

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté des sciences Département de Biologie



Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de Master II

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème :

**Valorisation d'un déchet agroalimentaire par une biomasse microbienne
pour la production d'un biocarburant de 1ere génération**

Présenté par :

Guechou Naila

Soutenu le : 26/06/2024

Devant le jury composé de :

Dr BOUSALAH Djedjiga	MCB	(CRAPC/UMBB)	(Présidente)
Dr BOUHADI Nabila	MCB	(CRAPC/UMBB)	(Examinatrice)
Dr BABAKHOUYA Naouel	MCB	(CRAPC/UMBB)	(promotrice)
Mr GHERBI Younes	Doctorant	(UMBB)	(Co-Promoteur)

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement :

En premier lieu, je remercie sincèrement le bon Dieu pour m'avoir donné la force et l'audace nécessaires pour surmonter les défis rencontrés et réussir ce travail.

Un grand merci à Mme **Babakhouya N.** pour ses conseils précieux et son soutien tout au long de ce projet. Sa direction éclairée et sa confiance en me proposant ce sujet de recherche sont infiniment appréciées.

Je suis également reconnaissant envers mon Co-Promoteur, **Mr Gherbi Y.**, pour son soutien constant et les ressources qu'il a mises à ma disposition.

Mes remerciements vont également aux membres du jury, ainsi qu'à tout le personnel du Laboratoire de Recherche Technologie Alimentaire (LRTA), et au personnel du Centre de recherche et développement Sonatrach (CRD) pour leur expertise et leur assistance précieuse.

MERCI À TOUS pour votre soutien et votre encouragement constants.

Dédicace :

A mes parents,

Merci d'avoir fait de moi ce que je suis

A mes frère et sœurs

Merci pour votre amour et votre soutien sans faille

A ma famille et mes amis, et ma chère bestie Fadwa

Merci d'être là.

A ELAAYLA.

JE VOUS AIME.

Last but not least, I wanna thank me for believing in me, i wanna thank me for doing all this hard work.

Naila.

Table de matière :

Remerciement :	2
Table de matière :	4
Liste des abréviations :	9
Liste des figures :	10
Liste des tableaux :	11
Introduction :	1
Chapitre I	1
I.1 Le palmier dattier :	3
I.1.1 Introduction :	3
I.1.2 Généralité sur les palmiers dattier :	3
I.1.3 Le palmier dattier en Algérie :	4
I.2 La datte :	4
I.2.1 Stade de développement de la datte :	5
I.2.2 Classification des dattes :	6
I.2.3 Les variétés des dattes en Algérie :	7
I.2.3.1 Ghers :	7
I.2.3.2 Hmira :	8
I.2.3.3 Deglet Talmine :	8
I.2.3.4 Mech-Degla :	8
I.2.3.5 Deglet Nour :	8
I.2.4 Production des dattes :	8
I.2.4.1 Dans le monde	8
I.2.4.2 En Algérie	9
I.2.4.2.1 Les zones de production de dattes dans le désert algérien :	10
I.3 Les déchets des palmiers dattiers	10
I.3.1 Transformation biotechnologique de la datte :	11
I.3.1.1 Vinaigre de dattes :	11
I.3.1.2 Alcool :	11
I.3.1.3 Biomasse et protéine d'organismes unicellulaires :	11
I.3.1.4 Les noyaux de dattes :	12
I.3.2 Transformation technologique de la datte :	12
I.3.2.1 Sirop de dattes :	12
I.3.2.2 Aliment de bétail :	12

I.3.2.3	Farine et farine enrichies :	12
I.3.2.4	Jus de datte :	12
II	Chapitre II	1
II.1	Historique :	13
II.2	Définition des biocarburants :	13
II.3	Différentes générations de biocarburants :	13
II.3.1	Première génération de biocarburants	14
II.3.1.1	Filière huile :	14
II.3.1.2	Filière alcool :	14
II.3.1.3	Filière gaz :	15
II.3.1.4	Filière charbon de bois (biocarburant solide) :	15
II.3.2	Deuxième génération de biocarburants :	15
II.3.2.1	La filière biochimique (voie biochimique) :	16
II.3.2.2	Thermochimique (voie thermochimique) :	16
II.3.3	Biocarburants de troisième génération : lipides de microalgues :	17
II.3.4	Biocarburants de quatrième génération :	18
II.4	Bioéthanol :	19
II.4.1	Propriétés de bioéthanol :	19
II.4.1.1	Propriétés physiques de bioéthanol :	19
II.4.1.2	Propriétés chimiques de bioéthanol:	19
II.4.1.2.1	Combustion:	19
II.4.1.2.2	Réactions d'oxydation:	20
II.4.2	Procédés de production de bioéthanol :	20
II.4.3	Utilisation de bioéthanol :	21
II.4.4	Avantages et inconvénients :	22
II.4.5	Production de bioéthanol :	23
II.4.5.1	A L'échelle mondiale :	23
II.4.5.2	A L'échelle nationale :	23
II.5	Fermentation alcoolique :	24
II.5.1	procède de fermentation alcoolique :	25
II.5.1.1	Fermentation type batch (discontinue) :	25
II.5.1.2	Fermentation fed-batch (semi continue) :	25
II.5.1.3	Fermentation en mode continue :	25
III	Chapitre III	1

III.1	Introduction :	26
III.2	Micro-organismes producteurs d'éthanol :	26
III.2.1	Bactéries :	27
III.2.2	Champignons :	27
III.2.3	Levures :	27
III.3	Saccharomyces cerevisiae :	27
III.3.1	Classification de la levure :	28
III.3.2	Multiplication:	29
III.3.2.1	La reproduction asexuée :	29
III.3.2.2	La reproduction sexuée :	29
III.3.3	Condition de culture de Saccharomyces cerevisiae :	30
III.3.3.1	Besoins nutritionnels :	30
III.3.3.1.1	Sources de carbone :	30
III.3.3.1.2	Source d'azote :	30
III.3.3.1.3	Oligoéléments et facteurs de croissance :	31
III.3.3.2	Besoins physicochimiques :	31
III.3.3.2.1	La température :	31
III.3.3.2.2	Le pH :	31
III.3.3.2.3	L'oxygène :	31
III.3.4	Applications industrielles des produits de Saccharomyces cerevisiae :	32
IV	Chapitre IV:	2
IV.1	Matériel et méthodes :	33
IV.1.1	Matériel :	34
IV.1.1.1	Matériel végétal :	34
IV.1.1.2	Matériel biologique :	34
IV.1.2	Méthodes :	34
IV.1.2.1	Préparation de la matière première :	34
IV.1.2.2	Préparation du jus de datte :	35
IV.1.3	Caractérisation morphologique des dattes :	36
IV.1.4	Caractérisation physico-chimique et biochimique de la poudre et jus de dattes :	37
IV.1.4.1	Mesure du pH (Afnor, 1986) :	37
IV.1.4.2	Déterminer la conductivité électrique :	37
IV.1.4.3	Détermination de la teneur en matière sèche :	38

