

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université SAAD DAHLEB BLIDA 1**



**Faculté des sciences**

**Département de Chimie**

**Mémoire de Master**

**Domaine : Science de la Matière**

**Filière : Chimie**

**Spécialité : Chimie des Produits Naturels**

**Thème :**

**Bioconversion du moût de dattes de variété « Ghars » et « Degla  
Beïda » en bioéthanol : une approche de valorisation des  
sous-produits agricoles**

**Présenté par :**

**- ABDALLAH Rim**

**- MOHAMMEDI Amina**

**Soutenu publiquement le : 24/06/2025**

**Devant le jury composé de :**

|                          |                       |            |
|--------------------------|-----------------------|------------|
| Pr. BADIS Abdelmalek     | Université de Blida 1 | Président  |
| Dr. EDDOUAOUDA Kamel     | Université de Blida 1 | Examineur  |
| Dr. FERRADJI Fatma Zohra | Université de Blida 1 | Promotrice |

**Année universitaire 2024/2025**

## **Remerciements**

*Louange à Dieu qui nous a permis d'achever cette recherche, nous sommes très reconnaissants à Dieu pour la force qu'il nous a donnée pour mener à bien ce travail.*

*Nous remercions également notre encadrante, Madame FARRADJI pour sa confiance, sa patience, son soutien constant et ses efforts pour assurer le succès de ce travail. Merci, madame et que Dieu vous récompense de tous ses bienfaits.*

*Nous remercions aussi nos enseignements, nous apprécions leurs efforts dans la quête du savoir et de l'apprentissage.*

*Nous remercions les membres du jury Professeur BADIS Abdelmalek et Docteur EDOUAOUDA Kamel pour votre présence et pour leurs critiques constructives.*

*Nous remercions la doctorante TARED Amina Pour les conseils et les encouragements que vous nous avez donnés je vous souhaite réussite et brillance dans votre parcours doctoral.*

*Et à toutes les personnes qui nous ont soutenues dans la réussite de notre recherche a tous les membres de laboratoire de produits naturels et des biomolécules de PAV08 Et laboratoire de la chimie de PAV05.*

## Dédicace

*Je dédie ce travail à :*

*À ceux qui ont contribué, après Dieu, à ma réussite, à mes chers parents, ma mère et mon père, Je vous dédie le fruit de mon labeur, représenté par ce modeste travail. Vous avez été mon plus grand soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*À mes chères sœurs Lina, Malek, Ikram, et Iman, et à mon seul frère Walid, Je vous souhaite plein de succès et de réussite dans vos études et dans votre vie, vous êtes les plus belles choses de ma vie.*

*À mon camarade Amina, ma partenaire dans ce voyage scientifique, une amie et une sœur exceptionnelle avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, Je lui souhaite tout le succès et l'épanouissement dans sa vie.*



***Rim***

## Dédicace

*Je dédie le fruit de ce modeste travail comme un geste de gratitude :*

*À l'âme de ma mère décédée, que Dieu lui fasse miséricorde.*

*À mon cher père Amer, Pour ton amour inconditionnel, ton soutien moral et tes sacrifices silencieux. Ce travail est aussi le fruit de ta patience et de ta confiance.*

*À ma sœur bien-aimée Zineb, Pour ta tendresse, tes encouragements et ta présence rassurante à chaque étape de ma vie.*

*À mes frères Zoubir, Hamza, Youcef, Ayoub, Mohammed et Ahcen et à leurs épouses, Merci pour votre affection, votre aide et vos mots de réconfort dans les moments de doute. Votre présence m'a été précieuse.*

*À mes cousines, Aldjia, Meriem, Asma, Aicha, Soumia Pour les sourires partagés, le soutien fraternel et la chaleur familiale qui m'ont portée.*

*À mon binôme Rim, Pour cette belle aventure intellectuelle et humaine vécue ensemble, pour ta collaboration, ton écoute et ta persévérance. Merci d'avoir été là jusqu'au bout.*

*À mes amis, Yasmine et Fatima pour leurs mots d'encouragement, leur écoute et leur présence fidèle.*



***Amina***

## ملخص :

تُعد الجزائر من الدول الرائدة في إنتاج التمر وتنوع أصنافها، مثل الغرس و الدقلة البيضاء، منخفضة القيمة السوقية، ويمكن استخدامها في تطبيقات التكنولوجيا الحيوية.

يهدف هذا العمل إلى إنتاج الإيثانول الحيوي من الكتلة الحيوية لهذين الصنفين عن طريق التخمير الكحولي. تبدأ العملية باستخلاص عصير التمر، يليه إضافة خميرة الخبز (*Saccharomyces cerevisiae*) بتركيزات مختلفة (0.3 غ، 1 غ، و 2 غ) في ظروف التخمير على دفعات وفي ظروف لاهوائية، عند درجتي حرارة 30 و 40 درجة مئوية.

يسمح التقطير عند 78 درجة مئوية لمدة 45 دقيقة بفصل الإيثانول عن الماء. أعطت هذه الدراسة عوائد مختلفة حسب كل نوع وتختلف إنتاجية الإيثانول الحيوي حسب تنوع وكتلة الخميرة المستخدمة، مما يظهر إمكانات مثيرة للاهتمام لتثمين هذه التمور ذات القيمة التجارية المنخفضة.

**الكلمات المفتاحية:** التمور (الغرس، الدقلة البيضاء)، التخمير الكحولي، الإيثانول الحيوي، عصير التمر، التثمين.

## Résumé :

L'Algérie compte parmi les principaux pays producteurs de dattes et à la diversité de ses variétés. Comme Ghars et Degla Beïda, présentent une faible valeur marchande et peuvent être valorisées dans des applications biotechnologiques.

Ce travail vise la production du bioéthanol à partir de la biomasse de ces deux variétés par fermentation alcoolique. Le processus débute par l'extraction du moût de dattes, suivi d'une inoculation avec *Saccharomyces cerevisiae* (levure de boulanger) à différentes concentrations (0,3 g, 1 g et 2 g) dans des conditions discontinues et anaérobies, à température 30 et 40 °C.

Une distillation à 78 °C pendant 45 minutes permet la séparation de l'éthanol de l'eau. Cette étude a donné des rendements différents pour chaque variété, et la productivité en bioéthanol a varié en fonction de la variété et de la masse de levure utilisée, démontrant un potentiel intéressant pour la valorisation de ces dattes à faible valeur commerciale.

**Mots clés :** Dattes (Ghars, Degla Beïda), fermentation alcoolique, bioéthanol, moût du dattes, valorisation.

## Abstract:

Algeria is among the world's leading producers of dates and the diversity of its cultivars. such as Ghars and Degla Beïda, have low commercial value and can be valorized through biotechnological applications.

This study focuses on the production of bioethanol from the biomass of these two varieties via alcoholic fermentation. The process begins with the extraction of date must, followed by the inoculation with *Saccharomyces cerevisiae* (baker's yeast) at different concentrations (0.3 g, 1 g, and 2 g) under batch and anaerobic conditions at 30 and 40 °C.

Distillation at 78 °C for 45 minutes allowed the separation of ethanol from water. This study yielded different yields for each variety, and bioethanol productivity varied depending on the variety and mass of yeast used, demonstrating interesting potential for the valorization of these low-commercial value dates.

**Keywords:** Dates (Ghars Degla Beïda), alcoholic fermentation, bioethanol, date must, valorization.

## Sommaire

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Résumé                |   |
| Remerciements         |   |
| Dédicace              |   |
| Introduction générale | 1 |

### *Chapitre I : Palmier dattier et dattes*

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| I .Introduction                                  | 3  |
| I .1. Palmier dattier                            | 3  |
| I .1.1. Production de palmier dattier en Algérie | 5  |
| I .2. Dattes                                     | 5  |
| I .2.1. Variétés des dattes                      | 6  |
| I .2.2. Production mondiale des dattes           | 7  |
| I .2.3. Production des dattes en Algérie         | 8  |
| I .2.4. Composition des dattes                   | 9  |
| I .2.5. Datte de variété Ghars                   | 10 |
| I .2.5.1. Composition de Ghars                   | 10 |
| I .2.5.2. Valeur nutritionnelle                  | 11 |
| I .2.6. Datte de variété Degla Beïda             | 11 |
| I.2.6.1. Composition de Degla Beïda              | 12 |
| I.2.7. Caractéristiques de Ghars et Degla Beïda  | 12 |
| Conclusion                                       | 13 |

### *Chapitre II : Production du bioéthanol*

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| II . Introduction                                 | 14 |
| II .1. Biomasse                                   | 14 |
| II .1.1. Utilisation de la biomasse               | 15 |
| II .2. Biocarburant                               | 15 |
| II .2.1. Les générations du bioéthanol            | 16 |
| II.3. Bioéthanol                                  | 17 |
| II.3.1. Types de l'éthanol                        | 18 |
| II .3.2. Procédés de production du bioéthanol     | 18 |
| II .3.3. Utilisation du bioéthanol                | 19 |
| II .3.4. Avantages et inconvénients du bioéthanol | 19 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| II .4. Levure                                           | 21 |
| II .4.1. Lévure de type <i>saccharomyces cerivisiae</i> | 22 |
| II.4.1.1 Taxonomie                                      | 22 |
| II .4.1.2. Cycle de vie                                 | 23 |
| II .5. Fermentation alcoolique par levure               | 23 |
| II.5.1.Procédés de fermentation alcoolique              | 24 |
| II.6. Facteurs influençant la production du bioéthanol  | 25 |
| Conclusion                                              | 26 |

### ***Chapitre III: Matériels et méthodes***

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| III.Introduction                                              | 27 |
| III.1.Méthodes et matériels                                   | 27 |
| III .1.1. Matériel biologique                                 | 27 |
| III .1.2.Caractérisation physique des dattes                  | 28 |
| III .1.3. Préparation du moût de dattes                       | 29 |
| III .1.4. Caractérisation physico-chimiques du moût de dattes | 30 |
| III.1.5. Optimisation et Production du bioéthanol             | 33 |
| III .1.6. Production du bioéthanol                            | 36 |
| III .1.7. Distillation                                        | 38 |
| III.1.8. Évaluations chimiques des échantillons               | 40 |
| III .1.9. Analyses de produit final (Bioéthanol)              | 40 |

### ***IV. Résultats et discussions***

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| IV. Introduction                                           | 43 |
| IV.1. Caractérisation physique des dattes                  | 43 |
| IV.2. Caractérisations physico-chimiques du moût de dattes | 45 |
| IV.3. Optimisation des paramètres de la fermentation       | 49 |
| IV.4. Évaluations physico-chimiques des échantillons       | 50 |
| IV.5. Analyse de produit final (Bioéthanol)                | 52 |
| Conclusion générale                                        | 59 |
| Perspective                                                | 60 |
| Références bibliographique                                 |    |
| Annexes                                                    |    |

## Liste des figures

| N°                  | Designation                                                                                                                        | Page |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Figure I.1</b>   | (A)Schéma d'un palmier dattier ( <i>Phoenix dactylifera L.</i> )<br>(B) photo de palmier dattier                                   | 4    |
| <b>Figure I.2</b>   | Photo représente les différentes couches de la datte                                                                               | 6    |
| <b>Figure I.3</b>   | Principaux pays producteurs de dattes à l'échelle mondiale                                                                         | 8    |
| <b>Figure I.4</b>   | Composition de Ghars                                                                                                               | 10   |
| <b>Figure I.5</b>   | Composition de Degla Beïda                                                                                                         | 12   |
| <b>Figure II.1</b>  | <i>S. cerevisiae</i>                                                                                                               | 22   |
| <b>Figure III.1</b> | Photo des dattes :(A) Ghars et (B) Degla Beïda                                                                                     | 27   |
| <b>Figure III.2</b> | Photo de levure de boulanger Saf-instant                                                                                           | 28   |
| <b>Figure III.3</b> | Schéma représente les étapes de préparation du moût de dattes                                                                      | 30   |
| <b>Figure III.4</b> | Photo de réfractomètre                                                                                                             | 31   |
| <b>Figure III.5</b> | Diagramme de la production du bioéthanol                                                                                           | 36   |
| <b>Figure III.6</b> | Dispositif d'un bioréacteur statique                                                                                               | 38   |
| <b>Figure III.7</b> | Photo du montage de distillation fractionné                                                                                        | 39   |
| <b>Figure III.8</b> | Production du bioéthanol par le processus du bain marie agité                                                                      | 39   |
| <b>Figure III.9</b> | Spectrophotométrie infrarouge                                                                                                      | 41   |
| <b>Figure IV.1</b>  | Courbe d'étalonnage de l'équivalent du D-Glucose                                                                                   | 48   |
| <b>Figure IV.2</b>  | Photo de gonflement des ballons qui dû à la libération de CO <sub>2</sub>                                                          | 50   |
| <b>Figure IV.3</b>  | Photo de la biomasse après séchage                                                                                                 | 51   |
| <b>Figure IV.4</b>  | Photo indique le poids de pycnomètre avec l'eau distillé a 4°C                                                                     | 52   |
| <b>Figure IV.5</b>  | Courbe d'étalonnage de l'indice de réfraction de l'éthanol 96                                                                      | 53   |
| <b>Figure IV.6</b>  | Spectre d'infra-rouge du bioéthanol obtenu pour les extraits<br>éthanolique, GHm (A) , DBm (B) , GH (C), DB (D) et éthanol pur (E) | 56   |
| <b>Figure IV.7</b>  | Photo de teste de l'inflammabilité du bioéthanol                                                                                   | 57   |
| <b>Figure IV.8</b>  | Bioéthanol produit par le processus de distillation                                                                                | 58   |

## Liste des tableaux

| <b>N°</b>           | <b>Designation</b>                                                            | <b>Page</b> |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Tableau I.1</b>  | Les régions et les cultivars le plus connue des dattes                        | 5           |
| <b>Tableau I.2</b>  | Classification des dattes selon leur consistance                              | 7           |
| <b>Tableau I.3</b>  | Composition des minéraux dans 100g de Ghars                                   | 11          |
| <b>Tableau I.4</b>  | Caractéristiques des dattes Degla Beïda et Ghars                              | 13          |
| <b>Tableau II.1</b> | Caractéristiques physico-chimiques de l'éthanol                               | 18          |
| <b>Tableau II.2</b> | Avantages et les inconvénients du bioéthanol                                  | 20          |
| <b>Tableau IV.1</b> | Caractéristiques morphologiques des dattes Ghars et Degla Beïda               | 43          |
| <b>Tableau IV.2</b> | L'acidité titrable et la densité des deux variétés de dattes                  | 46          |
| <b>Tableau IV.3</b> | Rapports frontaux des échantillons                                            | 48          |
| <b>Tableau IV.4</b> | Les valeurs de pH et le poids de biomasse des échantillons après fermentation | 52          |
| <b>Tableau IV.5</b> | La densité, l'indice de réfraction et la pureté du bioéthanol                 | 54          |

## **Abréviations**

**°Brix** : Degrés Brix

**°C** : Degré Celsius

**D** : Dilution

**DB** : Moût de Degla Beïda

**DBm** : Moût de Degla Beïda ( Incubé dans le Dispositif d'un bioréacteur statique)

**F**: Facteur de dilution

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

**GH** : Moût de Ghars

**GHm** : Moût de Ghars (Incubé dans le Dispositif d'un bioréacteur statique)

**H%** : Taux d'humidité

**mL** : Millilitre

**pH** : Potentiel Hydrogène

**rpm** : Rotation par minute

## Introduction générale

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) dans le Sahara algérien est essentiel pour les écosystèmes oasiens, car il aide à réduire l'impact de l'ensablement et offre une protection contre la forte radiation solaire pour les cultures en dessous, comme les arbres fruitiers, les légumes et les céréales. Dans ces régions désertiques, la présence de diverses espèces animales et végétales, essentielles à la pérennité et à la survie des populations, est rendue possible [1] .

Les dattes, grâce à leur teneur élevée en sucres fermentables (65 %) et leur capacité de conservation prolongée, peuvent servir de base idéale pour générer diverses substances de haute valeur ajoutée, comme l'éthanol. Ce dernier, produit par un processus biotechnologique de fermentation anaérobie, est d'une importance économique incontestable puisqu'il est employé dans des domaines divers et cruciaux [2].

Le bioéthanol est approprié pour être utilisé dans les véhicules à essence, et ne s'attribue pas uniquement à son rôle de substitut à l'essence, vu qu'il est également utilisé dans les secteurs pharmaceutiques, industriels et cosmétiques. C'est la raison pour laquelle sa production augmente chaque année à l'échelle mondiale [3].

Dans l'industrie pharmaceutique, l'éthanol est couramment employé comme agent désinfectant et solvant. Une multitude de désinfectants incluent de l'éthanol en tant que composant actif. De nombreux médicaments insolubles utilisent également l'éthanol comme solvant [4].

L'éthanol représente une application essentielle dans le domaine énergétique. Il s'est établi comme une option durable et écologique parfaite en remplacement des énergies fossiles [4].

On peut produire du bioéthanol à partir de substrats riches en sucres (comme la canne à sucre ou la betterave sucrière, les dattes), ainsi qu'en amidon (comme le maïs, l'orge, le blé, la pomme de terre, etc..). De substrats cellulotiques tels que les déchets agricoles (la paille ou les tiges de maïs), les déchets forestiers, les cultures énergétiques (le panic érigé ou des arbres à croissance rapide), les algues [5].

Le Brésil est l'un des principaux producteurs de bioéthanol depuis 1975, en partie du fait de son lancement précoce dans la production du bioéthanol et de sa situation géographique avantageuse pour la culture de la canne à sucre, qui est une matière première idéale pour le bioéthanol. Cependant, de nombreux pays étudient des options de production locales et alternatives.

Des études ont prouvé la possibilité de produire du bioéthanol à partir de dattes en Algérie et dans d'autres nations productrices de dattes [6].

Notre étude vise à produire du bioéthanol à partir de dattes des variétés Ghars et Degla Beïda, dans le but d'apporter une valeur ajoutée à nos dattes locales. Cela contribue au développement des zones sahariennes.

Cette œuvre est structurée en trois chapitres :

- Le premier chapitre fournit un aperçu général sur le palmier dattier et les dattes.
- Le deuxième chapitre traite du bioéthanol et la fermentation alcoolique.
- Le chapitre trois aborde les recherches expérimentales.
- En fin conclusion générale et perspectives.

## ***Chapitre I : Palmier dattier et dattes***

## **I. Introduction :**

Depuis des millénaires, le dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est cultivé et exploité au Moyen-Orient ainsi que dans la partie nord de l'Afrique. C'est le « arbre » symbolique des zones arides et semi-arides de l'Ancien Monde. Cette espèce, qui offre de multiples usages, produit des dattes hautement nutritives consommées fraîches, sèches ou sous forme de produits dérivés (sirop, pâte, farine...); celles qui n'ont que peu d'intérêt gustatif sont destinées à l'alimentation du bétail. On utilise aussi toutes les autres parties de la plante : le « tronc » ou stipe sert de matériau pour la construction, les feuilles sont employées pour la couverture des toits ou la fabrication de clôtures, sans oublier leur utilisation dans l'artisanat du tissage. Le dattier joue aussi un rôle crucial dans les systèmes agricoles oasiens en générant un microclimat local plus frais et humide, ce qui rend possible la culture d'arbres fruitiers, de céréales ou de légumineuses [7].

### **I.1. Palmier dattier :**

Le palmier dattier, fréquemment perçu comme un arbre, appartient en réalité à la famille des Arecaceae (Palmae) et est une monocotylédone arborescente [8].

