des sources thermales) et cultivées dans un milieu à base de lactosérum. Mémoire de magistère. Université Mentouri Constantine. Algérie.
- [43] A. Boulal, B. Benali, M. Moulay et A. Touzi. (2010). 'Transformation des Déchets des Dattes de la Région d'Adrar en Bioéthanol', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 13. N°3. 2010.
- [44] Boulal A., Benbrahim Z., Benali B. et Ladjel S. (2013). Etude comparative de rendement de la production d'éthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commerciale (Tinaceur et Aghmou) de Sud- Ouest de l'Algérie. Revue des Energies Renouvelables Vol. 16(3). University Kasdi Merbah, Ouargla, Algeria.
- [45] Soulimani Ahmed El-amine. (2018). Valorisation énergétique des déchets des dattes à partir de la fermentation alcoolique suivi par la digestion anaérobie. Mémoire de master. University Ahmed Draïa - Adrar Algeria.
- [46] Munier, P. (1973). Le palmier dattier. Ed. Maisonneuve, Paris.
- [47] G. Linden et D. Lorient, 'Biochimie Agro-Industrielle, Valorisation Alimentaire de la Production Agricole', Ed. Masson S.A., Paris. 1994.
- [48] Boulal.A., Khelafi. M., Messaadi. A.H. (2019). Production du bioéthanol à partir des déchets de dattes d'Adrar et Tolga (Biskra) : Etude comparative. Revue. Inter. J. Nat. Resour. Env. Vol. 1, No. 1; pp. 20-27 (2019). University Ahmed Draïa - Adrar Algeria.
- [49] Amillastre A. (2012). Amélioration de la robustesse de souches de levures aux stress technologiques par une stratégie de génie microbiologique. Application à la production

Références bibliographiques

industrielle de bioéthanol à partir de matières premières agricoles. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France.

[50] 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).

[51] Almohammed F., 2017. Application des électro technologies pour une valorisation optimisée de la betterave à sucre dans un contexte de bioraflnerie. Thèse de doctorat. Université de technologie, ompiéne Sorbonne, France. 2013.

[52] Acouréne S., Tama M., 2001.Utilisation des dattes de faible valeur marchandes. *Revue énergie renouvelable production et valorisation –biomasse.*

[53] Bacha A., 2008. production et étude de l'activité de l'invertase produite par la levure *saccharomyces cerevisiae* sur substrat à base de datte. Mémoire de magister. Université el hadj lakhdar - Batna, Algérie.

[54] J.L. Gaillard, H. Leclerc and M. Simonet, 'Microbiologie Générale', Ed. Doin, Paris, 1995.

[55] H.K.H. Elokidi, 'Date and confec-product', F.A.O, Rom, 5-6-25, 1987.

[56] A. Meyer, 'Cours de Microbiologie Générale', Ed. Doin Editeurs, 1988.) et (A. Sasson, 'Nourrir Demain les Hommes', 765 p., Ed. UNESCO, Pays Bas, 1986.