IV.1.4.4	Détermination de l'humidité :.....	38
IV.1.4.5	Détermination de la teneur en protéines (Méthode de Kjeldahl).....	38
IV.1.4.6	Détermination de la teneur en matière grasse (NF EN ISO 734-1, 2000) :	39
IV.1.4.7	Dosage des cendres :.....	40
IV.1.4.8	Détermination de la teneur en sucres réducteurs (Miller, 1959)	40
IV.1.4.9	Dosages des sels minéraux :.....	40
IV.1.4.10	Dosage des sucres totaux par la méthode du phénol (Dubois, 1956).....	41
IV.1.5	Production du bioéthanol :.....	41
IV.1.5.1	Préparation de l'inoculum :	41
IV.1.5.2	Déroulement de la fermentation :.....	41
IV.1.5.3	Techniques analytiques :	42
IV.1.5.3.1	Les prélèvements :.....	42
IV.1.5.3.2	Suivie de la fermentation :.....	42
IV.1.5.3.2.1	Mesure du PH :	42
IV.1.5.3.2.2	Densité optique :	42
IV.1.5.3.2.3	Analyse des sucres réducteurs (Miller, 1959) :.....	42
IV.1.5.3.2.4	Le dosage de bioéthanol en degré alcoolique :	42
IV.1.5.3.3	Distillation du bioéthanol :.....	43
IV.1.5.3.4	Caractérisation du produit final :.....	43
IV.1.5.3.4.1	Test d'inflammabilité :.....	43
IV.1.5.3.4.2	Analyse infrarouge :.....	43
IV.1.5.3.4.3	Chromatographie phase gazeuse du produit final :.....	44
V	Chapitre V :.....	1
V.1	Caractérisation morphologique des dattes :	45
V.1.1	Couleur :.....	45
V.1.2	Consistance :.....	46
V.1.3	Longueur, poids et largeur des dattes :	46
V.2	Caractérisation physicochimique et biochimique de la poudre et du jus de dattes :.	47
V.3	Production du bioéthanol :	49
V.3.1	Cinétique fermentaire :	50
V.3.1.1	La Biomasse :.....	50
V.3.1.2	Evolution du pH durant la fermentation :.....	51
V.3.1.3	Evolution des paramètres biochimiques au cours de la fermentation :.....	52
V.4	Analyse du produit final (Bioéthanol) :.....	54

V.4.1	Test d'inflammabilité de produit fini (bioéthanol)	54
V.4.2	Spectre infrarouge (IR) du bioéthanol :	55
V.4.3	Chromatographie en phase gazeuse (CPG) du bioéthanol :.....	58
Conclusion	60
<i>Références bibliographiques</i>	1
<i>Annexes</i>	1
<i>Résumé</i>	1

Liste des abréviations :

ETBE : Ether éthyle tertio butyle

MCC : Métabolisme carboné central

TCA : Cycle tricarboxylique

VPP : Voie des pentoses phosphates

MS : matière sèche

H : humidité

MO : matière organique

VELP : Scientifica est un fabricant leader d'instruments d'analyse et d'équipements de laboratoire fondé en 1983

HCL : chlorure d'hydrogène.

pH : potentiel d'Hydrogène

S. cerevisiae : Saccharomyces cerevisiae.

HCL : chlorure d'hydrogène

Liste des figures :