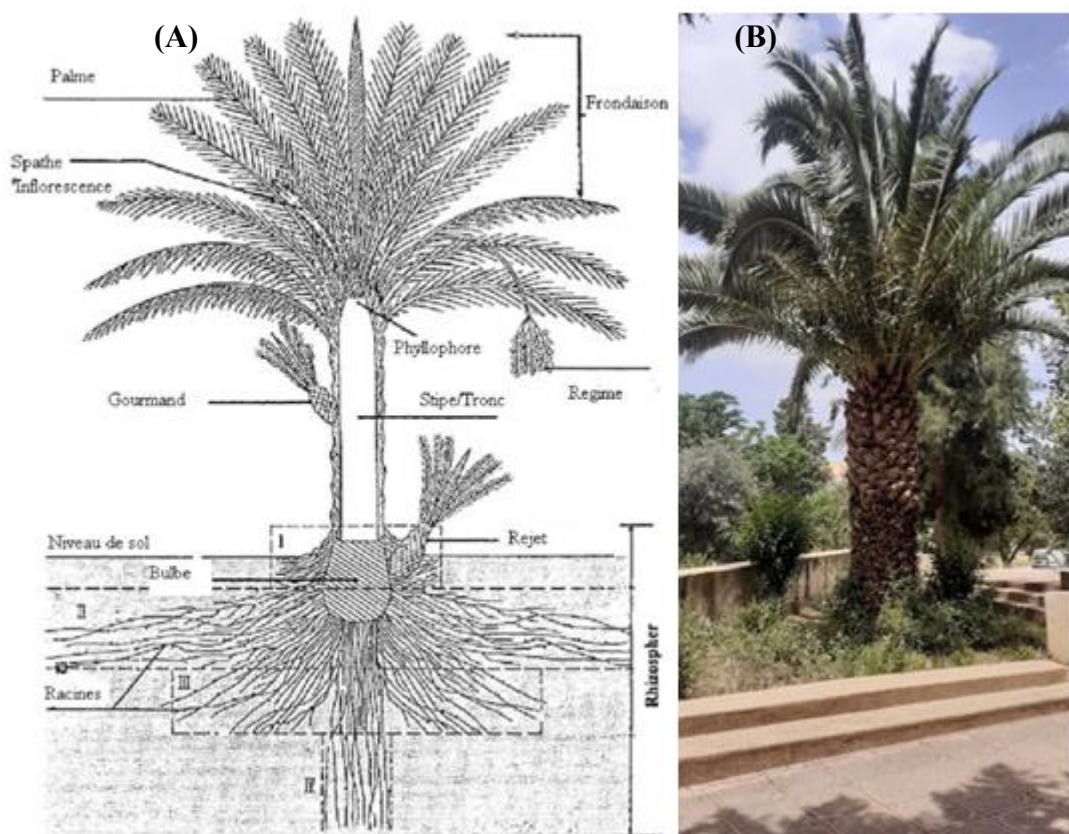
Le genre *Phoenix* compte 14 espèces est le dattier l'unique espèce (*Phaenix dactylifera*) du genre qui est cultivée pour ses fruits. *Le Phaenix* Espèce *dactylifera* possède un tronc cylindrique qui peut dépasser 25 mètres de hauteur. Il est entièrement recouvert, depuis la base jusqu'au sommet, par l'ancienne palme coupée à la base de chaque pétiole. À son sommet se trouve un bourgeon terminal d'où poussent les nouvelles palmes. Il s'agit de feuilles pennées composées qui forment une couronne mesurant de 2 à 6 mètres de long, avec une espérance de vie comprise entre 3 et 7 ans. Un bourgeon adventif situé à la base de chaque palmier peut produire une inflorescence (spathe en forme de grappes d'épis sauvegardées par une bractée ligneuse proche et en forme de fuseau) [8].

Avec un développement lent, sa longévité peut aller au-delà de 100 ans. En outre, le palmier est dioïque. Cette espèce reste inconnue dans son habitat naturel [8].

Selon DJERBI [9], la classification du palmier dattier selon le règne végétal est :

- Groupe : Spadiciflores
- Ordre : Arecales
- Famille : Arecaceae
- Sous famille : Coryphoidée
- Tribu : Phoenicées
- Genre : *Phoenix*
- Espèce : *Phoenix dactylifera*

La figure suivante montre une présentation schématique du palmier dattes :



**Figure I.1 :** (A) Schéma d'un palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) [10].

(B) photo de palmier dattier

### I.1.1. Production de palmier dattier en Algérie :

L'Algérie abrite environ 20 millions de palmiers dattiers qui s'étendent sur une superficie de 170000 hectares. Ces cultures s'étendent sur 17 Wilayas situées dans le sud du pays. La région de Biskra héberge à elle seule 4,5 millions de palmiers, précédée par d'autres zones telles qu'El Oued, Touggourt, Ghardaïa, El Meniaa, Adrar, Bechar, El Meghaier et Timimon. Ces régions présentent un climat parfait pour la culture des dattes, surtout la renommée Deglet Nour, réputée comme l'une des meilleures variétés au monde [11].

Le tableau suivant représente les régions et les cultivars le plus connue :

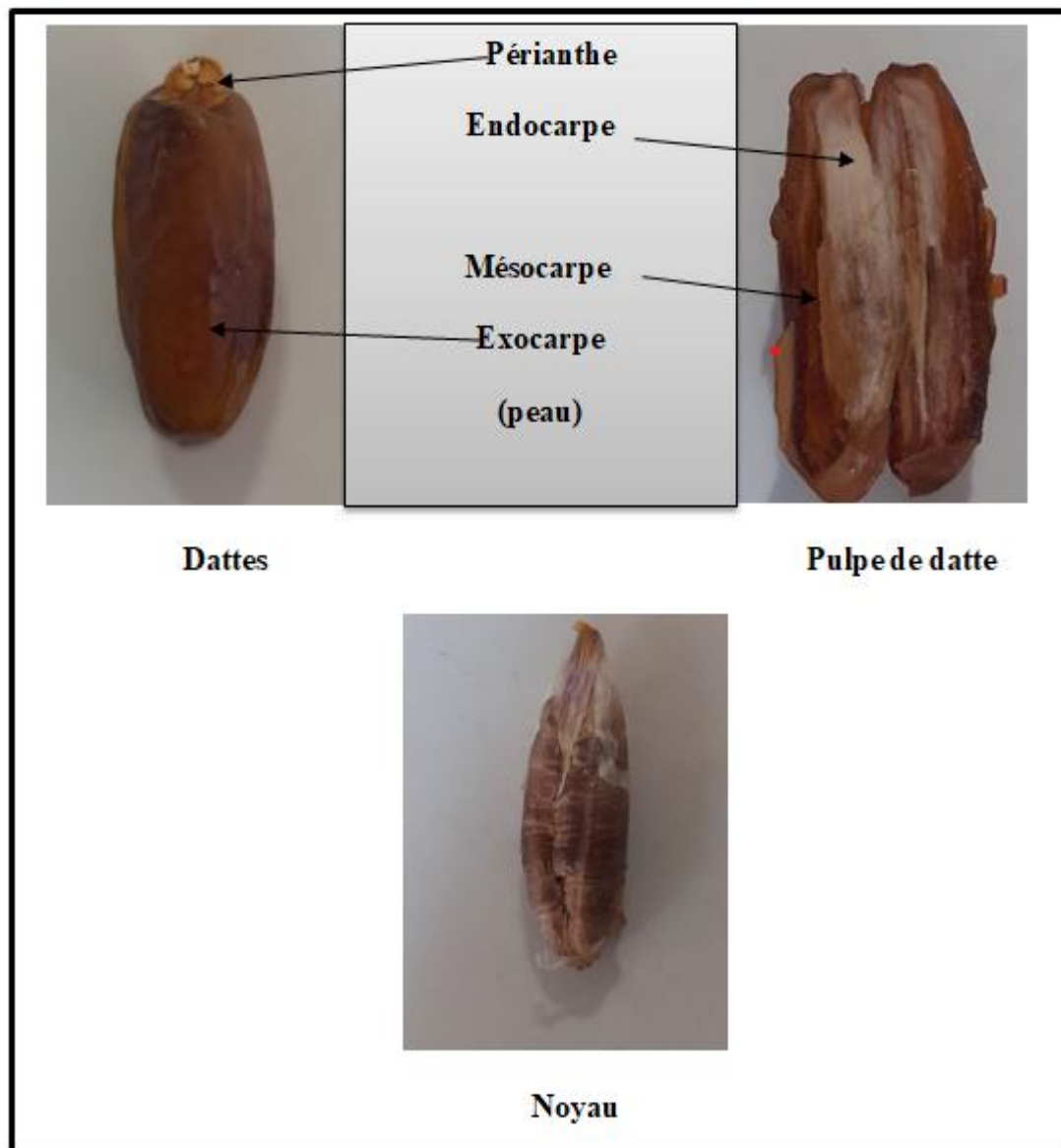
**Tableau I.1** : Les régions et les cultivars le plus connue des dattes [12].

| Région        | Nombre de cultivars | Cultivars les plus courants                   |
|---------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Ouest</b>  |                     |                                               |
| Atlas         | 70                  | Ghares, 'Asyan, Feggus,                       |
| Saoura        | 80                  | Feggus, Hartan, Cherka, Hmira, Deglet Talmine |
| Gourara       | 230                 | Hmira, Tinnaser, Taqerbuch                    |
| Touat         | 190                 | Tgazza, Aghamu, Taqerbuch                     |
| Tidikelt      | 60                  | Tgazza, Taqerbuch, Cheddakh, Aggaz            |
| <b>Centre</b> |                     |                                               |
| El-Ménia      | 70                  | Timjuhart, Ghars, Timedwel                    |
| M'Zab         | 140                 | Azerza, Ghars, Deglet Nour, Taddela           |
| <b>Est</b>    |                     |                                               |
| Ouargla       | 70                  | Ghars, Deglet Nour, Degla Beida               |
| Oued Righ     | 130                 | Deglet Nour, Ghars, Degla Beida               |
| Souf          | 70                  | Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla   |
| Zibans        | 140                 | Deglet Nour, Ghars, Degla Beida, Mich Degla   |
| Aures         | 220                 | Buzrur, 'Alig, Buhles, Mich Degla             |
| Tassili       | 180                 | Tanghimen, Tabanist, Khadaji                  |

### I.2. Dattes :

La datte, également connue sous le nom de *Phoenix dactylifera* . Elle est un fruit qui se présente sous la forme d'une baie elliptique ou ovale, mesurant entre 25 et 30 millimètres en longueur et ayant une taille semblable à celle d'un doigt. Son péricarpe est constitué d'un épicarpe mince, de couleur rougeâtre jaunâtre et translucide, qui enveloppe un mésocarpe largement développé, charnu et ferme au toucher.

Ce dernier a un goût sucré et visqueux qui peut parfois donner lieu à la formation de cristaux mamelonnés de glucose avec le temps. Le péricarpe enveloppe une graine de forme allongée et elliptique qui présente sur son côté ventral un sillon longitudinal assez marqué, tandis qu'une petite cavité circulaire est visible au centre de sa face dorsale, correspondant à l'emplacement du petit embryon [13].



**Figure I.2 :** Photo représente les différentes couches de la datte

### **I.2.1. Variétés des dattes :**

Les cultivars sont souvent catégorisés en trois principales catégories basées sur la texture et la consistance des fruits une fois mûrs : Les dattes sèches et les dattes molles et les dattes demi-sèches ou demi-molle. Selon le tableau suivant :

**Tableau I.2** : Classification des dattes selon leur consistance [14].

| consistance | Caractéristiques                                                                       | Variétés et pays                                                                      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Molle       | Le taux d'humidité est supérieure $\geq 30\%$ . riches en sucres (glucose et fructose) | Ghars (Algérie), Ahmer (Mauritanie), Kashram et Miskhrani (Egypte et Arabie Saoudite) |
| Demi-molle  | $20\% < H\% < 30\%$ - 50% saccharose et 50%glucose + fructose                          | Deglet Nour (Algérie), Mahjoul (Mauritanie), Sifri et Zahidi (Arabie Saoudite)        |
| Sèche       | $H\% < 20\%$ riches en saccharose                                                      | Degla Beïda et Mech Degla (Tunisie et Algérie) et Amsrie (Mauritanie)                 |

Note : H% : taux d'humidité

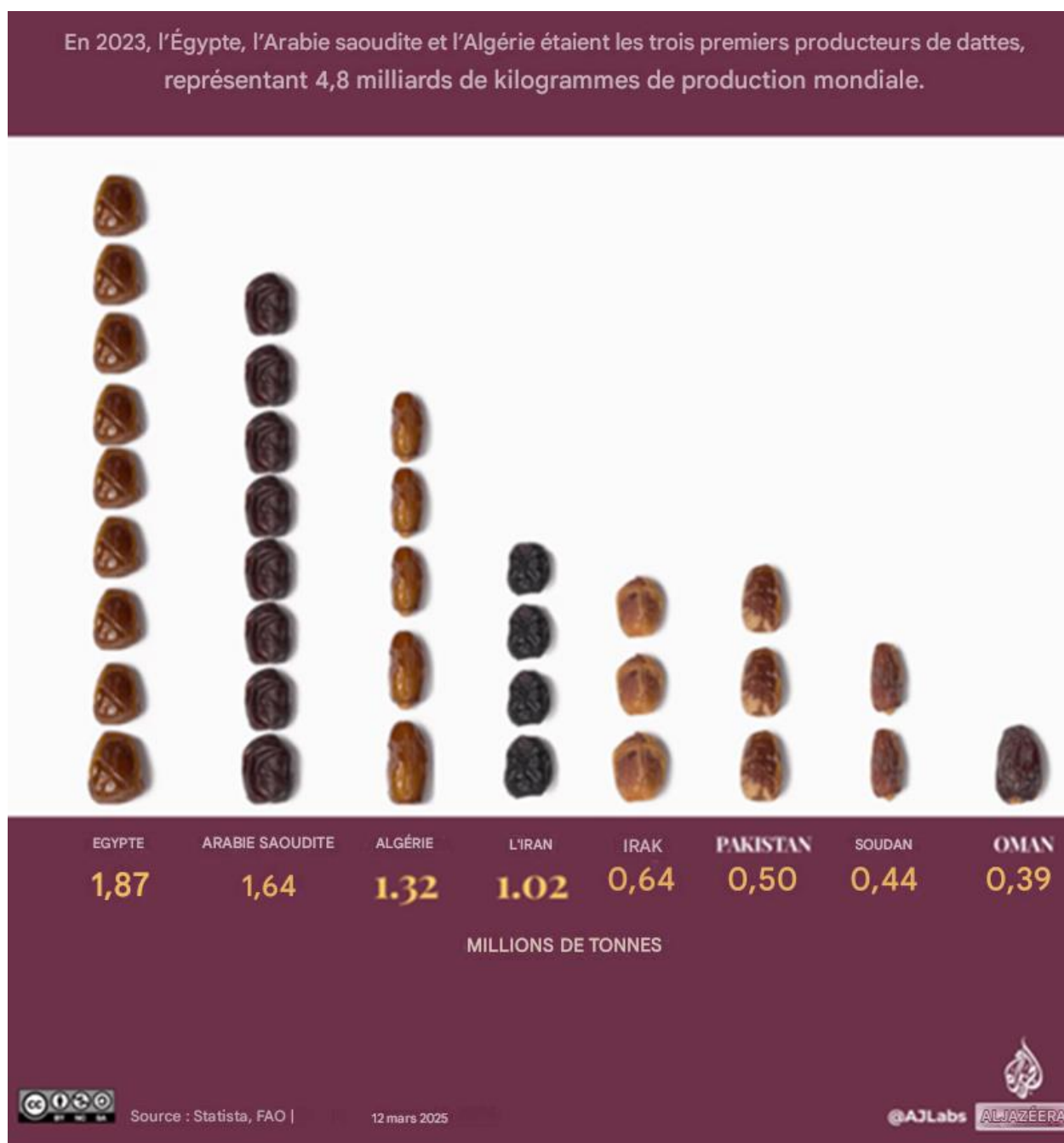
### **I.2.2. Production mondiale des dattes :**

D'après Tridge, une base de données spécialisée dans l'alimentation et l'agriculture, près de 10 millions de tonnes de dattes a été produites à l'échelle mondiale en 2022.

Les palmiers dattiers ont une propension à se développer dans des pays où les étés sont longs et chauds, tels que ceux du Moyen-Orient et de ses alentours. Selon Tridge , l'Égypte domine la production mondiale de dattes, fournissant près de 18% des dattes mondial.

Avec approximativement 17% de la production mondiale, l'Arabie saoudite est en tête, tandis que l'Algérie se positionne en troisième place avec 13% [15].

L'infographie ci-après illustre les principaux pays producteurs de dattes à l'échelle mondiale :



**Figure I.3 :** Principaux pays producteurs de dattes à l'échelle mondiale [15].

### I.2.3. Production des dattes en Algérie :

Selon le FAO en 2023, l'Algérie conserve sa place parmi les principaux producteurs de dattes à l'échelle mondiale. Avec une production approximative de 1,32 million de tonnes, le pays occupe la troisième position au niveau mondial [15].

En Algérie, les dattes rebuts constituent 25% de la production de dattes, équivalant à environ 200000 tonnes chaque année [15].

Les déchets de dattes contiennent jusqu'à 65 % de sucres fermentescibles, ce qui en fait un excellent substrat pour la production de diverses substances à haute valeur ajoutée, y compris l'alcool éthylique, une substance énergétique stratégique et fondement de plusieurs industries [16].

#### **I.2.4. Composition des dattes :**

Les dattes, au-delà de leur saveur sucrée naturelle, sont une source nutritionnelle importante, renfermant un éventail particulièrement vaste de vitamines, minéraux et fibres. Les dattes sont une source d'énergie concentrée, majoritairement issue des glucides.

- Les glucides sont les macronutriments prédominants dans les dattes, principalement sous forme de fructose, de glucose et de saccharose. Les dattes fournissent un regain d'énergie rapide, ce qui les rend idéales pour les athlètes ou toute personne ayant besoin d'un regain d'énergie [17].
- Les fibres contenues dans les dattes sont principalement insolubles, ce qui signifie qu'elles ne se dissolvent pas dans l'eau. Les fibres insolubles ajoutent du volume aux selles, ce qui favorise des selles régulières et prévient la constipation. Les fibres aident à réguler le flux de sucre dans la circulation sanguine [17].
- Même si les dattes ne renferment pas une grande quantité de protéines, elles en possèdent tout de même une faible proportion. Malgré un niveau de protéines plutôt bas, elle favorise une sensation de rassasiement et contribue à la régulation de l'apport en glucides [17].
- En plus des macronutriments, les dattes regorgent de micronutriments – vitamines et minéraux indispensables à une multitude de fonctions corporelles comme le potassium, magnésium, vitamine B, Cuivre, Manganèse et le Fer [17].
- Les dattes renferment des antioxydants, tels que les caroténoïdes et les composés phénoliques, qui contribuent à défendre contre les lésions cellulaires et à atténuer le danger de pathologies chroniques [17].
- Les dattes renferment divers polyphénols, comme les flavonoïdes et les anthocyanes, qui ont été liés à une diminution du risque de maladies cardiaques et de cancers [17].
- Les dattes ne contiennent pas une quantité notable de stérols végétaux.

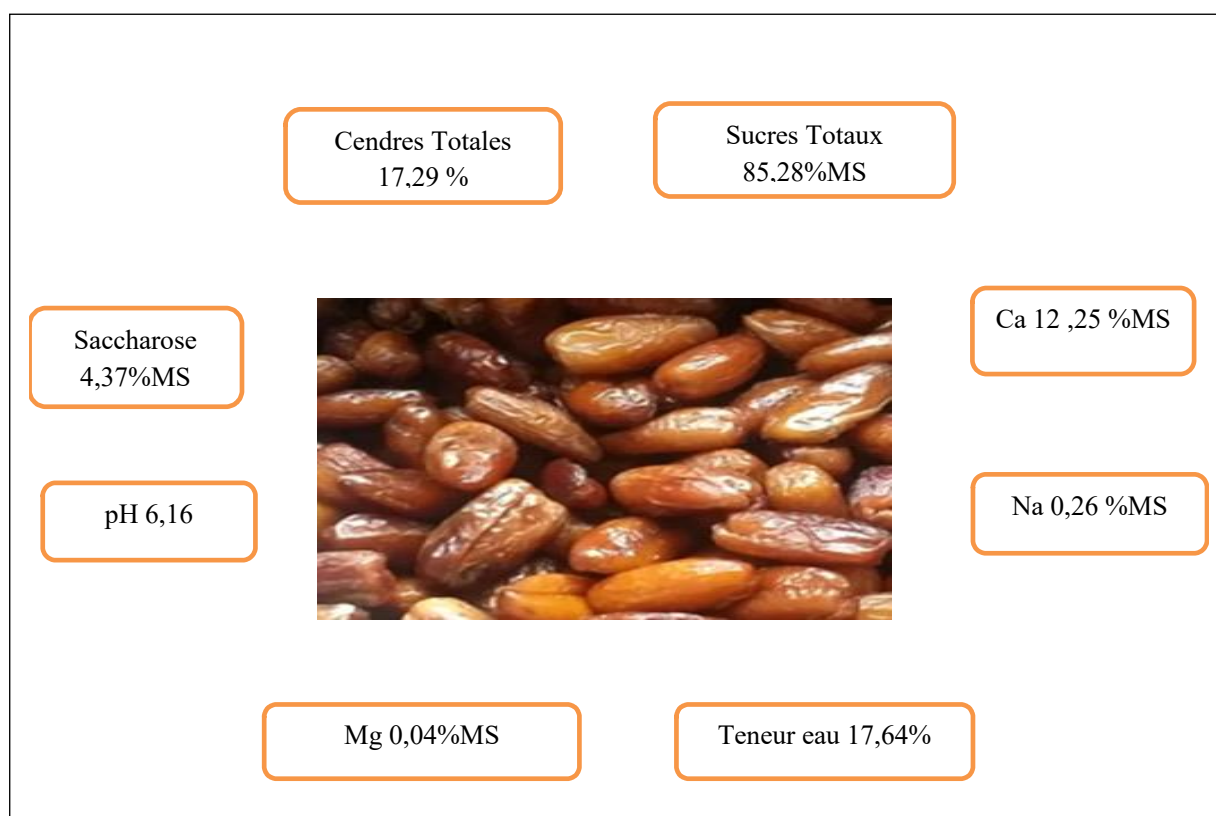
Lorsque la datte fraîche atteint sa maturité, elle devient un fruit délicat et sensible au transport. C'est en partie pour cette raison qu'elle est déshydratée (la datte fraîche, qui contient 70 % d'eau, passe à 20 %).