FIGURE I.1 : MORPHOLOGIE GENERALE DU PALMIER DATTIER (MUNIER, 1973).	3
FIGURE I.2 : REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU PATRIMOINE PHOENICICOLE	4
FIGURE I.3 : COUPE SCHEMATIQUE D'UNE DATTES (MUNIER,1973)	5
FIGURE I.4 : LES STADES DE DEVELOPPEMENT DES DATTES (DOLLE ET PEYRON, 2000)	6
FIGURE I.5 : LES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS DE DATTE DANS LE MONDE EN 2022 (WEB MANAGER CENTER, 2023)	9
FIGURE I.6 : LA PRODUCTION DES DATTES EN ALGERIE (1999-2021) (FOASTAT, 2021).	9
FIGURE I.7 : DISTRIBUTION DE LA PRODUCTION NATIONALE DES DATTES (-MED- TAYEB.OUCIF KHALED. 2019. P123)	10
FIGURE II.1 : PROCEDE DE FABRICATION DE L'ETHANOL PAR FERMENTATION DES SUCRES (ADRIAN, 2011)	15
FIGURE II.2 : PRODUCTION D'ETHANOL PAR LA VOIE BIOCHIMIQUE (NUNES, 2009; OUCIF 2017)	16
FIGURE II.3 : PROCEDE DE FABRICATION D'AGRO CARBURANTS DE 2EME GENERATION PAR VOIE THERMOCHIMIQUE (SOURCE IFPN)	17
FIGURE II.4 : BIOCABURANTS DE TROISIEME GENERATION TIRES DES CULTURES D'ALGUES (VAITILINGOM, 2013 ; TOUATI, 2013).	18
FIGURE II.5 : MICROALGUES GENETIQUEMENT MODIFIEES UTILISEES DANS LA PRODUCTION DES BIOCABURANTS DE QUATRIEME GENERATION.	18
FIGURE II.6 : LES PRINCIPALES ETAPES DE LA PRODUCTION D'ETHANOL	21
FIGURE II.7 : UTILISATION POTENTIELLE DU BIOETHANOL (DEMIRBAS, 2008)	22
FIGURE II.8 : LA PRODUCTION MONDIALE DE BIOETHANOL EN 2019 (SUSMOZAS ET AL, 2020)	23
FIGURE III.1 : REPRODUCTION ASEXUEE DE S.CEREVISIAE PAR BOURGEONNEMENT (KNOP, 2011)	29
FIGURE III.2 : REPRODUCTION SEXUEE DES LEVURES (COSMA, 2004 ; LABBANNI, 2015)	30
FIGURE III.3 : REPRESENTATION SHEMATIQUE DES DIFFERENTS DOMAINES D'UTILISATION DE LA LEVURE ET SES PRODUITS (RAZKI, 2014).	32
FIGURE IV.1 : PREPARATION DE LA POUDRE DE DATTES	34
FIGURE IV.2 : PREPARATION DU JUS DE DATTES.	35
FIGURE IV.3 : PROCESSUS D'EXTRACTION DU JUS DE DATTES (CHENITI, 2015)	36
FIGURE IV.4 : CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES DATTES	37
FIGURE IV.5 : PROCEDE DE LA DISTILLATION DU BIOETHANOL	43
FIGURE V.1 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE AU COURS DE LA FERMENTATION.	50
FIGURE V.2 : EVOLUTION DU PH AU COURS DE LA FERMENTATION	51
FIGURE V.3 : EVOLUTION DE LA QUANTITE DE SUCRES ET DE L'ETHANOL AU COURS DE LA FERMENTATION	53
FIGURE V.4 : TEST D'INFLAMMABILITE DE PRODUIT FINAL (BIOETHANOL)	54
FIGURE V.5 : SPECTRE INFRAROUGE DU BIOETHANOL OBTENU APRES LA FERMENTATION ...	55
FIGURE V.6 : SPECTRE INFRAROUGE DU BIOETHANOL TEMOIN	56
FIGURE V.7 : SUPERPOSITION DES SPECTRES INFRAROUGE DU BIOETHANOL PRODUIT APRES LA FERMENTATION ET LE BIOETHANOL TEMOIN	57
FIGURE V.8 : SPECTRE CPG DU BIOETHANOL OBTENU APRES FERMENTATION	58
FIGURE V.9 : SPECTRE CPG DU BIOETHANOL TEMOIN	58

Liste des tableaux :

TABLEAU I.1 : STADE DE MATURATION DES DATTES (HARRAK ET BOUJNAH, 2012) ..	6
TABLEAU II.1 : PROPRIETES PHYSICOCHIMIQUE DU BIOETHANOL (CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF ETHANOL AND HYDROCARBON FUELS.2011PP-35)	19
TABLEAU II.2 : LES AVENTAGES ET LES INCONVENIENTS DU BIOETHANOL (RIESS, 2012).	22
TABLEAU III.1 : PRINCIPALES APPLICATIONS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE (COMONIS, 1990).	32
TABLEAU V.1 : CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE MOYENNE DES DATTES DE LA VARIETE DEGLA-BAIDA.....	45
TABLEAU V.2 : COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE LA POUDRE ET DU JUS DE DATTES ...	47
TABLEAU V.3 : LES GROUPEMENTS FONCTIONNELS PRINCIPAUX DES COMPOSANTS	56

Introduction générale

Introduction générale

Introduction :

Le développement des énergies renouvelable et durable est devenu indispensable en réponse aux défis de réchauffement climatique, à l'instabilité des prix du pétrole et à l'augmentation de la pollution atmosphérique. Cela vise à garantir la sécurité énergétique future. **(El-Hadi et al., 2016)**. Les bioénergies comme le biocarburant, le biodiesel et d'autre sont considérée comme des solutions économiquement prometteuses pour les énergies renouvelables, notamment à une époque où les énergies fossiles deviennent de plus en plus rares **(Sindhu et al,2016)**. La biomasse, présente dans divers écosystèmes, constitue l'une des ressources renouvelables les plus abondantes sur la planète. Elle est définie comme l'ensemble des matières biodégradables issues de produits, de résidus et de déchets. Cette catégorie englobe la biomasse agricole, la biomasse lignocellulosique et celle provenant des micro-organismes **(Cot, 2006)**.

En Algérie, la phoeniciculture joue un rôle central dans l'agriculture saharienne, avec une prédominance du palmier dattier qui occupe environ 22 % de la superficie totale des plantations **(“Statistiques Agricoles”, Ministère de l'Agriculture, 1998)**. Au cours des vingt dernières années, le nombre de palmiers dattiers a connu une croissance remarquable, passant d'environ 8 millions en 1990 à environ 18 millions en 2011, soit une augmentation de 125%, grâce aux soutiens apportés au secteur agricole. Pendant cette période, la production de dattes est également passée de 200 000 tonnes à environ 750 000 tonnes, soit une augmentation de 275 % **(Benziouche SE. et Cheriet F., 2012)**.

La datte est un élément important de l'alimentation tant pour les humains que pour les animaux. Ce fruit de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) contient une teneur élevée en sucre (73% à 83%) tel que le fructose, le saccharose et le glucose, et contient également des lipides, des éléments minéraux, des protéines et des vitamines. Le secteur phoenicicole Algérien fourni en plus des dattes, une biomasse importante constituée par les déchets de dattes, les pédicelles de dattes et les palmes sèches, qui sont pratiquement utilisés dans l'alimentation animale **(Boulal, 2017)**. Ces rebuts de dattes représentent une moyenne de 50 % de la production dattier annuellement. **(Anonyme)**.

Les transformations technologiques et biotechnologiques offrent de nouvelles opportunités pour valoriser ces ressources, en développant des produits à forte valeur ajoutée tels que, sirops, confitures, farines, levures, vinaigres, alcool **(Touzi,1997)**.

Introduction générale

Cette dernière est essentielle pour de nombreuses industries énergétiques. Dans cette préoccupation, il est estimé, d'utiliser des dattes à faible valeur commerciale comme substrat de fermentation anaérobie pour la production de bioéthanol par la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*.

Par ailleurs, l'intérêt accordé à la production du bioéthanol à partir des déchets de dattes constitue une alternative de choix qui donne de bons rendements à un prix compétitif. L'utilisation de L'alcool produit s'étend à diverses activités industrielles : industrie chimique (solvant, détergent...), industrie pharmaceutique, cosmétique (parfum, produits de beauté...), combustibles (comme carburant dans les transports autant que l'essence) (**Johnson et Echavarri-Erasun,2011**).

Le présent travail est divisé en cinq chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les dattes et les déchets de dattes.
- Le deuxième chapitre est consacré au bioéthanol et au procédé de fermentation.
- Le troisième chapitre présente la souche *Saccharomyces cerevisiae*, utilisée pour le procédé de fermentation.
- Le quatrième et cinquième chapitre traitent les travaux expérimentaux (matériel et méthodes et résultats et discussion).

En fin une conclusion générale et quelques perspectives

Partie I : synthèse bibliographique

Chapitre I

Le palmier dattier et les dattes

I.1 Le palmier dattier :**I.1.1 Introduction :**

Palmier dattier, *Dactylifera Phoenix* est un arbre béni connu depuis l'antiquité il se soucie de pouvoir cultiver et produire dans les versets désertiques et arides, même dans les versets les plus sombres. Et il a joué un grand rôle dans la province pour pouvoir faire face à ces environnements, où non On peut parler de dattes sans mentionner la datte, qui est une source vitale. (Dr . Abdul Basit Odeh Ibrahim, (Palm Tree Desert), 2011.Pp-04).

I.1.2 Généralité sur les palmiers dattier :

Le palmier dattier, scientifiquement appelé *Phoenix dactylifera*, a été baptisé par Linnaeus en 1734. Le terme "Phoenix" provient du mot phénicien signifiant "palmier" (l'arbre), tandis que "*dactylifera*" est dérivé du mot grec "dactylos", qui fait référence au doigt illustrant la forme en doigt des dattes. Le palmier dattier est généralement connu sous les noms de (Nakhil) en arabe et de "date palm" en anglais. (Munier, 1973).

Les palmiers dattiers se trouvent dans tout le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord, les zones d'Afrique de l'Est et du Sud et le Sud du Sahel.

Le palmier dattier, également connu sous le nom "d'arbre de vie", joue un rôle essentiel dans la régulation du climat local au sein des oasis. C'est l'un des arbres les plus anciens, avec une longévité allant de 70 à 100 ans. Sa majestueuse hauteur dépasse les 20 mètres. (Mohan, 2012).

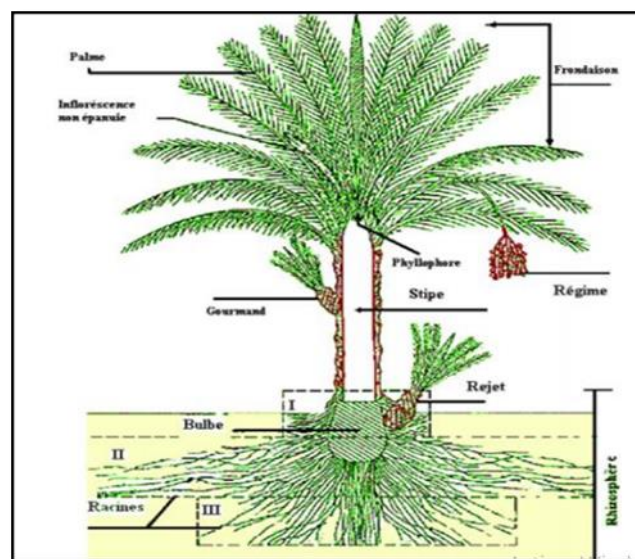


Figure 0.1 : Morphologie générale du palmier dattier (Munier, 1973).

I.1.3 Le palmier dattier en Algérie :

Les palmiers du désert algérien jouent un rôle crucial en tant que source de revenus pour plus de 100 000 familles dans le sud de l'Algérie (Bouguedoura et al. 2010).

Parmi les pays producteurs de dattes à l'échelle mondiale, l'Algérie occupe une place significative, contribuant à 12 % de la production totale.

La superficie totale allouée aux palmiers dans les zones caractérisées par un climat chaud et humide est de 167 000 hectares, soit environ 19 millions d'arbres (Agrichem Algérie, 2019).

Les régions du Ziban et l'Oued Righ sont les principales zones de production dattière en Algérie. En effet, elles possèdent plus de 46 % du patrimoine phoenicicole national (Matallah 2003).