### I.2.5. Datte de variété Ghars :

Il s'agit d'une variété de datte qui se distingue principalement par sa texture très douce lorsqu'elle est pleinement mûre. À l'état bser, sa couleur est jaune, elle est mielleuse à l'état rotab et prend une teinte brun profonde lorsqu'elle est mûre. L'épicarpe est lustré, brillant, adhérent et légèrement plissé. Le mésocarpe est charnu, de consistance tendre et de texture fibreuse. Le périlanthe a une teinte jaune pâle et est légèrement en forme de voûte [18].

La culture des dattes Ghars a une histoire très ancienne, remontant à plusieurs milliers d'années en Afrique du Nord, notamment dans le bassin de Biskra, ainsi que dans les zones d'Oued Righ et Oued Souf, qui se trouvent au sud de l'Algérie [19].

#### I.2.5.1. Composition de Ghars :



**Figure I.4 :** Composition de Ghars [18].

MS : Matière Sèche

### **I.2.5.2. Valeur nutritionnelle :**

Les dattes Ghrars ont une haute valeur nutritive, sont très bénéfiques pour la santé et font un excellent apport énergétique. Ces dernières constituaient la nourriture principale lors des longues traversées du désert et étaient un aliment de base pour ceux accomplissant des travaux physiques intenses. Il est vrai que leur concentration en sucres, notamment le fructose et le glucose, peut grimper jusqu'à 82 %, ce qui indique que pour chaque 100 g de dattes, il y a 82 g de sucre. Cela fait d'elles l'une des variétés de dattes les plus énergétiques.

Pour ce qui est des minéraux, la composition pour 100 g est précisée dans le tableau ci-après :

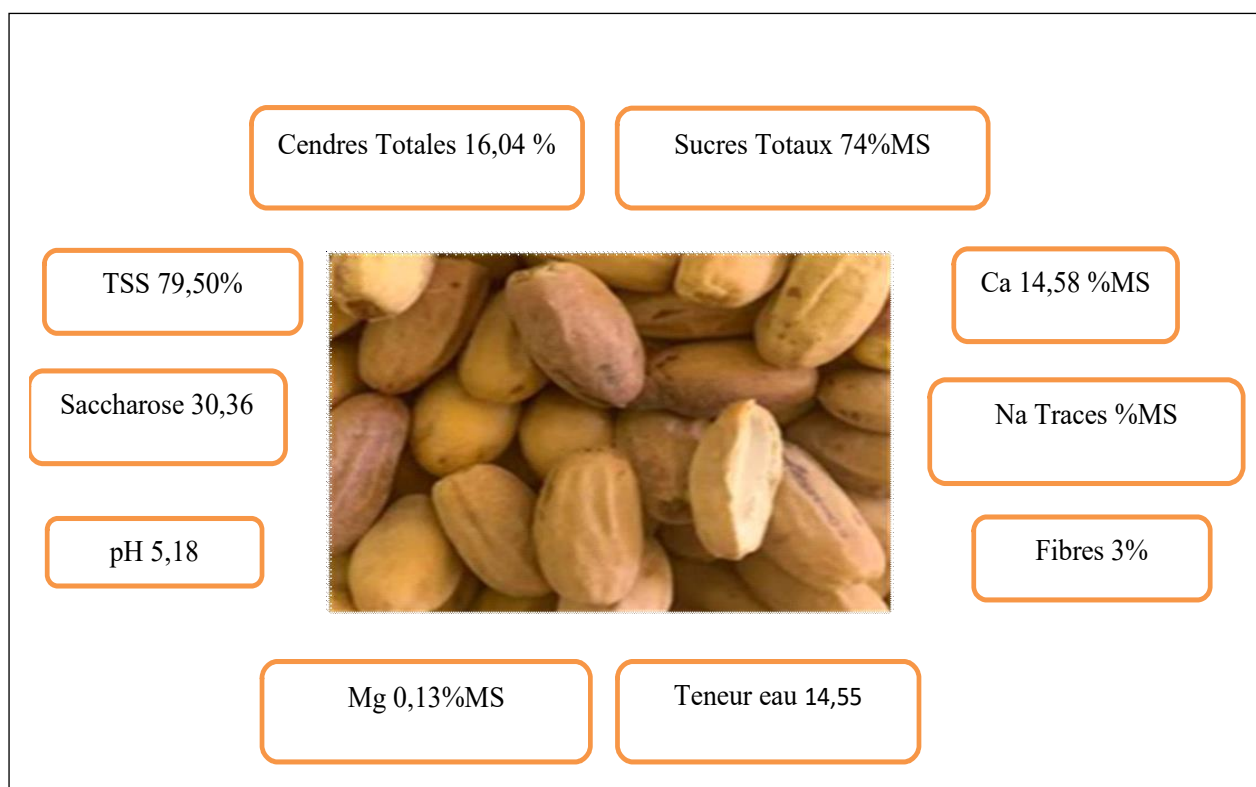
**Tableau I.3 :** Composition des minéraux dans 100g de Ghars [19].

| <b>Elément</b> | <b>Concentration (mg/g)</b> |
|----------------|-----------------------------|
| Potassium (K)  | 664mg                       |
| Calcium (Ca)   | 80,50mg                     |
| Magnésium (Mg) | 17,38mg                     |
| Fer (Fe)       | 2,03mg                      |
| Sodium (Na)    | 2,03mg                      |

### **I.2.6. Datte de variété Degla Beïda:**

Elle présente une forme en fuselée, aplatie du côté du périanthe et contractée à l'autre extrémité. À la phase bser, elle présente une teinte jaune et évolue vers un marron clair ou beige à la phase rotab. Lorsqu'elle est complètement mature, sa couleur est beige. L'épicarpe est lisse et d'une certaine épaisseur. Le mésocarpe est charnu, présente une consistance sèche et a une texture semblable à de la farine. Le calice est de forme aplatie, présentant une couleur allant du jaune à l'orange et il se fixe fermement à la chair [18].

### I.2.6.1. Composition de Degla Beïda :



**Figure I.5 :** Composition de Degla Beïda [18] [20].

TSS : Total Soluble Solids (matières solides solubles totales)

MS : Matière Sèche

### I.2.7. Caractéristiques de Ghars et Degla Beïda:

Voici un tableau comparatif présentant les caractéristiques entre deux types de dattes : Ghars et Degla Beïda :

**Tableau I.4 :** Caractéristiques des dattes Degla Beïda et Ghars [18]

| <b>Nom vernaculaire</b>   | <b>Degla Beïda</b>                                                | <b>Ghars</b>                                         |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Sens du nom               | La datte blanche                                                  | Pâteux et collant                                    |
| Importance et répartition | Cultivar abondant dans toutes les palmeraies du Sud-est Algérien. | Abondant dans les palmeraies du Sud-est Algérien     |
| Date de maturité          | Octobre                                                           | Août-septembre                                       |
| Date de récolte           | Octobre                                                           | Septembre                                            |
| Utilisation de la datte   | non consommée fraîche, utilisée en confiserie                     | fraîche et conservée, utilisée surtout en confiserie |
| Mode de conservation      | En sacs                                                           | Ecrasée et pilée                                     |
| Appréciation              | Datte excellente                                                  | Datte excellente                                     |
| Commercialisation         | Importante, surtout au Sud du Sahara et le Sahel                  | Importante                                           |

**Conclusion :**

Il existe une multitude de produits dérivés de la datte : le sucre liquide, les pâtes de dattes, les jus, les sirops, les sodas, la confiserie, la boulangerie, la biscuiterie, l'alcool et même le vinaigre... Cependant, l'éthanol importé massivement et en monnaies étrangères répond à plus de 70% des exigences nationales, ce qui en fait le produit le plus crucial du point de vue de son impact économique. C'est un produit stratégique utilisé dans des secteurs variés telles que la chimie industrielle et l'industrie agro-alimentaire (matière première pour la fabrication de vinaigre [21]).

## ***Chapitre II : Production du bioéthanol***

## **II. Introduction :**

Le bioéthanol de première génération fait référence à la transformation des sucres en éthanol grâce à l'action de levures ou d'autres micro-organismes, comme les bactéries. Les cultures les plus fréquemment exploitées incluent le maïs, le blé, l'orge, la canne à sucre et la betterave sucrière. Le bioéthanol de première génération, qui implique la conversion des sucres en éthanol, est réalisé grâce à la culture de levures dans des conditions idéales pour effectuer cette transformation à une température approximative de 30 °C. La production du bioéthanol à partir de matières riches en amidon et en sucres se fait en quatre étapes distinctes : le prétraitement (qui inclut l'hydrolyse/liquéfaction-saccharification), la fermentation, la distillation et enfin le séchage [3].

La levure *S. cerevisiae* se distingue des autres organismes modèles par son importance pour une variété d'applications biotechnologiques, dont certaines sont en cours d'utilisation depuis des milliers d'années. L'intérêt biotechnologique de *S. cerevisiae* découle de ses propriétés biologiques distinctives, notamment sa capacité à fermenter, produisant ainsi de l'alcool et du CO<sub>2</sub>, et sa faculté à résister à des conditions d'osmolarité et de pH défavorables [22].

Dans ce chapitre nous parlons sur la production de bioéthanol à partir de la biomasse (les dattes) par la fermentation alcoolique.

### **II.1. Biomasse :**

Dans le secteur énergétique, le mot biomasse désigne toutes les matières organiques susceptibles de se transformer en sources d'énergie.

Elles peuvent être employées directement (bois énergie), ou après une méthanisation de la matière organique (biogaz) ou d'autres transformations chimiques (biocarburant). Elles peuvent également être employées pour le processus de compostage.

Provenant des forêts ou du secteur agricole, la biomasse présente un potentiel énergétique considérable et constitue donc une option viable face aux énergies fossiles. Dans la majorité des situations, l'énergie dérivée de la biomasse peut être vue comme une source d'énergie renouvelable. [23].

La biomasse représente des avantages comme : C'est une source d'énergie plutôt économique, réduit les risques pour l'environnement (comme l'énergie provenant des eaux usées ou des excréments d'animaux), et on considère la biomasse comme une source d'énergie durable pour deux raisons précises : d'abord, elle ne contribue pas à l'aggravation du changement climatique grâce à son bilan carbone constamment positif ; ensuite, elle fertilise le sol en nutriments. [24].

Les inconvénients de la biomasse on cite : -Certaines zones du monde rencontrent un manque de terres pour l'agriculture de la biomasse. -Divers types de biomasse ne sont pas disponibles de manière saisonnière tels que les résidus de récolte [24].

#### **II.1.1. Utilisation de la biomasse :**

-L'exploitation de la biomasse comme source d'énergie peut significativement aider à la protection du climat et à la gestion des ressources, qu'il s'agisse de déchets ou de cultures dédiées. [25]

- La possibilité de transformation de la biomasse solide pour générer de l'hydrogène et du méthanol. [25].

- Il est possible d'extraire du biogaz dans des installations spécifiquement conçues, par exemple à partir de résidus agricoles comme le lisier. Il est possible de l'intégrer aux réseaux de gaz ou de l'utiliser pour produire de l'électricité et de la chaleur [25].

#### **II.2. Biocarburants :**

Les biocarburants proviennent de biomasse, c'est-à-dire de matières végétales, qui exploitent le carbone émis par le dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère lors du processus de photosynthèse pour se développer et répondre à leurs besoins en énergie [26].

Des carburants comme le biodiesel, le biogaz et le bioéthanol sont des combustibles à haute teneur en hydrocarbures dérivés de la biomasse d'organismes vivants. On peut classer le processus de fabrication des biocarburants en quatre catégories principales [27].

### **II.2.1. Les générations du bioéthanol :**

#### **\*Biocarburant de première génération**

Les biocarburants de première génération sont fabriqués à partir de différentes cultures alimentaires comme le maïs doux, la canne à sucre, le maïs, le soja, le tournesol, la noix de coco, la pomme de terre, le riz, la betterave et bien d'autres. La technique de production courante transforme la cellulose, l'amidon, le sucre et divers autres glucides végétaux en glucose, puis en éthanol grâce à l'hydrolyse enzymatique assistée par des micro-organismes (comme les *Saccharomyces* spp., *Zymomonas* et les moisissures). La biomasse résiduelle est éliminée grâce à la purification de l'éthanol par distillation [27].

#### **\*Biocarburant de deuxième génération**

Un modèle de seconde génération a été élaboré pour générer du biocarburant à partir de ressources non comestibles et augmenter sa productivité grâce à des méthodes avancées, comme des procédés biochimiques et thermochimiques qui tirent parti des éléments lingo-cellulosiques et celluloseux provenant d'huiles végétales usées et de cultures alimentaires non consommées. Les plantes employées dans la production de biocarburant incluent des espèces oléagineuses comme le jatropha et l'eucalyptus, de même que certaines graminées alimentaires telles que le miscanthus et le panic raide [27].

#### **\*Biocarburant de troisième génération**

En raison de leur forte capacité de conversion photosynthétique, les algues vertes sont également identifiées comme une source d'énergie alternative prometteuse. Ces entités unicellulaires sont catégorisées dans la biomasse aquatique, renfermant du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote. Le biodiesel dérivé des microalgues est une option idéale pour la fabrication de biocarburants, tout comme le biodiesel provenant des microalgues grâce à sa forte teneur en huile. De même, le bioéthanol et le biogaz issus des macro-algues, du fait de leur très haute concentration en amidon, sont également exploités [27].

### **\*Biocarburant de quatrième génération**

Tout comme les biocarburants de troisième génération, les biocarburants de quatrième génération sont élaborés sur des terrains non cultivables à partir d'un mélange de matières premières génétiquement modifiées et de micro-organismes génétiquement altérés pour produire efficacement de la bioénergie. En manipulant la génétique et les voies métaboliques de micro-organismes, les chercheurs ont réussi à créer des biocarburants et divers autres produits dans le but d'accroître la production de certains métabolites spécifiques [27].

### **II.3. Bioéthanol**

Notre travail repose sur la production de le bioéthanol à partir des dattes locales communes de faible valeur marchande telles que Ghars et Degla Beïda après un prétraitement approprié.

Il est possible de fabriquer de l'éthanol à partir des matières premières biologiques riche en sucres ou des substances susceptibles d'être converties en sucres, comme l'amidon ou la cellulose. Les matières premières génératrices d'éthanol peuvent être classées en trois catégories : ceux qui sont sucrés, amylacés et cellulosiques..... [28].

L'éthanol, parfois désigné par les termes « alcool éthylique » ou « alcool de qualité », est une substance chimique incolore et inflammable représentant parmi les alcools les plus utilisées dans les boissons alcoolisées. Sa formule moléculaire est  $C_2H_6O$ , et elle peut être représentée de diverses manières : par  $EtOH$ ,  $C_2H_5OH$  ou sa formule empirique aussi  $C_2H_6O$  [29].

Son odeur distinctive et dans une solution aqueuse moins concentrée, il a un goût légèrement sucré, alors que dans une solution plus concentrée, il libère une saveur de brûlé. Sa structure moléculaire comporte deux fractions dans sa chaîne carbonée, on distingue une fraction polaire grâce à son groupement hydroxyle et une fraction apolaire. Par conséquent, il est soluble aussi bien dans l'eau que dans les solvants organiques non polaires [29].

**Tableau II.1 :** Caractéristiques physico-chimiques de l'éthanol [29].

| Formule moléculaire       | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH  |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Masse molaire             | 46 ,07 g/mol                      |
| Densité                   | 0,789 g/cm <sup>3</sup> , liquide |
| Température d'ébullition  | 78,5°C(173°F)                     |
| Température de fusion     | -117°C                            |
| Solubilité dans l'eau     | Miscible avec l'eau               |
| Acidité (pKa)             | 15,9                              |
| Indice de réfraction (nD) | 1,36 (25 °C)                      |
| Moment dipolaire          | 1,69 D                            |

### II.3.1. Types de l'éthanol :

L'éthanol est produit sous deux formes : hydratée et anhydre.

L'éthanol à l'eau : L'éthanol hydraté est habituellement fabriqué par distillation à partir de la biomasse fermentée et renferme des restes aqueux.

L'éthanol déshydraté : Il s'agit d'éthanol à 100% pur. Il est nécessaire d'effectuer un processus supplémentaire de déshydratation pour obtenir de l'éthanol anhydre [29].

### II.3.2. Procédés de production du bioéthanol :

Il Ya 3 procédés de production du bioéthanol :

- **Hydrolyse chimique :** Ce processus emploie un ou plusieurs réactifs chimiques pour hydrolyser les hémicelluloses et la cellulose à l'aide d'un acide, qu'il soit dilué ou concentré [30].
- **Hydrolyse enzymatique :** Dans le contexte biologique, l'hydrolyse est catalysée par des enzymes généralement appelées cellulases (comprenant de l'endo- et de l'exo-glucanase ainsi que des  $\beta$ -glucosidases). Une préparation préalable est nécessaire pour rendre la cellulose vulnérable à l'action des enzymes [31].

- **Fermentation éthanolique :** L'hydrolyse de la biomasse lignocellulosique génère principalement des pentoses (par exemple, la xylose et l'arabinose), des disaccharides (comme la cellobiose) et du glucose, l'éthanol peut être aisément produit à partir de ce dernier par la levure *S. cerevisiae*, qui est employée par fermentation alcoolique [30].

### **II.3.3. Utilisation du bioéthanol**

Le bioéthanol ne se cantonne pas à un usage dans le domaine des combustibles ou la production d'énergie, il est également utilisé dans les domaines pharmaceutique et médical. Son potentiel commercial s'étend à l'industrie chimique où il est employé comme solvant destiné aux secteurs des spiritueux, des cosmétiques, des encres d'impression et des vernis, comme l'alcool isopropylique (IPA), l'acétate d'éthyle (EAC), le produit antigel WABCO (désinfectant et nettoyant pour appareils électroniques, solvant), la vinasse ainsi que le sulfate de potassium (utilisés comme aliments pour animaux et engrais) et d'autres applications telles que la fabrication du thermol (fluide froid pour unités de réfrigération et pompes à chaleur) [32].

### **II.3.4. Avantages et inconvénients de bioéthanol**

Évaluation des avantages et des inconvénients du bioéthanol en tant que biocarburant [33].

**Tableau II.2 : Avantages et les inconvénients du bioéthanol [33].**

| <b>Avantages</b>                                                                                                                                | <b>Inconvénients</b>                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Diminution des émissions de dioxyde de carbone et meilleur rendement énergétique des moteurs à explosion                                        | Les véhicules utilisant l'E85 produisent des émissions plus élevées d'oxyde d'azote, d'éthylène et d'acétaldéhyde que les véhicules à essence |
| Indice d'octane* élevé permettant une meilleure efficacité des moteurs à explosions                                                             | Indice de cétane** faible ne permettant pas son utilisation dans les moteurs à combustion interne sans l'ajout d'un accélérateur d'ignition   |
| Diminution des émissions de particules, de soufre, de benzène et de butadiène 1-3                                                               | Augmentation des émissions d'hydrocarbures par évaporation nécessitant un réglage de la pression de vapeur du carburant                       |
| Risque moins élevé de formation d'ozone que l'essence et le diesel                                                                              | Emission d'acide acétique en cas de réaction entre le catalyseur et le carburant résiduel à l'échappement                                     |
| Biodégradable                                                                                                                                   | Corrosion des pièces en contact avec l'éthanol                                                                                                |
| Capacité énergétique inférieure à celle de l'essence (21285 kJ kg <sup>-1</sup> pour l'éthanol contre 32020 kJ kg <sup>-1</sup> pour l'essence) | Augmentation de la consommation volumique de carburant                                                                                        |
| Diminution de la dépendance au pays producteurs de pétrole                                                                                      | Prix encore élevé                                                                                                                             |
| Stimulation du milieu rural                                                                                                                     | Concurrence entre alimentation et énergie                                                                                                     |

\* L'indice d'octane représente : indique les propriétés anti-détonantes d'un carburant. Ceci correspond à la proportion d'isooctane présente dans un mélange d'isooctane et d'heptane normal qui, lorsqu'elle est employée pour faire fonctionner un moteur CFR (Cooperative Fuel Research) opérant dans des conditions standardisées, génère la même intensité de détonation que l'essence examinée [33].