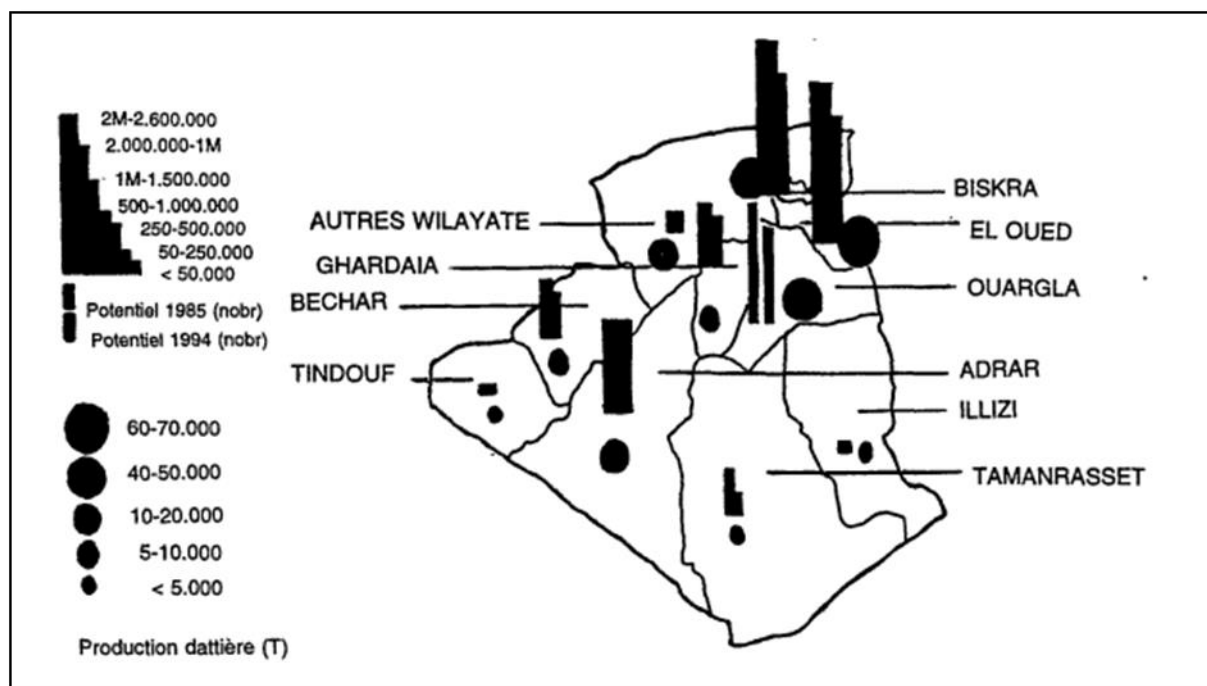


Figure I.2 : Répartition géographique du patrimoine phoenicicole

I.2 La datte :

La datte considérée comme un élément important de l'alimentation, grâce à sa grande valeur nutritive et énergétique, expliquée par sa richesse en sucre et en élément minéraux. C'est un fruit de forme allongée, constitue d'une partie charnue (la chair : partie comestible de la

datte) et d'un noyau. Sa couleur change du jaune doré au noir selon le stade de maturation, son goût et ses formes sont également variables (**Dowson et Aten, 1963**).

Selon les variétés des dattes, elle comporte trois tissus :

- Une enveloppe fine cellulosique, ou peau.
- Une zone périphérique appelée le mésocarpe de couleur plus soutenue et de texture compacte.
- Une zone interne appelée l'endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, l'endocarpe et le mésocarpe sont confondus par les conditions sous l'appellation chair ou pulpe (**Munier, 1973**).

Les dimensions du fruit sont très variables selon le type, allant en longueur de 2 à 8 cm. Et ça pèse aussi 2 à 8 g et suit ce changement de forme, de poids et de couleur du blanc jaunâtre au noir ou Rouge selon le type de dattes (**Al-Siddiq Qamoli,2010**).

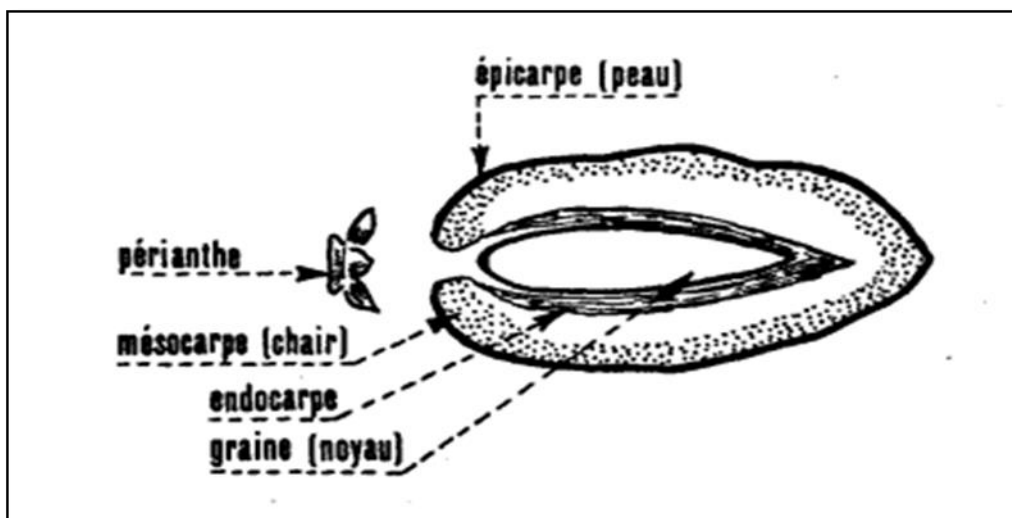


Figure 0.3 : Coupe schématique d'une dattes (**Munier,1973**)

I.2.1 Stade de développement de la datte :

Après la fécondation, les dattes se développent en cinq stades et à chaque stade ça change leur couleur, consistance et aspect jusqu'au dernier stade « Tmar » (**Harrak et Boujnah, 2012**).

Le tableau 01 représente les stades de maturation de datte.

Tableau I.1 : Stade de maturation des dattes (Harrak et Boujnah, 2012)

Stade \ Pays	1	2	3	4	5
Algérie	Loulou	Khalal	Bser	Mertouba	Tmar
Maroc	Bleh	Blah	Blah	Nekkar	Tmar
Irak	Hababouk	Kimri	Khalal	Routab	Tmar

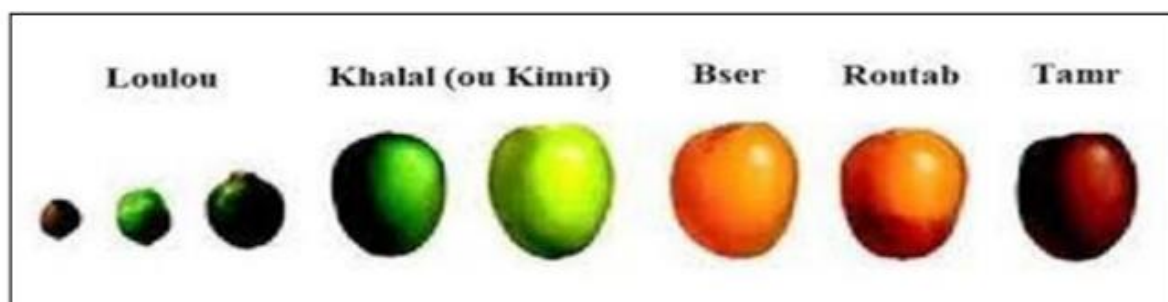


Figure 0.4 : Les stades de développement des dattes (Dolle et Peyron, 2000)

I.2.2 Classification des dattes :

Les dattes sont classées en plusieurs classifications : Classification commerciale (Matallah,1970). Classification chimique et Classification biochimique ou enzymatique (Cook et Furr, 1953).