\*L'indice de cétane : il s'agit de la mesure de la capacité d'un carburant à s'enflammer. C'est particulièrement crucial pour les moteurs diesel où le carburant doit s'enflammer de lui-même à cause de la compression. Un indice de cétane élevé rend ainsi l'auto-inflammation d'un carburant plus facile [33].

## II.4. Levures

Les micro-organismes, également connus sous le nom de microbes et protistes, constituent un groupe d'organismes microscopiques qui sont invisibles sans microscope. C'est leur unique similitude, car ils se distinguent et fluctuent en aspects de morphologie, physiologie, méthode de reproduction et d'écologie. [34].

Les levures telles que *Saccharomyces* (*S. cerevisiae*, *S. uvarum* ou *carlsbergensis*, *S. bayanus*), *Schizosaccharomyces* (*S. pombe*) et *Kluyveromyces* (*K. fragilis*) font partie des micro-organismes les plus reconnus pour leur aptitude à transformer les sucres, en particulier le glucose et le saccharose, en éthanol. Plusieurs espèces bactériennes connues ont également la capacité de générer de l'éthanol à partir des sucres. Parmi les exemples, on trouve *Zymomonas mobilis* [35].

Les levures sont des champignons unicellulaires eucaryotes se reproduisant par bourgeonnement ou division, sont classées en trois groupes : basidiomycètes, deutéromycètes et ainsi, les levures sont considérées comme des aérobies facultatifs. En présence d'oxygène, le glucose est métabolisé par la voie aérobie. Cependant à l'absence d'oxygène les levures doivent effectuer la fermentation alcoolique, cette méthode produit nettement moins d'énergie que la respiration aérobie, la demande en glucose s'accroît de manière significative [36].

#### II.4.1. Levure de type *saccharomyces cerevisiae*

*Saccharomyces cerevisiae*, un eucaryote unicellulaire domestiqué il y a environ 10 000 ans, est l'un des micro-organismes les plus étroitement liés à l'homme. Le *Saccharomyces cerevisiae* fait partie de la famille des *Saccharomycetaceae*. C'est un organisme unicellulaire qui présente une forme cellulaire ovale ou sphérique, avec des dimensions variant de 2,5 à 10  $\mu\text{m}$  sur 4,5–21  $\mu\text{m}$  [37].



**Figure II.1 :** *S. cerevisiae*.

##### II.4.1.1. Taxonomie

Règne : *Champignons*

Division : *Ascomycota*

Sous-division : *Saccharomycotina*

Classe : *Saccharomycetes*

Ordre : *Saccharomycetales*

Famille : *Saccharomycetaceae*

Espèce : *Saccharomyces cerevisiae* [36]

#### **II.4.1.2. Cycle de vie :**

La levure *Saccharomyces cerevisiae*, considéré comme haplo-diplobiontique, elle se présente sous deux : la forme diploïde et la forme haploïde, selon deux types de division cellulaire :

la reproduction sexuée : créer un zygote diploïde, ce mécanisme s'appelle la conjugaison. Lorsqu'en état de déficit nutritionnel, une souche diploïde réalise la méiose et la sporulation. La reproduction asexuée végétative : la cellule mère peut générer une cellule fille chromosomiquement identique durant les phases G1, S, G2 et M la levure *Saccharomyces cerevisiae* se divise par le processus de bourgeonnement les cellules haploïdes, le bourgeonnement se fait de manière axiale alors que les cellules diploïdes de manière bipolaire. Dans certaines conditions de manque de nutriments, tant les haploïdes que les diploïdes peuvent également former des filaments envahissants connus sous le nom de pseudohyphes [36].

#### **II.5. Fermentation alcoolique par levure**

L'une des plus anciennes technologies de l'humanité, remontant au Néolithique, est la fermentation de diverses sources de glucides d'origine végétale par la levure. Actuellement encore, les levures demeurent essentielles pour diverses procédures biotechnologiques, comme la fermentation de la bière, du vin et des biocarburants. Cependant, la compréhension totale des réseaux régulant l'expression génique impliqués dans la fermentation alcoolique reste encore à atteindre.

Un des traits distinctifs majeurs de la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* est sa vitesse remarquable à transformer les sucres en éthanol et dioxyde de carbone, que ce soit dans un environnement anaérobie ou aérobie [38].

### **II.5.1. Procédés de fermentation alcoolique**

La production de bioéthanol par fermentation de biomasse s'effectue dans des bioréacteurs ou fermenteurs. Dans cette configuration, les conditions de fermentation (pH, température, agitation, aération) sont maîtrisées, ce qui permet d'optimiser le rendement de production.

Selon divers modes d'exploitation des bioréacteurs sont disponibles pour l'alimentation et le soutirage du milieu de culture [38].

#### **\*Procédés discontinus**

La production d'éthanol peut s'effectuer à travers des méthodes par lots, également connues sous le nom de batch, dans des bioréacteurs de grande capacité.

Les systèmes de culture discontinue représentent des systèmes fermés pour la phase liquide. Toutefois, on peut intervenir dans le processus de fermentation en contrôlant, par exemple, le pH ou la quantité de mousse, donc le système n'est pas entièrement isolé. Les rendements de ces types de cultures ne sont pas uniformes tout au long du processus, car la composition de l'environnement change pendant la fermentation. Le remplissage et la vidange des cuves lors de l'utilisation de cultures en lot entraînent des périodes d'inactivité [38].

#### **\*Procédés Fed-batch**

Les méthodes semi-discontinues, connues sous le nom de fed-batch, suivent les mêmes principes. Cependant, lors du processus de fermentation, des éléments tels que le substrat ou certains précurseurs sont ajoutés de manière contrôlée et une portion des produits peut être extraite du milieu.

Le Fed-batch offre un gain de temps, booste la productivité et permet d'ajuster le milieu pendant la culture, cependant, il présente un risque accru de contamination [38].

#### **\*Procédés continus**

Les systèmes continus sont des systèmes ouverts qui conservent une population cellulaire dans un milieu stable en substituant une portion de la culture avec du milieu frais. On distingue deux catégories : le chémostat, qui introduit un nutriment à une vitesse constante, et le turbidostat, qui préserve une densité cellulaire stable.

Malgré leur productivité élevée, ils comportent des désavantages tels que le risque de lessivage et d'inhibition du métabolisme [38].

### **\*Fermentations à haute densité**

L'éthanol, comme source d'énergie de substitution, peut être produit à partir de matériaux renouvelables. Des études sont en cours pour amplifier la production et diminuer les dépenses, en se focalisant sur la fermentation à haute densité. Cette méthode emploie des milieux contenant plus de 250 g.L<sup>-1</sup> de sucre, ce qui permet d'obtenir plus de 15 % d'éthanol [40].

Les méthodes de production exploitables sont identiques à celles employées en fermentation traditionnelle. Toutefois, l'emploi de milieux denses rend ces fermentations particulièrement sensibles à la température, à la concentration et à la viabilité cellulaire, à la composition du milieu, à l'existence d'oxygène et au taux d'éthanol. Tous ces paramètres ont un impact considérable sur l'efficacité de la fermentation [38].

## **II.6. Facteurs influençant la production de bioéthanol**

Les facteurs clés régissant la fermentation alcoolique sont :

- ✓ **Éthanol** : Durant la fermentation éthanolique, l'éthanol est fréquemment le premier facteur limitant, influençant à la fois l'expansion du micro-organisme et sa capacité à fermenter. Compte tenu de la toxicité potentielle de l'éthanol, les souches des genres *Saccharomyces* et *Schizosaccharomyces* semblent être les levures les plus résistantes [40].
- ✓ **Température** : L'existence des cellules de levures est influencée par des températures supérieures à 35 °C. On note également que là on note également que la température maximale de croissance de *S. cerevisiae* se réduit lorsque le taux d'éthanol dans l'environnement de culture s'accroît, et que pour des niveaux équivalents d'éthanol, la productivité spécifique en éthanol s'élève avec la température [35].
- ✓ **Oxygène** : L'oxygène exerce une influence de multiples facettes. Un léger apport d'air au milieu stimule le renouvellement des cellules de microorganismes. On note une nette amélioration du rendement en éthanol lors de la présence d'une microaération. Toutefois, une aération excessive favorisera principalement la production de biomasse par le métabolisme. Enfin, l'apport d'oxygène en quantité limitée accroît la résistance des souches à des concentrations élevées d'éthanol [35].

- ✓ **pH :** Les variations de pH dans l'intervalle de 3,5-6 n'affectent pratiquement pas les vitesses de fermentation des levures [35].
- ✓ **Éléments minéraux :** Comme source d'azote, les souches productrices d'éthanol utilisent, dans un ordre préférentiel, l'azote provenant des aminoacides, l'azote ammoniacal et enfin l'azote de l'urée. Parmi les autres macroéléments, les plus importants sont le phosphore, le potassium et le magnésium [35].
- ✓ **Gaz carbonique :** L'effet inhibiteur du gaz carbonique sur la croissance et l'activité fermentaire a été démontré pour des concentrations relativement importantes en CO<sub>2</sub> dissous [35].

### **Conclusion :**

Ce chapitre se concentre sur l'étude des processus de production d'éthanol, en mettant l'accent sur la fermentation alcoolique et les facteurs et conditions qui influencent sa production.

## ***Chapitre III: Matériels et méthodes***

### III. Introduction :

La production du bioéthanol est en adéquation avec la consommation croissante dans divers secteurs tels que l'industrie chimique, cosmétique, pharmaceutique et également utilisé comme biocarburant et dans le domaine médical en tant qu'antiseptique et désinfectant etc.

Notre travail expérimental basé sur :

- Production du bioéthanol à partir des dattes de faible valeur marchand de type Ghars et Degla Beïda (Garbaï) ;
- Etude comparative de rendement d'extraction et l'efficacité de la levure *Saccharomyces cerevisiae* dans le processus de fermentation pour produire l'éthanol.

Le processus de la production du bioéthanol a été réalisé au laboratoire de recherche de Chimie des Substances Naturelles et Biomolécules (Université Blida1) et la distillation pour extraire l'éthanol a été faite au pavillon 5 (Université Blida1).

#### III.1. Méthodes et matériels :

Nous avons choisi deux types de dattes, « Ghars » et « Degla Beïda », ainsi que de la levure boulangère commerciale (*Saccharomyces cerevisiae*) pour faire notre étude comparative. Le choix se base sur l'abondance de ses deux variétés de biomasse et la disponibilité de la levure de boulanger sur le marché.

##### III.1.1. Matériel biologique :

**1-Matière première :** dattes Ghars et Degla Beïda .



**Figure III.1 :** Photo des dattes : (A) Ghars et (B) Degla Beïda .

**2- La levure *Saccharomyces cerevisiae*** (levure de boulanger Saf-instant) sous forme sèche utilisé pour la fermentation alcoolique [39].



**Figure III.2 :** Photo de levure de boulanger Saf-instant

### III.1.2. Caractérisation physique des dattes :

La biomasse issue des dattes peut être caractérisée par plusieurs méthodes tel que : **caractérisations morphologiques et l'humidité.**

**\*Les caractéristiques morphologiques** des dattes Ghars et Degla Beïda sont effectués sur dix dattes [40].

- ✓ La couleur de la datte déterminée visuellement ;
- ✓ Les dimensions (la largeur et la longueur) sont déterminées par le pied de coulisse ;
- ✓ Le poids moyen de la datte et la pulpe et aussi du noyau par une balance analytique de précision (OHAUS) ;
- ✓ Le gout et la consistance ;
- ✓ Le pourcentage (pulpe / datte) \*100 ;
- ✓ Le pourcentage (noyau / datte) \*100.

**\*Taux d'humidité :** On évalue l'humidité des dattes en procédant à la déshydratation d'un échantillon du produit dans une étuve, jusqu'à ce qu'il atteigne un poids stable. Nous avons pesé une datte fraîche, ensuite nous les avons mises dans un verre de menthe et placées dans une étuve à une température de 50°C [41] . **(Protocol modifier).**

La formule suivante exprime le taux d'humidité :

$$H\% = \frac{M1 - M2}{P} \times 100$$

**M1 :** masse de la datte avant étuvage en (g).

**M2** : masse de la datte après étuvage en (g).

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

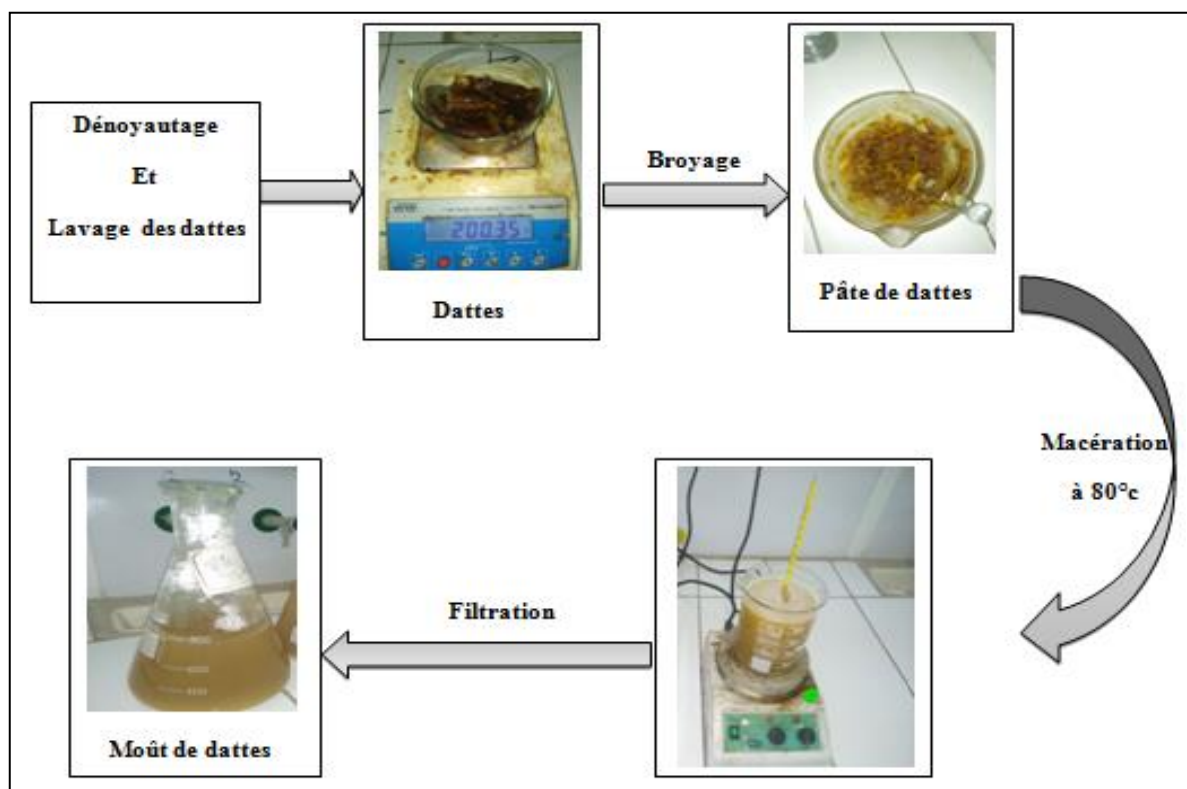
$$\text{Matière sèche} = 100 - H\%$$

### III.1.3. Préparation du moût de dattes :

#### Préparation du moût de dattes

Le moût de dattes a été préparé comme suit :

- **En premier étape c'est la préparation de la pâte de dattes** : Après avoir dénoyauté et nettoyé les dattes séparément par l'eau tiède et propre pour éliminer toutes les impuretés, nous pesons 200g de dattes.  
Les dattes préparées sont ensuite séchées. Nous broyons directement les dattes Ghars dans un mortier, tandis que nous hachons les dattes Degla Beïda en petits morceaux à l'aide d'un hachoir électrique.
- **La deuxième étape c'est la macération à chaud** : Ce processus consiste à tremper la pâte de dattes obtenue dans 800 mL d'eau distillée au sein d'un erlenmeyer de capacité 1 Litre et suivie la température à l'aide d'un thermomètre afin qu'elle ne dépasse pas 80°C pendant une durée de 45 minutes sous agitation jusqu'à la dissolution totale de la pâte de dattes dans l'eau.
- **Finalement la troisième étape c'est la filtration du mélange** : A la fin le mélange préparé est filtré après le refroidissement pour obtenir le moût de dattes [39]. Comme montre la figure si dessous :



**Figure III.3 :** Schéma représente les étapes de préparation du moût de dattes

#### III.1.4. Caractérisation physico- chimiques du moût de dattes

**\*Mesure de pH :** Les valeurs de pH sont déterminées à l'aide d'un pH mètre de marque (HANA) [42] .

**\*Acidité titrable :** On a prélevé 25 mL du moût de dattes dans un erlenmeyer de 50 mL et ajouté trois gouttes de phénolphtaléine comme indicateur coloré. Ensuite, on a mesuré l'acidité en utilisant une burette avec une solution d'hydroxyde de sodium à concentration 0,1N jusqu'à atteindre un pH de 8 [41]. **(Protocol modifier)**.

L'acidité titrable exprimer par la formule suivante :

$$A\% = [(25 \times V_1 \times 100) / (V_0 \times M \times 10)] \times 0,07$$

**Tel que :**

**A :** L'acidité titrable.

**M :** Poids, en grammes, du produit échantillonné.

**V<sub>0</sub> :** Volume prélevé de l'échantillon testé.

**V<sub>1</sub> :** Volume de la solution d'hydroxyde de sodium employée lors de la titration (0.1N).

**La valeur 0,07** : représente le coefficient de transformation de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique.

On exprime l'acidité titrable en termes de grammes d'acide citrique pour chaque 10g de produit.

**\*Détermination des sucres totaux et les matières solides solubles par réfractomètre :**

Le réfractomètre c'est un appareil de mesure permet de mesurer l'indice de réfraction d'un milieu et le pourcentage de la concentration en matières sèches dans les jus sucrés pour reconnaître une espèce chimique et vérifier sa pureté.

L'indice de réfraction décrit comme le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et sa vitesse dans le milieu pris en compte [43].

La concentration des sucres totaux et d'autres matière solide qui sont présents dans le moût de dattes sont déterminé à l'aide un réfractomètre (marque Abbe), ce dernier nous permet de lire l'indice de réfraction et le degré Brix [44].

La formule suivante fournit la valeur du **Brix** [40] :

$$^{\circ}Brix \% = M \times \frac{M1}{E}$$

**M1** : La masse des solides solubles dans 100 g de l'échantillon utilisé

**M** : La masse de la solution contenue dans l'erenmeyer en g

**E** : La masse de la matière première utilisé en g



**Figure III.4** : Photo de réfractomètre.

**\*Densité :** Nous avons rempli le pycnomètre de 10mL avec du moût de dattes, puis nous avons effectué une pesée à l'aide d'une balance OHAUS précise [6]. La densité est calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Densité} = \frac{m_1 - m_2}{V}$$

**m<sub>1</sub> :** Poids de l'échantillon en (g)

**m<sub>2</sub> :** Poids de pycnomètre en (g)

**V :** Volume de pycnomètre 10cm<sup>3</sup>

**\*Identification des sucres par chromatographie sur couche mince :**

La chromatographie de couche mince de gel de silice est une analyse qualitative pour identifier et séparer les composants d'un mélange son principe basé sur la migration des composants en fonction de leur affinité avec la phase stationnaire et la phase mobile. Nous avons effectué un dosage par CCM gel de silice pour identifier les sucres majeurs qui se trouve dans le moût de dattes. Les sucres migrent avec vitesse différentes, les spots visualisés par un révélateur NIGRAM.

**Mode opératoire :**

1. Dimensions des plaques CCM : 8 x 6 cm
2. Préparation de la phase mobile :
  - Solution A : 94 mL acide acétique + 6 mL d'eau distillé
  - Solvant de la phase mobile : solution A + 44 mL de chloroforme
3. Préparation de révélateur NIGRAM : 4 mL aniline + 100 mL acétone + 20 mL acide orthophosphorique 85%
4. Mettre le solvant dans la cuve et recouvrir les parois interne de la cuve par un papier filtre et laisser une heure après la saturation.
5. Mettre les plaques à 100°C pendant 30min pour réactiver puis tracer la ligne de dépôt 1cm et à l'aide d'un capillaire prélever une petite quantité de chaque échantillon pour faire des spots sur la plaque puis mettre la plaque dans la cuve jusque le front de solvant atteint 0,5 cm du bord supérieur de la plaque.

6. Retiré la plaque de la cuve puis séché et à la fin pulvérisé le révélateur de NIGRAM sur la plaque et mettre le chromatogramme 15min dans l'étuve.
7. Calculer les Rf pour identifier les taches [44].

**\*Dosage des sucres réducteur par la méthode de DUBOIS :**

La méthode de DUBOIS est utilisée pour établir la concentration des sucres réducteur dans l'échantillon, cette méthode fondée sur l'interactions entre le phénol et l'acide sulfurique. Le phénol près de l'acide sulfurique à chaud, réagit avec les glucides, donnant une couleur jaune-orange (le glucose converti à hydroxy-furfural). La lecture de l'absorbance à longueur d'onde de 490 nm [42] [45].

a) - Dans des tubes a essais on prélève 1mL de l'échantillon dilué par un facteur de dilution F et on ajoute 1mL de phénol 5% et 5ml acide sulfurique concentré  $H_2SO_4$  puis on mesure l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible (marque RAYLEIGH) à 490nm.

A partir de la courbe d'étalonnage du glucose on obtient les concentrations.

b) -Courbe d'étalonnage de D- Glucose : Nous avons préparé une solution standard de glucose de concentration  $1g.L^{-1}$  et, à partir de cette dernière, nous avons effectué des prélèvements pour la dilution en solutions filles de différentes concentrations dans des fioles de 20mL.

### **III.1.5. Optimisation et Production du bioéthanol**

Pour avoir une bonne production du bioéthanol, nous avons optimisé quelques paramètres comme le mode d'agitation, la quantité de levure ajouté, la température, etc...

La fermentation se fait en mode discontinue et anaérobie par trois processus :

- **Fermentation dans l'incubateur agité :** nous avons préparé des échantillons dilués avec facteur de dilution de volume final de 200mL incubé dans un incubateur agité à température  $30^{\circ}C$  pendant 72h, l'agitation se fait de manière rotative avec une rotation de 180 rpm.
- **Fermentation dans un bain marie agité:** nous avons préparé des cultures contient du moût de dattes Ghars et Degla Beïda concentré et dilué incubé dans un bain marie à température  $40^{\circ}C$  pendant 72h, l'agitation se fait de manière linéaire avec une faible vitesse (3 secouer) [39].

- **Fermentation discontinue par le dispositif de fermentation statique :** nous avons préparé deux bioréacteurs de volume 300mL du moût de dattes Ghars et Degla Beïda incubé dans un dispositif de fermentation statique à température 30°C pendant 72h [39] .

Plusieurs facteurs influencent sur la fermentation alcoolique tels que la température, la variété de pH, la quantité de levure, la durée de fermentation, l'agitation, et la concentration en sucres etc. ...

\* On a préparé 13 échantillons (cultures) pour les deux variétés contenant de moût de dattes dilué et concentré dans le but d'établir des cultures et d'optimiser les paramètres de fermentation pour produire le bioéthanol, les cultures sont préparées et fermentées sous différentes conditions :

-Les pH initiaux des moûts et entre 4,71 et 5,03.

-Trois échantillons du moût de dattes (D1, D2, D3 et D4) sont préparés avec des facteurs de dilutions F1, F2, F3 et F4 respectivement égale à 5 ; 10 ; 10 et 100, le volume final étant fixé à 100 mL, la fermentation se fait dans un incubateur agité à température de 30°C pendant une durée de 72 heures. Pour cela, on utilise une quantité de levure 1g pour tous les échantillons et 2g pour l'échantillon D2.

-Trois autres échantillons ont été préparés (D5, D6 et D7) en utilisant des facteurs de dilution F5, F6 et F7 respectivement égale à 10, 10 et 20 pour obtenir un volume final de 200 mL. Ces derniers ont été incubés dans un incubateur agité à température de 30°C pendant une durée de 72 heures avec une levure d'1g, tandis que l'échantillon D7 a utilisé 2g.

-Élaboration des échantillons (D8, D9, D10 et D11) contenant du moût de dattes dilué selon différents facteurs de dilution F8, F9, F10, F11 respectivement équivalents à 2,5 ; 5 ; 10 ; 20 pour un volume final de 200 mL. Ces derniers ont été incubés dans un incubateur agité à une température de 30°C pendant une durée de 48 heures avec 1g de levure pour les échantillons D8, D9 et D10. L'échantillon D11 a été incubé dans un bain-marie agité à une température de 40°C pendant 72 heures avec une quantité de levure s'élevant à 0,3g.

-Deux cultures ont été préparées en contenant chacun 300 mL du moût de dattes concentré. Le premier a été incubé dans un bain marie agité à 40°C pendant 72 heures avec une quantité de levure de 0,3g.

Et l'autre, a été incubé dans un bioréacteur statique à 30°C pendant la même durée et avec la même quantité de levure, pour les deux variétés de dattes (DB, GH, DBm, GHm).

**Notes :**

D1, D2, D3, D4, D5, D6, D8, D9, D10 et D11 : Représente des échantillons qui contiennent du moût de dattes dilué avec l'eau distillé par des facteurs de dilution respectivement F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10 et F11, préparé pour le processus de fermentation dans un incubateur agité et dans un bain marie agité.

F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10 et F11 : Correspondant à des facteurs de dilution, calculer par la loi suivante :  $F = V_f/V_i$

V<sub>f</sub>= Volume final

V<sub>i</sub>= Volume initial (volume du moût de dattes prélever)

GHm et DBm : Des cultures contenant du moût concentré de dattes avec levure pour le dispositif expérimental de fermentation.

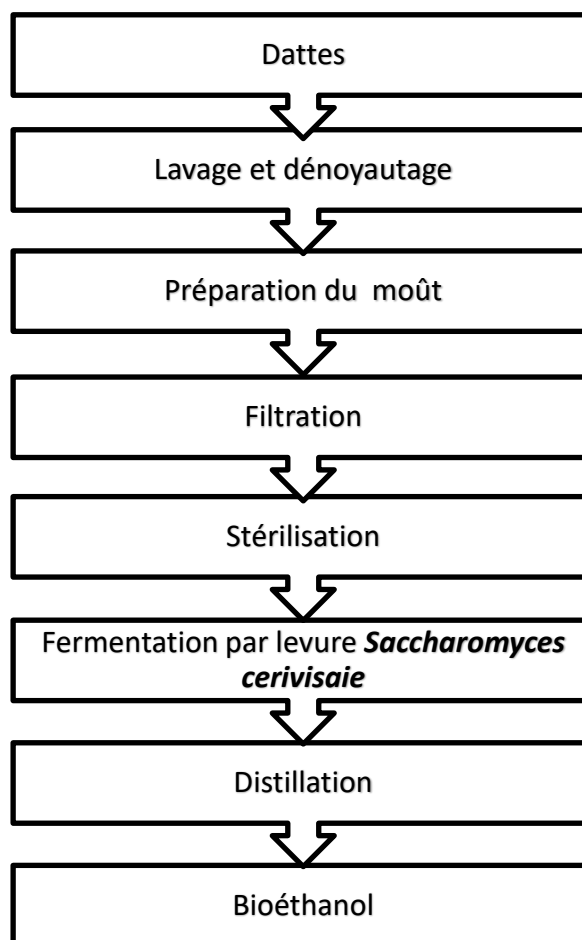
GH et DB : Des cultures contenant du moût de dattes concentré avec levure, incubé dans un bain marie.

### III.1.6. Production du bioéthanol :

Le processus de fabrication du bioéthanol inclut plusieurs étapes, débutant par la stérilisation du moût, suivie de l'incubation, puis de la centrifugation et enfin, la distillation.

#### Etapes de la production du bioéthanol :

L'organigramme suivant montre les étapes de la production du bioéthanol



**Figure III.5 :** Diagramme de la production du bioéthanol

Suite à l'optimisation, nous avons consacré à la méthode de fermentation alcoolique par le dispositif statique et dans un bain-marie agité.

La production du bioéthanol se fait par les étapes suivantes :

**a) -Préparation des échantillons :** Nous avons préparé quatre échantillons :

Deux flacons contiennent du moût concentré de dattes Ghars (GH) et Degla Beïda (DB) et deux autres contiennent bioréacteurs DBm (Degla Beïda) et GHm ( Ghars ) pour le dispositif de fermentation avec deux échantillons témoins DBT et GHT. Chaque flacon a une capacité de 500 mL, mais ils sont remplis avec 300 mL du moût concentré chacun.

**b) -La stérilisation dans l'autoclave :**

Les échantillons sont stérilisés dans l'autoclave pendant 1h à 121°C. Les flacons fermés par un coton cardé et aluminium.

**c)-Fermentation alcoolique par la levure *Saccharomyces cerevisiae* :**

➤ **Processus de bain marie agité :**

L'ajout de levure *Saccharomyces cerevisiae* après la stérilisation près de bec bunsen avec une masse de 0,3g et de pH initial du moût égale à 4,73 pour Degla Beïda et 4,76 pour Ghars, les flacons fermés hermétiquement par des ballons GH et DB pour garantir les condition anaérobiose et pour visualiser le dégagement de CO<sub>2</sub>.

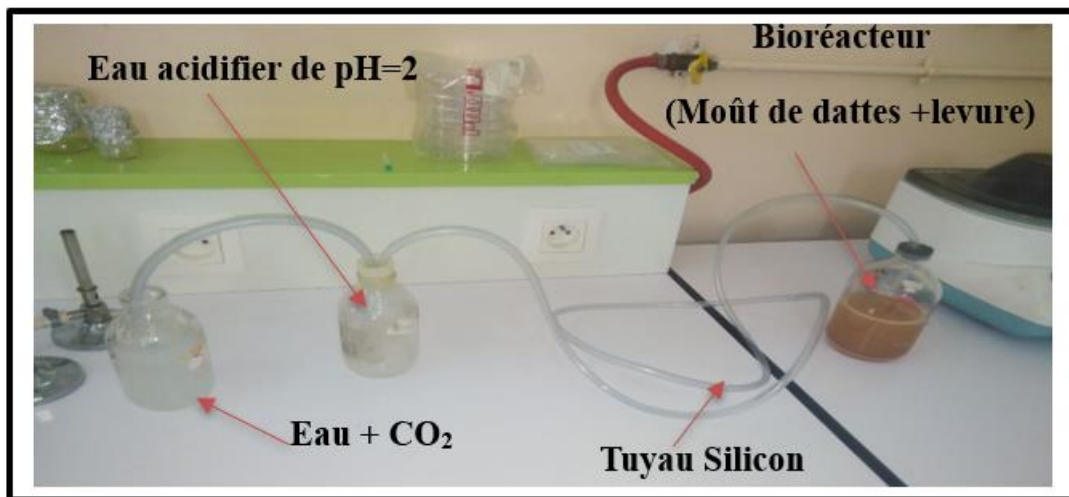
La fermentation se fait à l'aide du bain marie agité à température 30°C pendant 72h.

➤ **Le dispositif de fermentation statique et agité :**

La fermentation du moût de dattes concentré par la levure *Saccharomyces cerevisiae* se fait dans un bioréacteur de capacité 500mL remplie à 300mL (2/3Volume) du moût en mode discontinue avec un pH de 4,76 et une masse de 0,3g de levure. Le bioréacteur est fermé de manière hermétique puis placé dans un bain marie agité à température 30°C et avec une faible vitesse pendant 72h.

Pour le dispositif statique, les procédures restent les mêmes, à l'exception que la fermentation s'effectue dans un bioréacteur de manière statique avec un pH de moût égale 4,73.

Un tuyau fin relie le bioréacteur à une bouteille d'eau de pH =2, ce qui permet de quantifier le volume de dioxyde de carbone généré pendant la fermentation alcoolique.



**Figure III.6 :** Dispositif d'un bioréacteur statique.

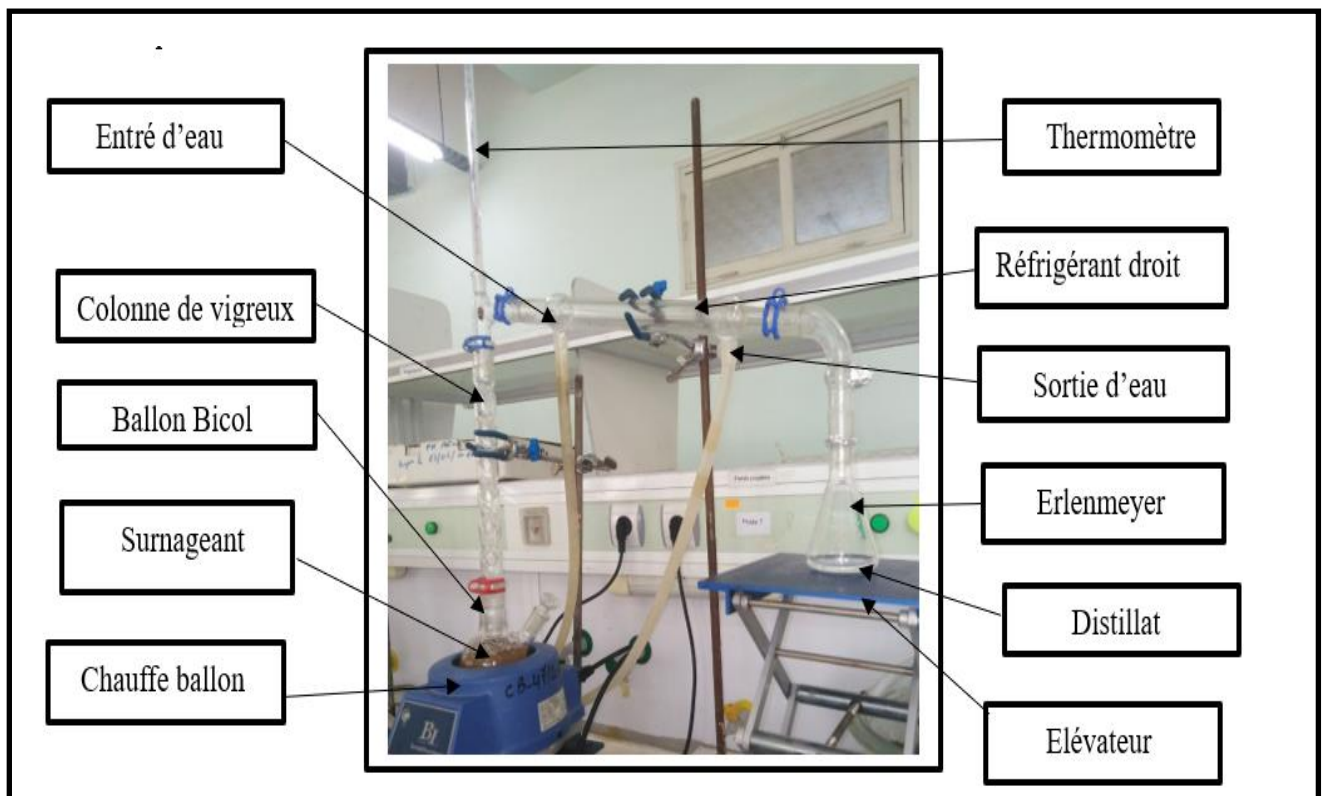
#### **d)-Centrifugation :**

La centrifugation se fait à la fin de fermentation alcoolique du moût de dattes grâce à une centrifugeuse (marque SIGMA) pour séparer la biomasse de liquide pendant 20min et rotation 4500 rpm à 10°C [46].

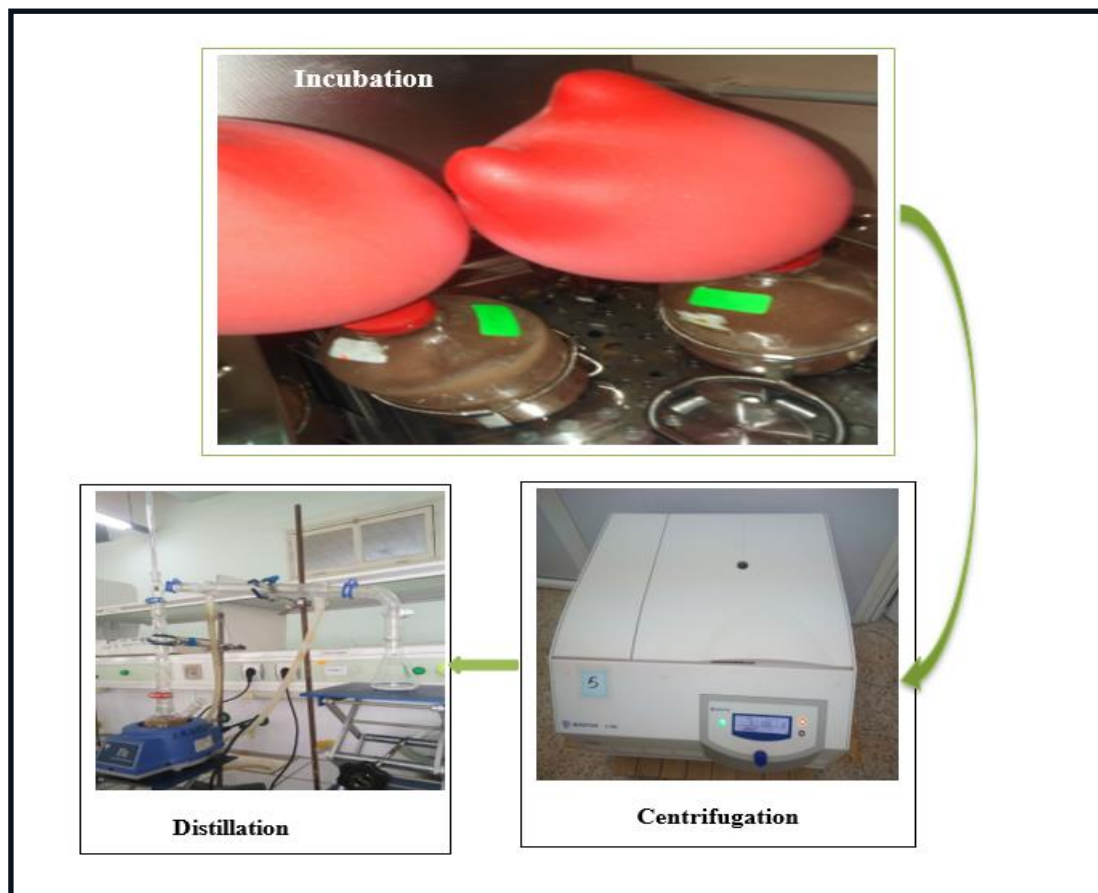
#### **III.1.7. Distillation :**

Après la production du bioéthanol par la fermentation de dattes. On passe à l'extraction du bioéthanol par la distillation. La distillation se fait par le montage de distillation fractionnée qui nous permet de séparer deux constituant de mélange homogène grâce à ses températures d'ébullition [39].

La distillation est mise en œuvre après la centrifugation pour séparer l'éthanol de l'eau à température 78°C [51].



**Figure III.7 :** Photo du montage de distillation fractionné.



**Figure III.8 :** Production du bioéthanol par le processus du bain marie agité.

### III.1.8. Évaluations chimiques des échantillons :

Au cours de la fermentation, nous avons suivi la production du bioéthanol par le pH, teste de dégagement de CO<sub>2</sub> etc...

**\*pH :** Vérification du pH après le processus pour s'assurer qu'il y a une fermentation effectuée par la levure.

**\*Teste de CO<sub>2</sub> :** Le dioxyde de carbone fait partie des produits issus du processus de fermentation alcoolique. Pour prouver qu'il y a une libération de dioxyde de carbone pendant la fermentation, nous avons réalisé un test de CO<sub>2</sub> [46].

la mesure de CO<sub>2</sub> lors de la fermentation s'effectue selon deux méthodes : Gonflement des ballons ou par la méthode de déplacement de liquide.

**\*Mesure de la densité du moût après fermentation :** de la même technique que celle utilisée pour le moût avant fermentation.

**\*Mesure le poids de la biomasse :** la séparation de la biomasse de liquide dans une centrifugeuse SIGMA a température 10°C et rotation de 4500 rpm pendant 20min. Le culot obtenu est humide, séché dans l'étuve pendant 3 jours a température 30°C puis pesé la masse de la biomasse à l'aide d'une balance de précision (OHAUS) [46].