Du point de vue biochimique pour (Espiard , 2002), les dattes de la variété commerciale Sont classées en :

❖ **Molle :**

Les dattes molles, passent par le stade ROUTAB et demeurent molles au stade tmar. Elles sont Caractérisées par une grande teneur en eau de la pulpe (plus 30 %) et une richesse en sucres Réducteurs.

❖ **Demi-molle :**

Les dattes demi-molles passent bien par le stade ROUTAB, mais sont un peu sèches stade tmar. Après le stade ROUTAB, cette classe de datte perd une partie d'eau pour devenir dans une Phase intermédiaire entre sèche et molle (Espiard , 2002).. La teneur en eau de la pulpe Est moins élevée (20-30 %). Les sucres sont le plus souvent réducteurs.

❖ Sèche :

Les dattes sèches ne passent pas par le stade ROUTABE. Elles évoluent directement du stade KHALAL au TMAR, avec moins de 20 % d'eau. Elles sont pour la plupart à saccharose.

La classification chimique est en deux : la première contenant du saccharose, et la seconde des sucres réducteurs (glucose, fructose). Il est également classé biochimiquement selon les chercheurs (**Cook & Furr 1953**) en :

- Les dattes qui contiennent une enzyme invertase.
- Les dattes qui contiennent quelques invertases.
- Dattes qui ne contiennent pas l'enzyme invertase.

Cette dernière classification est conforme à la classification commerciale car les variétés molles riches en invertase ne contiennent que des sucre réductase et les variétés semi-molles contiennent à la fois des sucres réducteurs et non réducteurs, tandis que les variétés sèches ne contiennent que du saccharose.

Selon (**Djerbi, 1994**), la classification du palmier dattier selon le règne végétal est :

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

I.2.3 Les variétés des dattes en Algérie :

Toutes variétés de dattes sont considérées comme ayant le même bénéfice et les mêmes composants avec des proportions variables, mais se différencient par leurs saveurs, consistances, formes, couleurs et poids (**Belguedj, 2002**).

Les principales variétés des dattes en Algérie sont :

I.2.3.1 Ghers :

Pâteux et collant, datte en termes de tartina, sèche à demi- sèche, a une bonne aptitude de conservation notamment écrasée sous forme de b'tana en sacs. De couleur ambrée, mature au mois d'octobre (**Belguedj, 2002**).

I.2.3.2 Hmira :

Une datte molle à demi- molle, de couleur marron rougeâtre, mature en mois d'octobre et septembre, c'est une bonne datte conservée de façon écrasée ou sacs avec un important degré de commercialisation (**Hanachi et al, 1998**).

I.2.3.3 Deglet Talmine :

C'est une datte beige à marron foncé, plastifiante, légèrement acide. Elle consomme fraîche en l'état ou conservée se forme piler et en poudre. Cette variété très demandée notamment par les pays du Sahel (**Belguedj, 2002**).

I.2.3.4 Mech-Degla :

(MD) Est un fruit de couleur beige clair teintée, qui se détériore après une longue période de temps grâce à sa texture fibreuse et sa consistance sèche. Ainsi qu'elle est classée parmi les dattes communes comparativement à DegletNour (**Belguedj, 2002**).

I.2.3.5 Deglet Nour :

Est une variété de dattes originaire d'Algérie. Elle est principalement cultivée dans le Bas Sahara, en Algérie. La deglet noir est particulièrement riche en apports énergétiques, composée de 70% d'eau, de sucres (38% de saccharose), de vitamine C et de nombreux minéraux. Cette variété est extramoelleuse, charnue et sa peau est très fine, sa couleur est claire, dorée et translucide, conservée pour une longue période de 6 à 12 mois dans l'emballage approprié et peut être conservé à plusieurs manières (en état fraîche, en pâtisserie/confiserie ou fourrée au beurre frais) (**Belguedj, 2002**).

I.2.4 Production des dattes :**I.2.4.1 Dans le monde**

L'Asie est le plus important continent producteur de dattes au monde, avec 43.4% et 55.8%. Selon un rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, la production des dattes dans le monde atteint neuf millions de tonnes (**FAO, 2020**). Les cinq premiers pays producteurs de dattes dans le monde en 2022 sont (**WEB MANAGER CENTER, 2023**) :

- ❖ **Egypte** : c'est le premier pays avec 1 500 000 tonnes.
- ❖ **Iran** : en deuxième place par une production de dattes avec 1 200 000 tonnes.
- ❖ **Arabie Saoudite** : est à la troisième classe avec 1 000 000 tonnes.
- ❖ **Irak** : quatrième pays avec 600 000 tonnes.

❖ **Pakistan** : cinquième pays 500 000 tonne

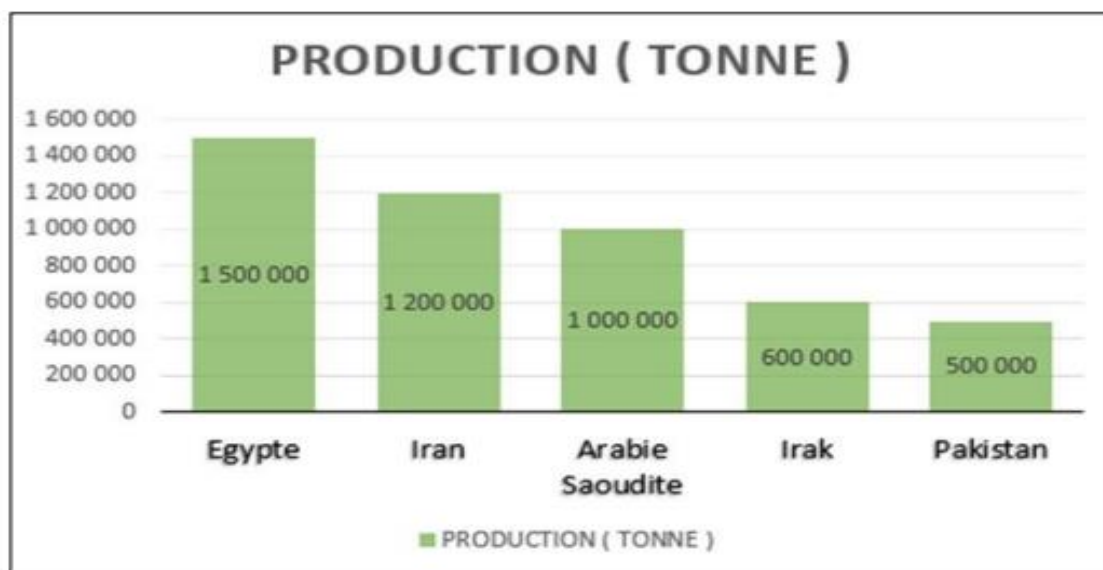


Figure I.5 : Les principaux pays producteurs de dattes dans le monde en 2022 (WEB MANAGER CENTER, 2023)