### III.1.9. Analyses de produit final (Bioéthanol) :

Les tests suivants sont effectués sur le bioéthanol obtenu :

**\*La densité de bioéthanol :** Établir la densité en utilisant un pycnomètre de volume 10mL selon la formule suivante [42] [44] :

$$Densité = \frac{Poids\ de\ jus\ de\ dattes}{poids\ de\ l'eau\ distillé\ a\ 4^{\circ}c}$$

**\*Indice de réfraction :** Déterminer l'indice de réfraction par un réfractomètre puis en se référant à une courbe d'étalonnage de l'éthanol 96% pour déterminer la concentration du bioéthanol [47].

### **\*Caractérisation structurale de bioéthanol par spectrophotométrie infrarouge IR :**

La spectroscopie infrarouge est basée sur le mécanisme de l'absorption, où le rayonnement infrarouge est absorbé à différentes fréquences pour transformer la molécule en énergie. Cette absorption peut être quantifiée et fournir des spectres sous forme de raies ou de bandes [48] .

Pour vérifier que le produit final, c'est un alcool, les extraits sont analysés par un spectrophotomètre infrarouge de marque Thermo SCIENTIFIC iSO10, qui est représenté dans la figure ci-dessous. Ce derrière nous fournit des bandes caractéristiques déterminées avec des longueurs d'onde spécifiques pour chaque groupement fonctionnel [39].



**Figure III.9 : Spectrophotométrie infrarouge**

**\*Inflammabilité :** Le bioéthanol a la capacité de s'enflammer lorsqu'il est mis à proximité d'une source de chaleur. Dans ce test, on associe une flamme à une quantité spécifique du bioéthanol [39].

**\*Efficacité de la production :** Se fait à partir le calcul du rendement d'extraction par le rapport entre la quantité du bioéthanol obtenu et la masse de la matière première insérée dans le réacteur de fermentation [49].

## ***IV. Résultats et discussions***

## IV. Introduction

Ce chapitre présente les résultats et des interprétations tirés des recherches que nous avons menées basées sur des objectifs préalablement définis et mentionnés dans le chapitre III.

Nous avons discuté des résultats que nous avons trouvés ainsi que des observations sur les analyses et les tests effectuées et nous avons comparé avec des études précédentes, et à la fin, nous avons conclu et établi notre perspective sur la future de bioéthanol.

### IV.1. Caractérisation physique des dattes

#### \*Caractéristiques morphologiques

Le tableau ci-dessous représente les attributs morphologiques des deux variétés de dattes :

**Tableau IV.1** : Caractéristiques morphologiques des dattes Ghars et Degla Beïda

| Variété                 | Ghars      | Degla Beïda     |
|-------------------------|------------|-----------------|
| Couleur                 | Brun-foncé | Blanc -jaunâtre |
| Consistance             | Molle      | Sèche           |
| Largeur moyen           | 2,2m       | 1,49cm          |
| Longueur moyen          | 4,1 cm     | 3,6 cm          |
| Poids de la datte moyen | 11,72g     | 6,2g            |
| Poids de noyau<br>Moyen | 1,12g      | 1,20g           |
| Noyau /datte%           | 9,5%       | 19%             |
| Poids de la pulpe       | 10,60g     | 5g              |
| %Pulpe/datte            | 90,44%     | 80,6%           |

Les résultats indiqués dans le tableau ci-dessus reflètent la moyenne sur dix dattes montre que les deux variétés des dattes possèdent des propriétés morphologiques distinctes :

- Les dattes Ghars présentent une couleur brun-foncé, tandis que Degla Beïda une couleur blanc-jaunâtre. La couleur peut servir d'indicateur de la qualité, ou comme signe de la fraîcheur ou de la détérioration. Pour les consommateurs, c'est un facteur déterminant dans l'évaluation de la qualité d'un produit [50].
- La consistance de deux variétés est différente. La variété Ghars c'est une variété molle alors que Degla Beïda est classé comme une variété sèche.
- Le poids moyenne des dattes Ghars est de 11,72g, tandis que celle des dattes Degla Beïda est de 6,2g.
- Le noyau des dattes Ghars pèse en moyenne 1,12g, celui les dattes Degla Beïda a un poids moyen de 1,20g.
- La pulpe est caractérisée par un poids moyen de 10,60g pour le Ghars et de 5g pour le Degla Beïda, donc Degla Beïda présente un faible pourcentage de pulpe par rapport le Ghars .
- La variété Ghars présente une largeur de 2,2 cm cependant la variété Degla Beïda se distingue par une largeur de 1,49 cm.
- Les dattes de la variété Ghars mesurent environ 4,1cm, alors que la variété Degla Beïda présente une longueur approximative de 3,6cm.

Selon **MELGI et SOURIAL** [51] ainsi que **MOHAMMED et al** [52] les critères à considérer pour évaluer la qualité acceptable de la datte et sa fraîcheur sont :

- Un poids de 6 g ou plus ;
- Une longueur de 3,5 cm ou plus ;
- Une largeur de 1,5 cm ou plus.

Donc les deux variétés présentent une qualité acceptable.

- Le pourcentage noyau /datte c'est une méthode d'évaluation de la qualité commerciale des dattes. Lorsque le pourcentage est faible cela veut dire que la qualité des dattes est bonne [44]. Correspond à 9,5% et 19% respectivement aux variétés Ghars Degla Beïda. Les dattes Ghars qui se situent entre 8 et 12% des normes mentionnées par **MUNIER** [10], de ce fait, ces dattes sont plus attrayantes en termes de qualité commerciale comparativement à la variété Degla Beïda.

- le pourcentage de la pulpe / datte permet la caractérisation des dattes pour la variété Ghars est égale à 90,44% et pour la variété Degla Beïda égale à 80,6%. Cela indique que la qualité des dattes est bonne lorsque le pourcentage est important.

Les résultats que nous avons obtenus est proche à celui indiqué par **MIMOUNI** [44].

#### **\*Taux d'humidité :**

Le taux d'humidité varie en fonction des différentes variétés, du niveau de maturation et des conditions climatiques [50].

Le taux d'humidité de la datte Ghars est 27 % et pour la matière sèche égale à 73% tandis que Degla Beïda présente un taux d'humidité de 14% et une composition en matière sèche qui s'élève à 86%. Le niveau d'humidité de la variété Ghars est similaire à celui mentionné par **MUNIER** qui était de 30% pour cette même variété [10]. Selon **ACOUREN et TAMA** [53], la plupart des dattes sèches ont une teneur en eau d'environ 14-15% .

Ces teneurs sont la raison pour laquelle ces deux types de dattes sont classifiés comme molles et sèches. Leur conservation avec un tel niveau d'humidité peut comporter des risques en entraînant une multiplication de micro-organismes et également une accélération d'autres réactions de détérioration (enzymatiques, biologiques, biochimiques) [54].

La datte Degla Beïda , grâce à sa faible humidité, préserve le fruit de la prolifération des microorganismes et favorise ainsi sa conservation prolongée [40].

## **IV.2. Caractérisations physico-chimiques du moût de dattes**

Les analyses physico-chimiques nous aident à d'optimiser et d'évaluer le processus et les paramètres de la production de bioéthanol.

**\*pH :** Beaucoup de bactéries se développent idéalement dans un pH proche de la neutralité, tandis que les levures et les moisissures prospèrent dans un environnement acide [55]. On mesure le pH avec un pH-mètre par un lecteur direct. Le pH du moût de dattes varie entre 4,9 pour Degla Beïda et 5,3 pour Ghars .

#### **\*Acidité titrable et la densité du moût :**

Le niveau d'acidité titrable dans la datte est en relation directe avec sa teneur en eau, ce qui signifie qu'il est inversement proportionnel à son stade de maturité, Les moûts de dattes présentent un pH acide (Al-Farsi et al) [56].

Cette acidité est généralement associée à la présence d'acides organiques, les plus courants étant l'acide tartrique, l'acide malique et l'acide citrique. L'acidité du moût sera donc déterminée par la concentration de ces éléments

Pour la densité du moût de dattes initial (avant fermentation) citée dans le tableau ci-dessous nous avons mesuré pour faire une comparaison avec la densité du moût après fermentation [39].

Le tableau suivant présente l'acidité titrable et la densité du moût de Ghars et Degla Beïda:

**Tableau IV.2 : L'acidité titrable et la densité des deux variétés de dattes**

| <b>Variété de dattes</b>  | <b>Ghars</b> | <b>Degla Beïda</b> |
|---------------------------|--------------|--------------------|
| Acidité titrable %        | 1,57         | 1,62               |
| Densité g/cm <sup>3</sup> | 1,214        | 1,209              |

#### **\*Détermination des sucres totaux et les matières solubles par réfractomètre :**

Le degré Brix, qui indique le poids en grammes de matière sèche présent dans 100g de produits, représente la concentration en solides solubles.

Le moût de dattes est plus riche en composés neutres tels que les monosaccharides, le disaccharide, les minéraux et les vitamines. Cependant, ces substances, reconnues comme des composants cruciaux pour la fabrication d'alcool et même pour la croissance des levures, nécessitent néanmoins un apport en composés azotés.

La teneur des sucres totaux et les matières solides solubles présentent dans le moût de dattes pour les deux variétés de dattes Ghars et Degla Beïda est respectivement 61% proche à celui indiqué par GOURCHALA et al [57], et 62,5% comparable au pourcentage indiqué par BOUKHIAR [40], pour les sucres réducteurs et le degré Brix.

Le degré Brix pour chaque 100g d'échantillon est 12,5° pour les matières solides solubles dans le moût de dattes de Degla Beïda et 12,1° pour le moût de dattes de Ghars.

**\*Identification des sucres par chromatographie sur couche mince :**

Nous avons travaillé sur deux plaques CCM , la CCM (A )et la CCM (B), la différence entre les deux c'est : chaque plaque contient des différents spots des échantillons , la CCM (A ) pour identifier les sucres qui se trouve dans les échantillons témoins avant fermentation  $BH_{TM}$  et  $DB_{TM}$  (moût Ghars et Degla Beïda, après la stérilisation ) et pour la CCM (B ) pour confirmer que les sucres majeurs sont consommées après fermentation dans les échantillons  $DB_M$  et  $BH_M$  et pour identifier les sucres majeurs qui contient dans la solution mère du Ghars (avant stérilisation )  $BH_{MR}$ .

**CCM(A) :** L'analyse qualitative via la chromatographie sur couches minces de gel de silice pour déterminer les principaux sucres présents dans les échantillons a conduit à l'identification de cinq taches distinctes, avec une couleur jaune, correspondant au glucose, fructose, saccharose et aux échantillons témoins.

Les résultats indiquent des spots, cela signifie que les échantillons témoins  $DB_{TM}$  et  $BH_{TM}$  contiennent les trois sucres majeurs confirmées par les valeurs des rapport frontaux. ( **D'après le chromatogramme voire l'annexe 2).**

**CCM(B) :** Identification de six taches distinctes, avec une couleur jaune, correspondant au glucose, fructose, saccharose et aux surnageants  $DB_M$  et  $BH_M$  (Après fermentation) et la solution mère de Ghars avant stérilisation  $BH_{MR}$ .

Les résultats indiquent des spots, cela signifie que l'échantillon  $BH_{MR}$  contient les trois sucres majeurs confirmées par les valeurs des rapport frontaux et les surnageants  $DB_M$  et  $BH_M$  contient les trois sucres majeurs mais de faible quantité, cela indique qu'ils ont été consommés lors du processus de fermentation. ( **D'après le chromatogramme indiqué dans l'annexe 2).**

Le rapport frontal est calculé comme suite :

$$Rf = \frac{h}{H}$$

H : Distance parcourue par le solvant

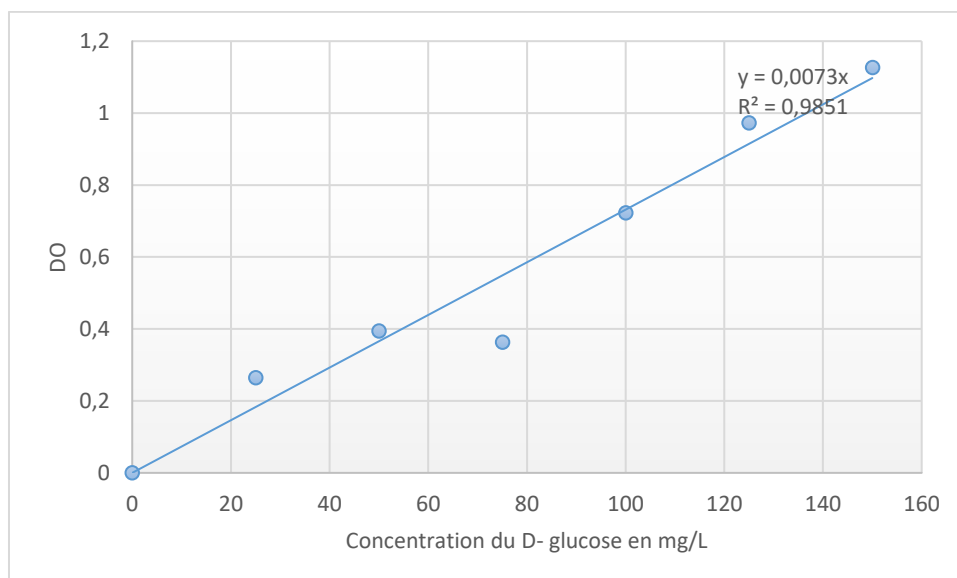
h : Distance parcourue par la substance

**Tableau IV.3 : Rapports frontaux des échantillons**

| CCM                      | CCM (A)                                                                                             | CCM (B)                                                                                                       |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rapports frontaux</b> | $f = 0,85 ; 0,77$<br>$g = 0,85 ; 0,77$<br>$s = 0,85 ; 0,77$<br>$BH_{TM} = 0,77$<br>$DB_{TM} = 0,85$ | $f = 0,2 ; 0,42$<br>$g = 0,2 ; 0,42$<br>$s = 0,2 ; 0,42$<br>$BH_M = 0,42$<br>$DB_M = 0,42$<br>$BH_{MR} = 0,2$ |

**\*Dosage des sucres réducteur par la méthode de DUBOIS :**

D'après la courbe d'étalonnage de D- Glucose on déduire le teneur du glucose dans les échantillons avant fermentation et les surnageants après fermentation GHm ,DBm ,DB et GH :



**Figure IV.1 : Courbe d'étalonnage de l'équivalent du D-Glucose**

Pour les échantillons GHm, GH, DBm et DB avant fermentation, la teneur en glucose égale à 104,93 mg/L pour GHm et GH, et à 114,93 mg/L pour DBm et DB. Ceci correspond à un facteur de dilution  $F=200$ .

Après fermentation : Pour un facteur de dilution  $F=200$ , DBm et GHm correspondent respectivement à 60,82mg/L et 9,73mg/L, tandis que pour DB et GH, les valeurs sont respectivement de 56,85mg/L et 50,54 mg/L.

### IV.3. Optimisation des paramètres de la fermentation

**\*Température :** La température optimale pour la production du bioéthanol se situe entre 30 et 32°C. Une température dépassant 35°C influence négativement le métabolisme cellulaire, diminuant ainsi la production d'éthanol et nuisant à la viabilité des cellules. On peut réaliser une fermentation à basse température, mais le rendement sera alors réduit [54].

**\*Concentration des sucres :** L'utilisation d'une concentration initiale de sucre plus élevée permet d'obtenir une productivité et un rendement élevés en éthanol par le biais de la fermentation discontinue, l'utilisation d'une quantité excessive de sucre provoquera un taux de fermentation constant, qui survient lorsque la concentration en sucre dépasse la capacité des cellules microbiennes à l'absorber [55].

**\*Durée de fermentation :** La production d'éthanol peut être obtenue après 48 heures de fermentation, et le rendement augmente jusqu'à 72 heures de fermentation. Après 72 heures de fermentation, les sucres résiduels ne se présentent plus que sous forme de traces. Au-delà de 72 heures, le rendement commence à diminuer en raison de la conversion de l'alcool en acide carboxylique [54].

**\*pH :** Le *S. cerevisiae* préfère un pH idéal de 4,0 à 5,0 lorsqu'il s'agit de la fermentation destinée à la production d'éthanol [55].

**\*Quantité de levure :** La présence de la levure stimule le processus de fermentation, toutefois, il est possible d'effectuer une fermentation sans elle, bien que le rendement soit très faible. Un surplus de levure consomme la matière fermentable, réduisant ainsi le rendement [54].

**\*Agitation :** Il est préférable d'effectuer une agitation linéaire dans un bain-marie plutôt qu'une agitation rotative dans l'incubateur.

**\*Montage de fermentation :** Un bon rendement obtenu à partir de dispositif de fermentation (milieu anaérobie) car dans un milieu anaérobie, la levure *Saccharomyces cerevisiae* privilégie le processus de fermentation alcoolique.

#### IV.4. Évaluations physico-chimiques des échantillons

L'évaluation chimique des échantillons nous permet de confirmer le processus de fermentation comme montre les tests suivants :

**\*pH :** les valeurs de pH indiquent le déroulement de l'activité métabolique de la levure pour convertir les sucres en alcool lors de processus de fermentation. La diminution de pH pendant la fermentation confirme le processus de fermentation. Les valeurs de pH après fermentation sont indiquées dans [44] le **tableau IV.4**.

**\* Teste de CO<sub>2</sub> :** Pour les échantillons GH et DB déterminer visuellement, on observe un gonflement des ballons comme montre la figure :



**Figure IV.2 :** Photo de gonflement des ballons qui dû à la libération de CO<sub>2</sub>.

Pour les échantillons DBm et GHm, on mesure le CO<sub>2</sub> en utilisant la technique du déplacement de liquide. Cette méthode nous permet de mesurer le volume expérimental du CO<sub>2</sub> dissout dans le liquide

Le volume de liquide de l'échantillon DBm égale à 179mL et pour l'échantillon GHm égale à 147 mL, pour le même volume d'eau de pH =2 qui égale à 230 mL.

Dans l'industrie le CO<sub>2</sub> est séquestré et ensuite transformé en produits chimiques et carburants de valeur commerciale, ou utilisé directement soit en tant que substitut plus écologique aux solvants conventionnels dans les secteurs agroalimentaires, par exemple, soit dans les systèmes de protection incendie, parmi d'autres usages.

Il peut être récupéré et exploité en tant que source de carbone pour la fabrication de biomolécules [58].

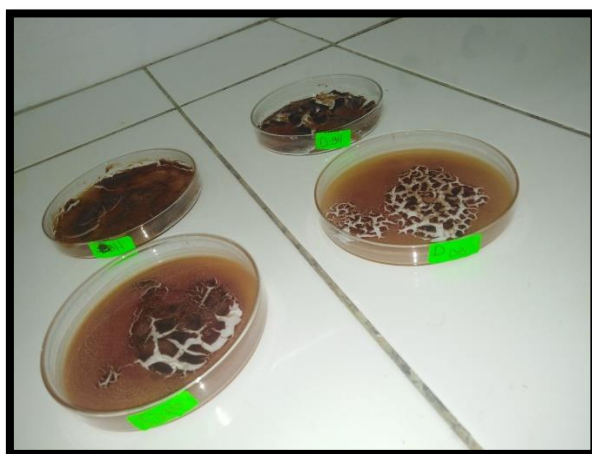
#### **\*Densité du moût après fermentation :**

Les surnageants GH et DB ont des densités respectives de 1,162g/cm<sup>3</sup> et 1,169g/cm<sup>3</sup>, tandis que les surnageants DBm et GHm affichent des densités respectives de 1,170g/cm<sup>3</sup> et 1,163g/cm<sup>3</sup>.

Une diminution significative de la densité est observée pour les deux types de dattes. Cela peut être dû à la transformation du glucose en alcool et à l'émission de CO<sub>2</sub> qui entraîne une diminution de la masse [6].

#### **\*Mesure le poids de la biomasse :**

La biomasse issue à la fin de processus de de fermentation représente la matière biologique restante qui correspond aux résidus de levure et les composés organique non fermenté et les sous-produits métaboliques.



**Figure IV.3 :** Photo de la biomasse après séchage

Le poids de biomasse de chaque échantillon après séchage est montré dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV.4 :** Les valeurs de pH et le poids de biomasse des échantillons après fermentation

| Echantillon | pH   | Poids de la biomasse après séchage (g) |
|-------------|------|----------------------------------------|
| GHm         | 3,77 | 3,13                                   |
| DBm         | 3,71 | 1,59                                   |
| GH          | 3,74 | 2,85                                   |
| DB          | 3,60 | 1,77                                   |

#### IV.5. Analyse de produit final (Bioéthanol)

##### **\*Densité de bioéthanol :**

La densité du bioéthanol obtenu à partir du moût de dattes est semblable à celle de l'éthanol commercial comme montre le tableau.

\*Il est important de noter que l'éthanol destiné à un usage pharmaceutique est principalement produit par une fermentation enzymatique de l'amidon, sucre ou d'autres glucides. **La Figure 1 (voir l'annexe)** montre les caractéristiques physico-chimiques d'éthanol médical selon la pharmacopée européenne 2011 [59].

\*Le bioéthanol est utilisé comme biocarburant d'automobile ou des moteurs lorsque est mélangé avec l'essence ou le pétrole pour les deux formes hydraté et anhydre dans différentes proportions, afin de créer un mélange d'essence et d'éthanol [29].



**Figure IV.4 :** Photo indique le poids de pycnomètre avec l'eau distillé a 4°C

### \* Indice de réfraction

L'indice de réfraction du bioéthanol produit à partir des dattes Ghars et Degla Beïda est proche de la valeur standard de l'éthanol commercial 96%.

D'après la courbe d'étalonnage on déduit la pureté du bioéthanol :

L'indice de réfraction du bioéthanol est calculé selon la formule suivante :

$$n_D^t = A + (T' - T) * 0,0005$$

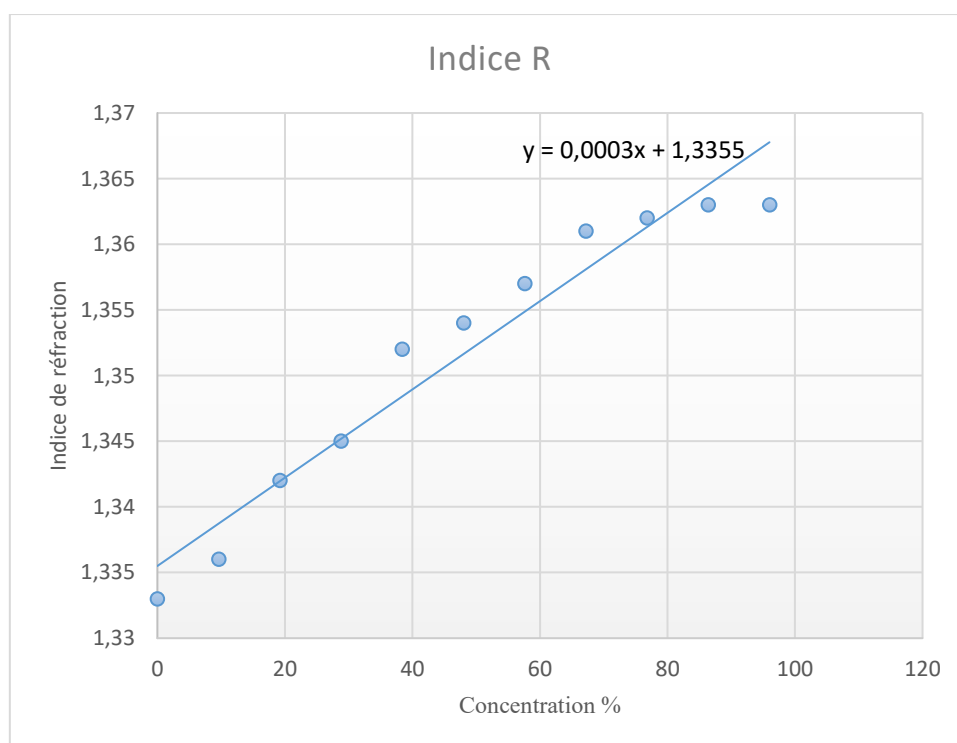
*Tel que :*

T' = La température sur l'appareille 20,9°C

T = 20°C

A = L'indice de réfraction sur le réfractomètre

La figure suivante montre la courbe d'étalonnage de l'indice de réfraction de l'éthanol 96%



**Figure IV.5 :** Courbe d'étalonnage de l'indice de réfraction de l'éthanol 96%.

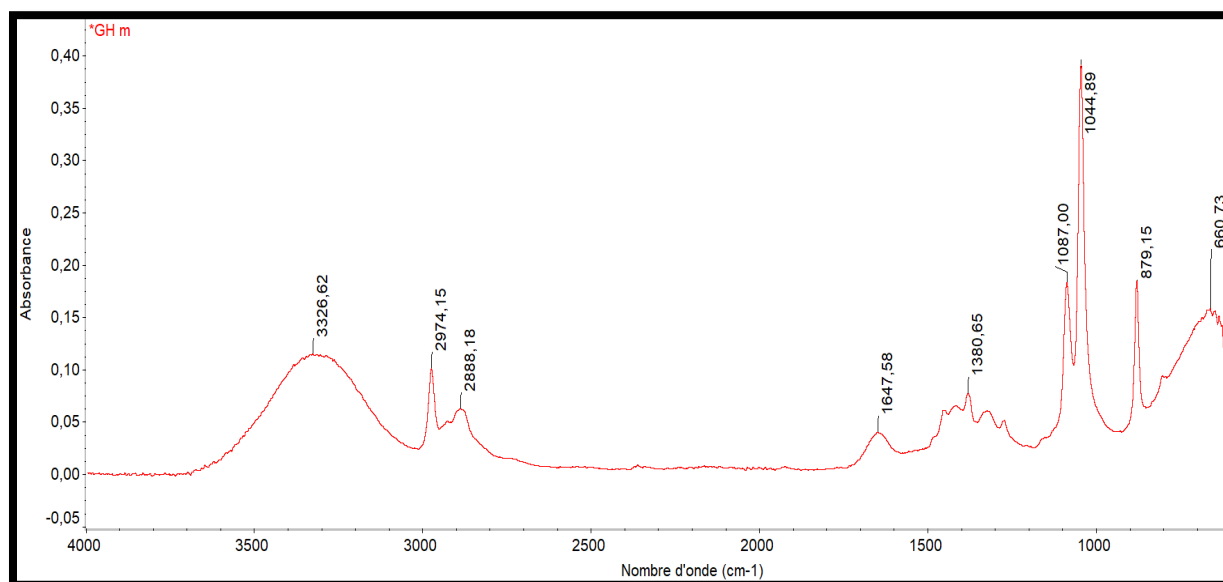
Le tableau des résultats suivant montrent que l'indice de réfraction de bioéthanol obtenue par distillation est similaire avec l'indice de réfraction de l'éthanol 96%. La densité et la pureté du bioéthanol se rapprochent de celles de l'éthanol à 96%.

**Tableau IV.5 : La densité, l'indice de réfraction et la pureté du bioéthanol**

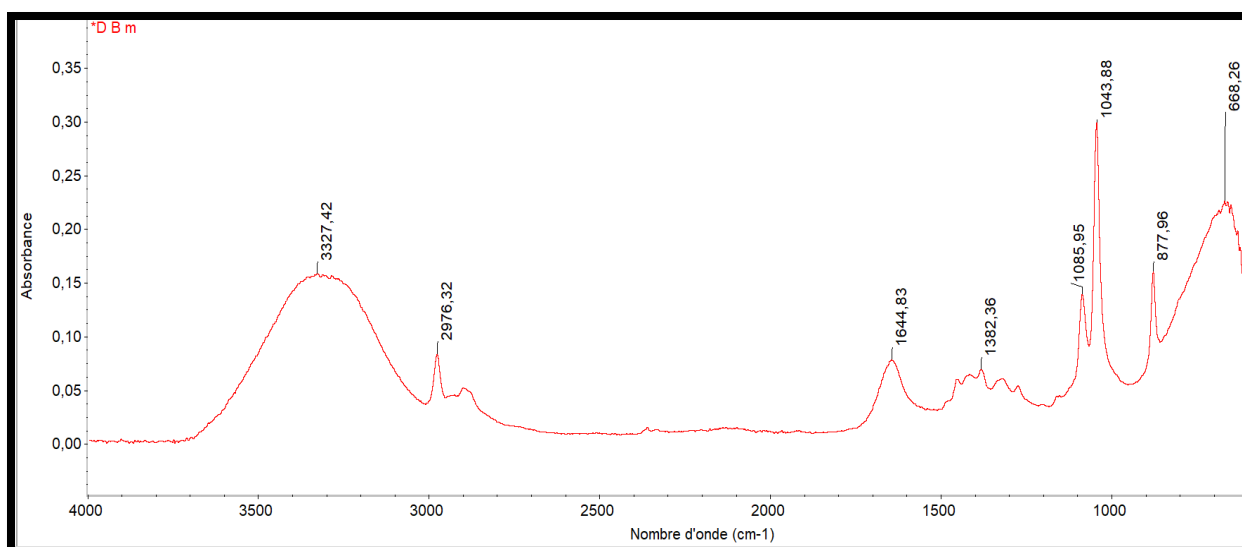
| Extraits<br>éthanolique | Densité | Indice de réfraction<br>Nd | Pureté % |
|-------------------------|---------|----------------------------|----------|
| GHm                     | 0,828   | 1,363                      | 93,16    |
| DBm                     | 0,874   | 1,361                      | 86,5     |
| GH                      | 0,854   | 1,362                      | 89,83    |
| DB                      | 0,830   | 1,363                      | 93,16    |
| Ethanol<br>(commercial) | 0,789   | 1,363                      | 96       |

**\*Caractérisation structurale de bioéthanol par spectrophotométrie infrarouge IR :**

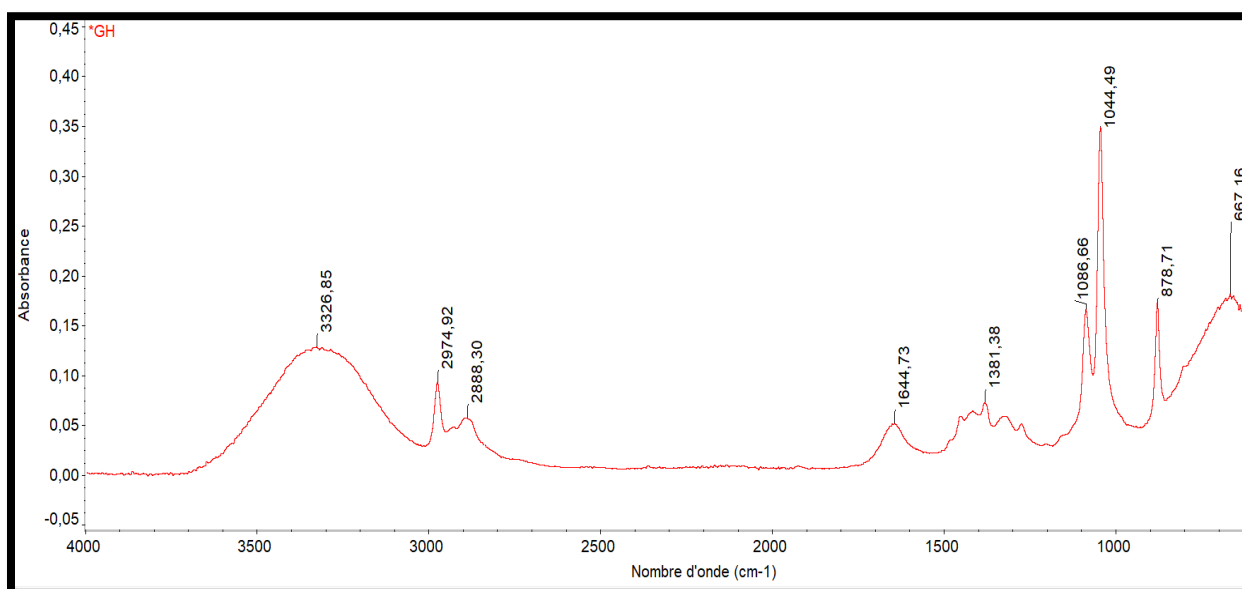
Les signatures vibratoires des bandes obtenues par spectrophotométrie infrarouge (ATR) des extraits du bioéthanol obtenu sont présentées ci-dessous :



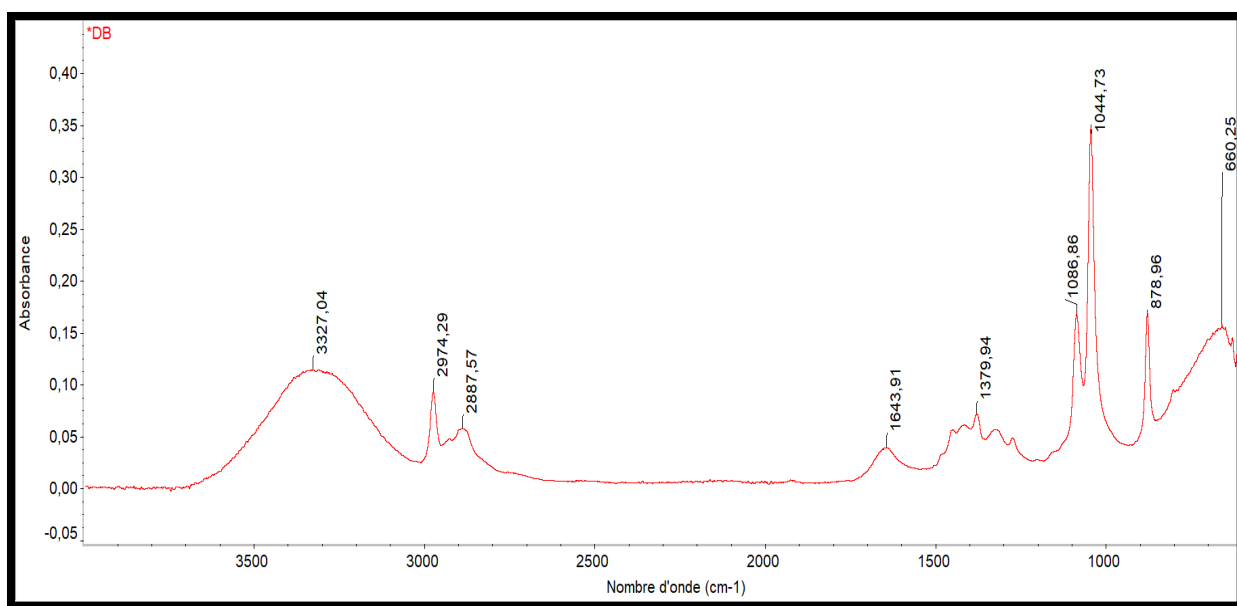
(A)



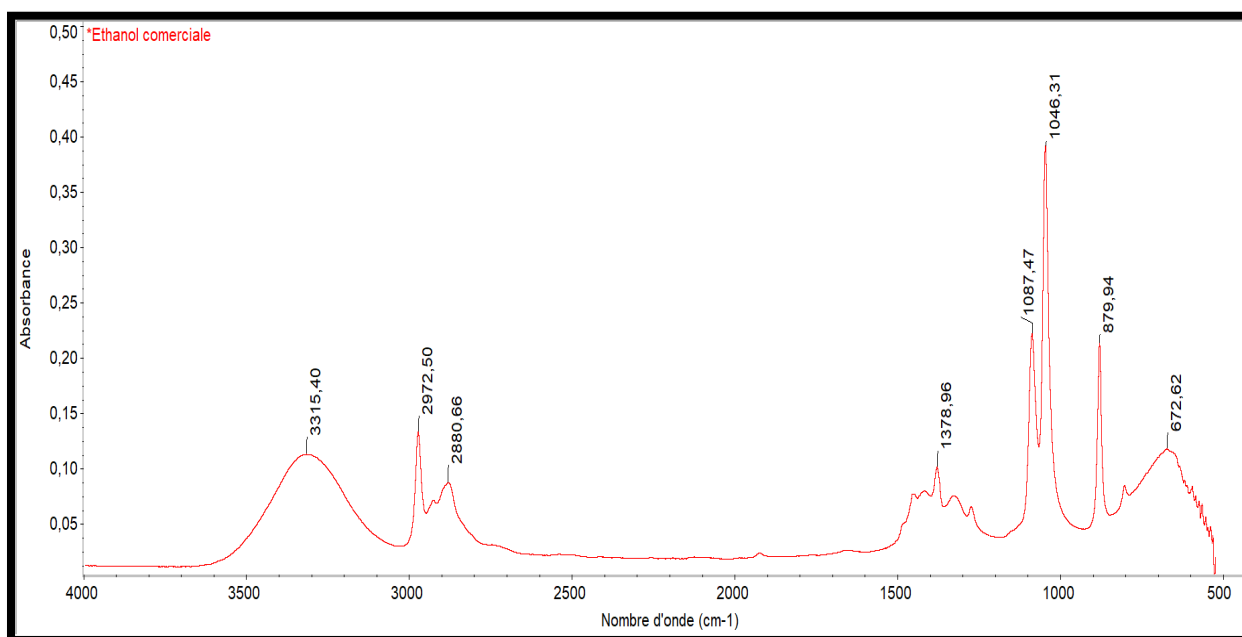
(B)



(C)



(D)



(E)

**Figure IV.6 :** Spectre d'Infra-Rouge du bioéthanol obtenu pour les extraits éthanolique, GHm (A), DBm (B), GH (C), DB (D) et éthanol pur (E).

Ces spectres attestent de la qualité et du type de bioéthanol produit, qui est l'éthanol.

L'interprétation des bandes caractéristiques :

Une bande large a été observée à  $3315\text{-}3327\text{ cm}^{-1}$ , liée indiquant la la présence du groupement hydroxyles dans l'alcool .

Deux bandes détectées à  $2972$  et  $2888\text{ cm}^{-1}$  correspondant a la vibration d'élongation de la fonction C-H.

La présence de la bande à  $1378\text{-}1382\text{ cm}^{-1}$  a corroboré l'identification de la bande C-OH liée à l'éthanol. On a attribué les deux bandes observées à  $1044$  et  $1087\text{ cm}^{-1}$  à la vibration de déformation de la fonction C-OH. En outre, une bande de déformation C-C a aussi été observée à  $877\text{-}879\text{ cm}^{-1}$ .

Néanmoins, par rapport au spectre commercial, un léger pic détecté à  $1644\text{-}1647\text{ cm}^{-1}$  a été noté pour les échantillons de bioéthanol produits. Ce pic récent se rapportait aux bandes de l'eau, qui sont liées respectivement à la vibration de deformation de la fonction H-O-H et et au groupement O-H . Il est probable que ce comportement était causé par le mélange azéotrope (de l'éthanol et de l'eau) [60].

Les résultats indiquent que le bioéthanol produit n'est pas pur et contient de l'eau et des impuretés.

**\*Inflammabilité :** L'éthanol produit au laboratoire est caractérisé comme un produit volatil, limpide, dégage une odeur piquante et inflammable le test d'inflammabilité du bioéthanol est illustré dans la figure ci-dessous :



**Figure IV.7 :** Photo de teste de l'inflammabilité du bioéthanol

**\*Efficacité de la production :** Le rendement du bioéthanol extrait à partir du moût de dattes Ghars et Degla Beïda pour les échantillons GH et DB est respectivement 2% et 2,2% et pour GHm et DBm et respectivement 4 % et 4,2%, cela varie selon la quantité du bioéthanol produite à partir du moût par distillation.



**Figure IV.8 :** Bioéthanol produit par le processus de distillation

### Conclusion générale :

Notre travail repose sur la valorisation des dattes locales communes de faible valeur marchande telles que Ghars et Degla Beïda qui constituent un bon substrat et comme matière première pour produire le bioéthanol après un prétraitement approprié. Dans notre recherche, nous focalisons sur la qualité du bioéthanol obtenu à partir de deux types de dattes.

L'évaluation comparative des deux types de dattes Ghars et Degla Beïda indique que leurs propriétés physico-chimiques sont acceptables, cependant les dattes Ghars présentent un taux d'humidité élevé à celui du Degla Beïda.

Le moût issu des dattes est riche en sucres, minéraux et des oligoéléments crée un environnement propice à la multiplication de l'espèce *saccharomyces cerevisiae* qui permet de produire une bonne quantité d'alcool.

Les paramètres optimisés du procédé de fermentation pour avoir un bon rendement sont les suivants :

Une température de 30°C ;

- Un pH allant de 4,71 à 4,76.
- Une quantité de levure de 0,3g pour 300 mL du moût de dattes
- Une durée de fermentation qui dure environ 72 heures.
- Et le dispositif expérimental de fermentation (statique) en anaérobiose et le processus du bain-marie agité sont les procédés les plus efficaces employés pour la fermentation.

Les caractéristiques physico-chimiques du produit obtenues par l'analyse par l'infrarouge, réfractomètre et le teste d'inflammabilité confirment que le produit obtenu, c'est un **bio-alcool**.