I.2.4.2 En Algérie

L’Algérie est l’un des plus importants pays producteurs de dattes au monde. Elle s’est classée au quatrième rang mondial en 2021, dont 167 279 hectares exploités de sa superficie totale, ce qui équivaut à produire 10 255 000 quintaux de dattes (100 variétés) (Madr, 2021)

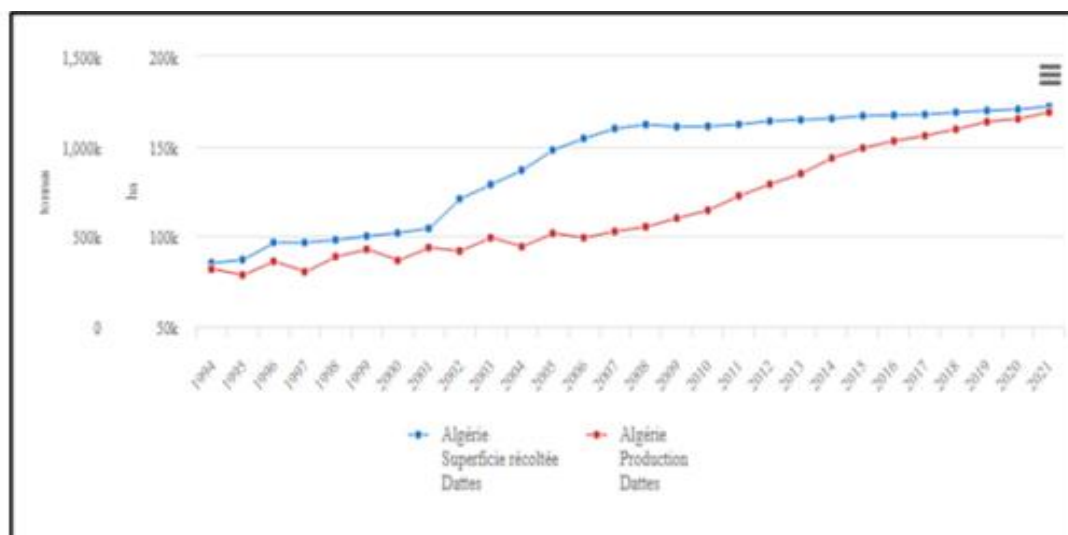


Figure I.6 : La production des dattes en Algérie (1999-2021) (FOASTAT, 2021).

I.2.4.2.1 Les zones de production de dattes dans le désert algérien :

* Oued Riga : Ouargla, Touggourt. * Oasis : Vallée du M'Zab. * Toat : Adrar, Reggane. *Bouteille : Timmon. * Saura : Bachar. * Hoggar : Tamanrasset. *Tydilecte : Ain Saleh*T'admis : imprenable. * Ziban : Biskra, Boussaâda, Tolka. * WaidSoufi : la vallée. **(Hassan Khaled Hassan Al-Akidi, 2010).**

Les trois wilayas qui produisent de grandes quantités de dattes en Algérie sont : Biskra, Eloued et Ouargla avec 40 77900 tonnes, 24 74000 tonnes et 12 96300 tonnes respectivement **(Madr, 2016).**

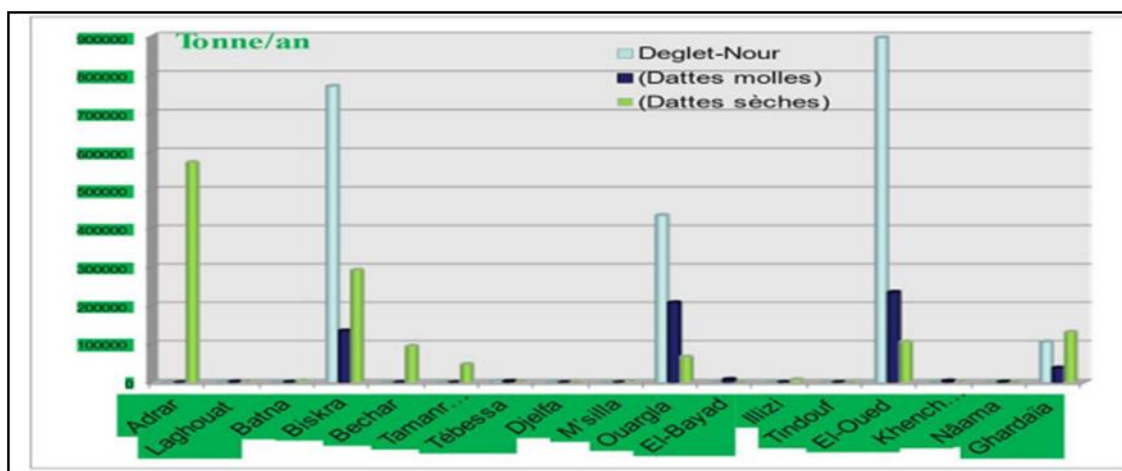


Figure I.7 : Distribution de la production nationale des dattes (-MED-Tayeb.Oucif Khaled. 2019. P123)

I.3 Les déchets des palmiers dattiers

Dans les pays producteurs de dattes, les résidus des palmiers dattiers et des dattes posent un défi majeur pour les fermes et les usines de transformation. Ces résidus, tels que les feuilles, les frondes, les tiges usées et les restes de dattes infectées ou déformées, s'accumulent et deviennent inadaptés à la mise en conserve et à la vente. Cette accumulation entraîne une pollution environnementale évidente

La valorisation énergétique des sous-produits de l'industrie des dattes en bioéthanol s'inscrit dans une démarche économique et environnementale **(Elarem et al., 2011)** évitant ainsi un certain niveau de pollution.