Pour chaque type de datte, les rendements du bioéthanol obtenus après une distillation de 45 minutes sont respectivement de 2% et 2,2%, ainsi que 4% et 4,2% à partir de 300 mL du moût de dattes Ghars et Degla Beïda.

D'après ces résultats la levure *saccharomyces cerevisiae* utilisé comme ferment performant dans la production du bioéthanol et ça efficacité dépend de procédé et des paramètres de fermentation.

**En perspective :**

L'importance du bioéthanol et ses applications dans les secteurs alimentaire et pharmaceutique, et en tant que biocarburant renouvelable, ainsi que des nombreuses études menées par des chercheurs sur ce sujet et d'après notre travail les points suivants sont très importants pour l'avenir du bioéthanol :

- Valorisation des déchets et les sous-produits de la récolte
- Adapter d'autre souche de levure peut être améliorer le rendement.
- Produire du bioéthanol à l'échelle industrielle.
- Exploitation et valorisation du dioxyde de carbone récupéré après fermentation dans le secteur industriel.
- Mise en place des unités pilotes de production du bioéthanol.

## Références bibliographiques :

- [1] Bouguedoura, N., Benkhalifa, A., & Bennaceur, M. (2010). Le palmier dattier en Algérie. Biotechnologies du palmier dattier », edited by Frédérique Aberlenc-Bertossis, IRD Editions, Paris, 15-22.
- [2] Boulal, A., Benbrahim, Z., Benali, B., & 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*, 16(3), 539-550.
- [3] Ozdingis, A. G. B., & Kocar, G. (2018). Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2196-2203.
- [4] Coherent Market Insights. (mars 2025). Applications of ethanol in various industries: Fuel, pharmaceuticals, and beyond. Coherent Market Insight. Récupéré de <https://www.coherentmarketinsights.com/blog/applications-of-ethanol-in-various-industries-fuel-pharmaceuticals-and-beyond-1789>.
- [5] Meriem, S. A. D. I. Le bioéthanol : une véritable alternative pour une énergie propre.
- [6] Boulal, A., Benbrahim, Z., Benali, B., & 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*, 16(3), 539-550.
- [7] Gros-Balthazard, M., Newton, C., Ivorra, S., Pintaud, J. C., & Terral, J. F. (2013). Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). État de l'art et perspectives d'étude. *Revue d'ethnoécologie*, (4).
- [8] Zenchi, H., & Abdoun, F. (2015). Palmier-dattier : Botanique et écologie. *Encyclopédie berbère*, (37), 6067-6076.

- [9] Djerbi, M. (1994). Récolte des dattes. Précis de phéniciculture, FAO, Tunis, 101, 109.
- [10] Munier, P. (1973). Le palmier dattier, techniques agricoles et productions tropicales “Ed maison neuve et la rosse.
- [11] Maghreb Emergent. (2025, 10 mai). Forte hausse des exportations algériennes de dattes vers les USA en 2024. Maghreb Emergent.  
Récupéré de <https://maghrebemergent.news/fr/forte-hausse-des-exportations-algeriennes-de-dattes-vers-les-usa-en-2024/> .
- [12] Mesnoua, M., Lahmadi, S. Tahirine, M., Roumani, M., Miab, W., & Zegooerrou, R. (2018). Les biotechnologies au service du palmier dattier. In Conference: la seconde édition de la rencontre internationale Agrosem.
- [13] Planchon, G., & Collin, E. (1895). Les drogues simples d'origine végétale (Vol. 1). O. Doin.
- [14] Espiard, E. (2002). Introduction à la transformation industrielle des fruits (Ed) TEC &DOC. France, 259-265.
- [15] Chughtai, A. (2025, 12 mars). Ramadan 2025: Which countries grow the most dates? Egypt, Saudi Arabia and Algeria produce nearly half of the world's dates. Al Jazeera. [https://www.aljazeera.com/author/alia\\_chughtai\\_201358152734192234](https://www.aljazeera.com/author/alia_chughtai_201358152734192234) .
- [16] Rafik, B., Lamia, B., Ali, S., Saida, M., & Mehdi, B. (2017). Effect of the incorporation of date waste on growth performance and slaughtering products in broiler (Algeria)[Conference poster].
- [17] Smith, Jenny. (2025). Benefits of dates. AI.
- [18] Dakhia, N., Benahmed, K., Belguedj, N., & Elbar, D. (2016). Guide de bonnes pratiques : Orientations pour une meilleure conservation des dattes – Choix de l’emballage et de la température de stockage. CRSTRA – Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra. ISBN 978-9931-438-09-0.

- [19] softdatte. (2024, 22 décembre). Dattes Ghress. Le monde des dattes. Récupéré de <https://softdatte.net/dattes-ghress/> .
- [20] Kaidi, F., & Touzi, A. (2001). Production de bioalcool à partir des déchets de dattes. *Revue des Energies Renouvelables*, NS: Biomasse Production et Valorisation, 75-78.
- [21] Ould El Hadj, M. D., Cheick, M., Hamdi, W., Sayah, Z., & Bouaziz, S. (2012). etude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (degla beida, tacherwit et hamraya) reparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de ouargla (sahara septentrional est Algérien). *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 2(2), 78-87.
- [22] Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A. S., & Hatziloukas, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS microbiology*, 6(1), 1.
- [23] SIDDTS – MIG. (2009, juillet). *Le Grenelle Environnement : La biomasse*.
- [24] Capareda, S. (2023). *Introduction to biomass energy conversions*. CRC press.
- [25] El Bassam, N. (2010). *Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications*. Routledge.
- [26] Ballerini, D. (2011). *Les biocarburants : répondre aux défis énergétiques et environnementaux des transports*. Editions Technip.
- [27] Kazmi, A., Sultana, T., Ali, A., Nijabat, A., Li, G., & Hou, H. (2025). Innovations in bioethanol production: A comprehensive review of feedstock generations and technology advances. *Energy Strategy Reviews*, 57, 101634.
- [28] Rutz, D., & Janssen, R. (2007). *Biofuel technology handbook*. WIP Renewable energies, 95.
- [29] Bajpai, P. (2020). *Developments in bioethanol*. Springer Nature.

[30] Ogier, J. C., Leygue, J. P., Ballerini, D., Pourquie, J., & Rigal, L. (1999). Production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. *Oil & Gas Science and Technology*, 54(1), 67-94 .

[31] Eloutassi, N., Louaste, B., Boudine, L., & Remmal, A. (2014). Hydrolyse physico-chimique et biologique de la biomasse ligno-cellulosique pour la production de bio-éthanol de deuxième génération. *Nature & Technology*, (10), 10 .

[32] Matovic, MD (ed.). (2013). *Biomass Now: Sustainable Growth and Use*. BoD–Books on Demand.

[33] Riess, J. (2012). Intensification de la brique « fermentation alcoolique » de substrats betteraviers (et autres substrats) pour la production d'éthanol (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT).

[34] Rahmani, S. Polycopié de cours de Microbiologie Générale.

[35] Ballerini, D. (2002). Production d'éthanol à partir de biomasse. *Actualité chimique*, (11/12), 83-87 .

[36] Guiffant, D. (2008). Utilisation de la levure en tant que modèle et outil : de la compréhension de la cytokinèse à l'étude de sélectivité d'une molécule à potentiel thérapeutique (Doctoral dissertation, Rennes 1) .

[37] Que, Z., Wang, S., Wei, M., Fang, Y., Ma, T., ... et al. (2024). The powerful function of *Saccharomyces cerevisiae* in food science and other fields: a critical review. *Food Innovation and Advances*, 3(2), 167–180. <https://doi.org/10.48130/fia-0024-0016> .

[38] Kechkar Chaïmi, M. (2020). Procédé de conversion de la biomasse pour la production durable de biocarburants (Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique, Algérie). DSPACE – ENP Alger .

[39] Boulal, A., Benali, B., Moulay, A., & Touzi, A. (2010). Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. *Journal of Renewable Energies*, 13(3), 455-463.

[40] Boukhiar, A. (2009). Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud algérien : essai d'optimisation.

[41] Seddiki, L. S., & Seddiki, S. (2024). Propriétés physicochimiques et microbiologique et antioxydante de sirop de datte de la région du Sud-Ouest d'Algérie. *Nutrition & Santé*, 12(2), 80-89.

[42] Boulal, A., Benbrahim, Z., Benali, B., & 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*, 16(3), 539-550.

[43] Florentin, E. (2004). Le réfractomètre. *Bull. Union Phys*, (869), 1761-1770.

[44] MIMOUNI, Y. (2015). Développement de produits diététiques hypoglycémiants à base de dattes molles variété «Ghars», la plus répandue dans la cuvette de Ouargla (Doctoral dissertation).

[45] DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

[46] Acourene, S., Ammouche, A., & Djaafri, K. (2008). Valorisation des rebuts de dattes par la production de la levure boulangère, de l'alcool et du vinaigre. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 38-45.

[47] Bento, C. S., de Sousa, H. C., & Braga, M. E. (2024). Measurement of ethanol concentration for monitoring the solvent exchange during the alcogel preparation. *MethodsX*, 13, 102960.

[48] Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. (2005). *Spectrometric identification of organic compounds* (7th ed.). Wiley-Interscience.

[49] Boulal, A., Khelafi, M., & Kaidi, K. (2018). Procédés expérimentaux sur la production de bioéthanol de deuxième génération à partir des sous-produits des palmiers dattiers. *Revue des Energies Renouvelables SIENR*, 18, 63-69.

- [50] Laouar, A. (2020). Caractérisation physicochimique et microbiologique de deux variétés de dattes "Hmira. Feggous" et production de bioéthanol à partir de rebuts de dattes "Hmira", Mémoire de doctorat, Université Tahri Mohamed Béchar, 213p.
- [51] Meligi, M. A., Sourial, G. F., Mohsen, A. M., Khalifa, A., & Abdalla, M. Y. (1983). Fruit quality and general evaluation of some Iraqi date palm cultivars grown under conditions of Barrage Region, Egypt.
- [52] Mohammed, S., Shabana, H. R., & Mawlod, E. A. (1983). Evaluation and identification of Iraqi date cultivars: fruit characteristics of fifty cultivars. *Date palm J*, 2(1), 27-55.
- [53] Acourene, S., & Tama, M. (1997). Caractérisation physico-chimique des principaux cultivars de dattes de la région des Zibans. *Recherche agronomique*, 1(1), 59-66.
- [54] OUCIF KHALED, M. T. (2017). Mise en valeur des dérivés de dattes de la région d'Oued Souf pour la production de bioéthanol (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [55] Alio, M. A. (2020). Production de bioéthanol à partir d'une biomasse lignocellulosique multi-ressources locale par prétraitement Organosolv et hydrolyse enzymatique (Doctoradissertation, Université Clermont Auvergne [2017-2020]).
- [56] Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shahidi, F. (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(19), 7592-7599.
- [57] Freha, G. (2015). Caractérisation physicochimique, phytochimique et biochimique de cinq variétés de dattes d'Algérie, *Phoenix dactylifera* L. (Deglet noor, Ghars, H'mira, Tamesrit et Tinissine). Effets de leur ingestion sur certains paramètres biologiques (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar).
- [58] Mussatto, S. I., Yamakawa, C. K., van der Maas, L., & Dragone, G. (2021). New trends in bioprocesses for lignocellulosic biomass and CO<sub>2</sub> utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111620.
- [59] Khayati, Y. (2023). L'éthanol, sa qualité et ses utilisations en pharmacie. *Revue de pharmacie*, 12(3), 45-50.

[60] Alminderej, F. M., Hamden, Z., El-Ghoul, Y., Hammami, B., Saleh, S. M., & Majdoub, H. (2022). Impact of calcium and nitrogen addition on bioethanol production by *S. cerevisiae* fermentation from date by-products: physicochemical characterization and technical design. *Fermentation*, 8(11), 583.

## **Annexes**

## **Annexe 1 : Verreries et Matériels utilisés :**

### **Verreries utilisées :**

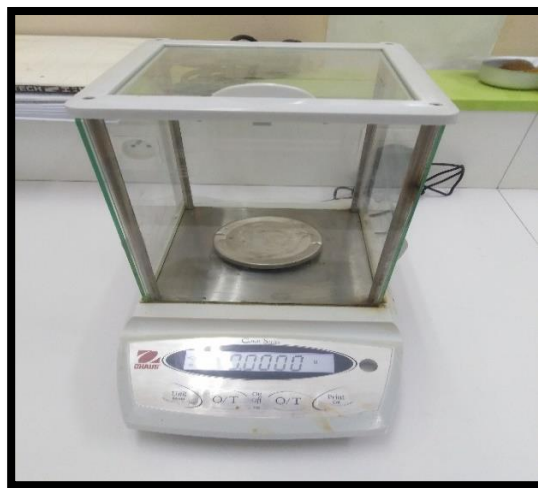
- |                     |                                     |
|---------------------|-------------------------------------|
| -Mortier            | - Ballon 250 et 500mL               |
| -Bécher 1L          | -Tubes a essais                     |
| -Erlenmeyer 1L      | -Thermomètre                        |
| -Eprouvette 20mL    | -fioles jaugée de 1L ,100mL et 20mL |
| -Réfrigérant        | -flacons en verre de 250 et 500mL   |
| -Verre de menthe    | - pycnomètre de capacité 10mL       |
| - Pipettes graduées | -Burette                            |

### **Appareillages :**

- |                                               |                                |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|
| -Autoclave                                    | -Bain marie agiter             |
| -Incubateur agité                             | -Réfractomètre (Abee WYA)      |
| -UV visible (RAYLEIGH)                        | -Etuve                         |
| -Infrarouge (Thermo SCIENTIFIC, NICOLET iS10) | -Balance de précision (OHAUS)  |
| -Centrifugeuse (SIGMA)                        | - Micropipette de capacité 1mL |
| -PH mètre (HANNA)                             | - Plaque chauffante            |
| -Chauffe ballon                               | -Elévateur                     |



**Photo 2 : UV-visible (RAYLEIGH)**



**Photo 3 : Balance de précision (OHAUS)**



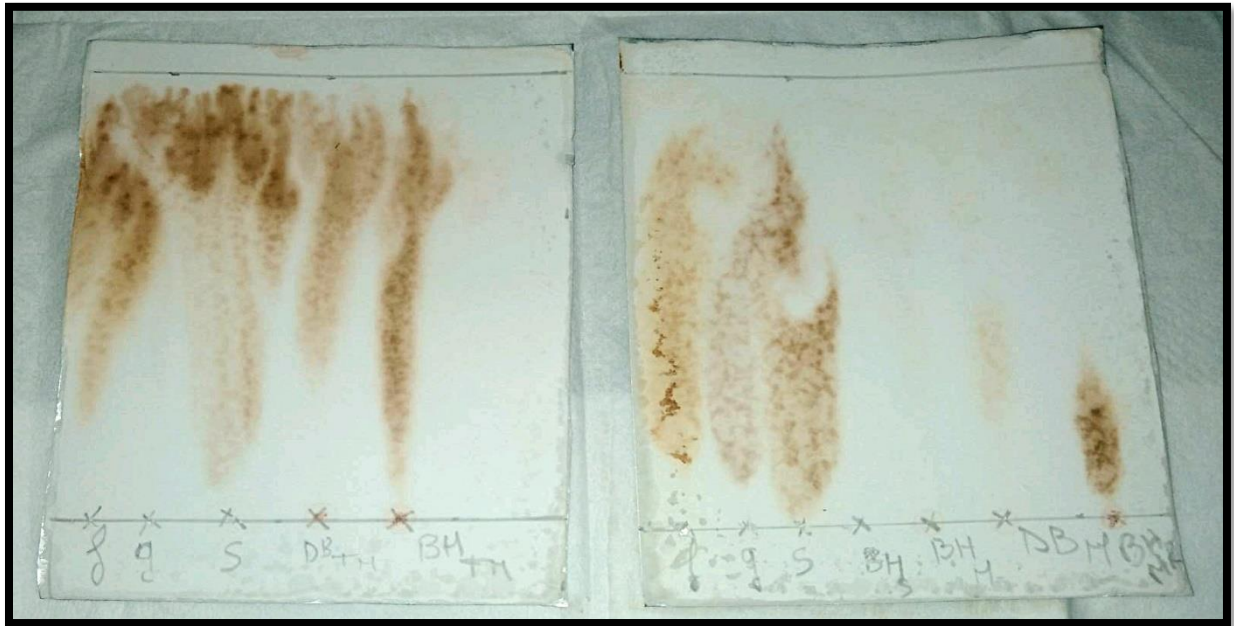
**Photo 4: Pied de coulisse**



**Photo 5 : pH mètre (HANNA)**

## Annexe 2 : Chromatographie sur couche mince de gel de silice CCM

### Chromatographie sur couche mince de gel de silice CCM :



( A )

( B )

**Photo 1:** Chromatogramme (A) et (B) des échantillons pour les deux variétés de dattes

**f :** Fructose

**g :** Glucose

**s :** Saccharose

**DB<sub>TM</sub> :** Degla Beïda témoin (Après stérilisation)

**BH<sub>TM</sub> :** Ghars témoin (Après stérilisation)

**BH<sub>M</sub> :** Le mout de Degla Beïda (Après fermentation) du dispositif de fermentation

**DB<sub>M</sub> :** Le mout de Ghars (Après fermentation) du dispositif de fermentation

**BH(MR) :** Le mout de dattes Ghars (avant stérilisation)

### Annexe 3 : Méthode du Dubois des sucres totaux et réducteurs

**Tableau 1 :** L'absorbance des diverses concentrations de D-glucose.

|                   |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>C<br/>mg/L</b> | 25    | 50    | 75    | 100   | 125   | 150   |
| <b>A</b>          | 0,264 | 0,394 | 0,363 | 0,722 | 0,972 | 1,126 |

### Annexe 4 : La concentration du bioéthanol

**Tableau 2 :** L'indice de réfraction pour diverses concentrations d'éthanol à 96%.

|                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>C%</b>           | 0     | 9,6   | 19,2  | 28,8  | 38,4  | 48    | 57,6  | 67,2  | 76,8  | 86,4  | 96    |
| <b>Indice<br/>R</b> | 1,333 | 1,336 | 1,342 | 1,345 | 1,352 | 1,354 | 1,357 | 1,361 | 1,362 | 1,363 | 1,363 |

### Annex 5 : Les principaux paramètres physico-chimiques de l'éthanol médicale

| Tests                                                                                                | Spécifications                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Identification                                                                                       | positive                                                                               |
| Caractères                                                                                           | Liquide, incolore, transparent, volatil, inflammable, hygroscopique, miscible a l'eau. |
| Densité spécifique                                                                                   | 0.805–0.812                                                                            |
| Acidité ou alcalinité                                                                                | ≤ 30 ppm exprimé en acide acétique                                                     |
| Résidu à l'évaporation                                                                               | ≤ 25 ppm                                                                               |
| Impuretés volatiles :<br>- Benzène<br>- Méthanol<br>- Acétaldéhyde + acétal<br>- Total des impuretés | ≤ 2 ppm<br>≤ 200 ppm<br>≤ 150 ppm<br>≤ 300 ppm                                         |
| Absorbance a :<br>- 240 nm<br>- 250 – 260 nm<br>- 270 – 340 nm                                       | ≤ 0.40%<br>≤ 0.30%<br>≤ 0.10%                                                          |
| Titre en éthanol                                                                                     | 95.1–96.9%                                                                             |

**Figure 1 :** Les principaux paramètres physico-chimiques de l'éthanol selon le Pharmacopée Européenne de 2011.

## Annexe 6 : Identification de spectre IR

| Bond Type    | Force Constant<br>$f$ in dyne/cm | Absorption Region ( $\text{cm}^{-1}$ ) |           |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------------|-----------|
|              |                                  | Calculated                             | Observed  |
| C—O          | $5.0 \times 10^5$                | 1113                                   | 1300–800  |
| C—C          | $4.5 \times 10^5$                | 1128                                   | 1300–800  |
| C—N          | $4.9 \times 10^5$                | 1135                                   | 1250–1000 |
| C=C          | $9.7 \times 10^5$                | 1657                                   | 1900–1500 |
| C=O          | $12.1 \times 10^5$               | 1731                                   | 1850–1600 |
| C $\equiv$ C | $15.6 \times 10^5$               | 2101                                   | 2150–2100 |
| C—D          | $5.0 \times 10^5$                | 2225                                   | 2250–2080 |
| C—H          | $5.0 \times 10^5$                | 3032                                   | 3000–2850 |
| O—H          | $7.0 \times 10^5$                | 3553                                   | 3800–2700 |

**Figure 2 :** Les principaux fonctions de l'infrarouge.