Les rebuts de dattes ou écarts de tri de dattes sont les fruits du palmier dattier qui ne sont pas aptes à la consommation humaine **(Chehma et Longo, 2001)**, Ces déchets de dattes

représentent 30 à 50% de la production nationale. En outre, la disponibilité annuelle des déchets de dattes en Algérie est de 165 000 tonnes (**Boulal et al., 2013**).

Généralement, elles sont destinées pour l'alimentation du bétail tel que H'chef (dattes déshydratées) et Sich (dattes non fécondées), mais elles sont mises en offre pour la production de vinaigre et du bioéthanol.

Ils se divisent selon les recherches menées à ce sujet en :

- Déchets solides (noyau),
- Dattes tombant lors de la maturation,
- Dattes pourries, dattes incomplètes.

La transformation des dattes endommagées et de faible valeur marchande, ouvre un marché pour quelques variétés de dattes dont on peut fabriquer le vinaigre, le jus, le sirop, le miel, la confiture, la farine, les pâtes... D'autres sous-produits du palmier dattier peuvent être intégrés directement dans les moulées animales.

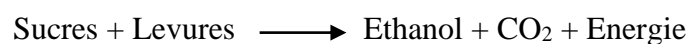
I.3.1 Transformation biotechnologique de la datte :

I.3.1.1 Vinaigre de dattes :

C'est un produit artisanal produit par une double fermentation alcoolique puis acétique par la levure *Saccharomyces* suivi d'une acétification par la bactérie *Acetobacter aceti* (**EL Hadj et al., 2001**).

I.3.1.2 Alcool :

La fermentation alcoolique consiste à transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose par des levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories, selon la réaction suivante (**Kaidi et Touzi, 2001**) :



I.3.1.3 Biomasse et protéine d'organismes unicellulaires :

Des essais de production de protéines d'organismes unicellulaires par culture de la levure *S. cerevisiae* sur un milieu à base de dattes, car la production de protéines reste un objet essentiel afin de subvenir aux besoins mondiaux (**Bessah et Touzi, 2001**).

I.3.1.4 Les noyaux de dattes :

La valorisation des noyaux des dattes comme matière première, permet d'élaborer plusieurs produits et dérivés, entre autres : café, produits cosmétiques (huile et khôl) et aliments pour bétail (Cheriet et Messaoudi, 2018).

I.3.2 Transformation technologique de la datte :

Les dattes, offre une large gamme de sous-produits exploités par la population saharienne, à savoir : sirop de dattes, aliment de bétail et farines, farines enrichies et jus de dattes.

I.3.2.1 Sirop de dattes :

Utilisations diversifiées surtout en industries alimentaires et pharmaceutiques. C'est un liquide très concentré, fabriqué avec toutes les variétés de dattes des qualités secondaires (Munier, 1973).

I.3.2.2 Aliment de bétail :

Des dattes non consommées, non transformées comme hchef et résidus de transformation (les noyaux) constituent des sous-produits intéressants pour l'alimentation de bétail.

I.3.2.3 Farine et farine enrichies :

Utilisées pour l'alimentation des adultes, complément pour sportifs, pâtisseries et préparations. En effet, les analyses biochimiques de la poudre de dattes montrent que la farine des dattes présente une teneur importante en matière sèche (Kendri, 1999).

I.3.2.4 Jus de datte :

La fabrication de jus de dattes est connue depuis l'antiquité dans les pays de Moyen orient où on trouve une grande quantité de datte de qualité médiocre destinée à la Transformation (Chaira et al., 2007). Le jus de datte peut être utilisé dans nombreuses préparations alimentaires Telles que les boissons gazeuses, le vinaigre, l'alcool, etc (Estanove, 1990). Il y a d'autres nombreux produits tels que : le vin sfouf (un produit de datte broyé) et b'tana.

Chapitre II
Biocarburants et le Bioéthanol

II.1 Historique :

Les carburants à base de pétrole ont longtemps dominé le secteur du transport routier, notamment depuis les années 1930 selon la Commission des Communautés européennes (CCE, 2007). Cependant, dans les années 1970, le Brésil a pris l'initiative de produire de l'éthanol à partir de canne à sucre pour faire face à la hausse des prix du pétrole et améliorer son autonomie énergétique (Forge, 2007). Aux États-Unis, après le premier choc pétrolier de 1973-1974, des programmes de production de bioéthanol ont été lancés pour diversifier les sources d'énergie et réduire la dépendance aux carburants fossiles (Hervé, 2007).

L'usine d'éthanol Green Field à Varennes est le principal producteur d'éthanol au Canada et la première au Québec (Gruer, 2007). Face à la nécessité de répondre à la demande croissante en énergie tout en minimisant l'impact environnemental des combustibles fossiles, l'investissement dans la recherche et le développement des énergies propres et durables, dont le bioéthanol fait partie, est essentiel (Krylov et al., 2008).

II.2 Définition des biocarburants :

Les biocarburants sont des carburants liquides ou gazeux fabriqués à partir de matières végétales, de résidus agricoles et de déchets municipaux. Ils ont la capacité de remplacer les carburants fossiles dans les moteurs de véhicules. En d'autres termes, un biocarburant est un combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de la biomasse. La biomasse, quant à elle, correspond à la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus issus de l'agriculture, de la sylviculture, ainsi que des déchets industriels et municipaux (Matallah, 2006 ; Hébert, 2013).

Le mot biocarburant s'apparente au terme anglais biofuel qui désigne autant les matières biocombustibles solides que les biocarburants liquides ainsi que le biogaz (Nigam et Singh, 2010 ; Hébert, 2013).

Selon le (Journal officiel du 22/07/2007) le carburant est composé de dérivés industriels, notamment les gaz, alcools, éthers, huiles et esters obtenus après transformation de produits d'origine végétale ou animale (Nunes, 2009).

II.3 Différentes générations de biocarburants :

On distingue trois générations de biocarburants selon l'origine de la biomasse utilisée et les procédés de transformation associés (Anonyme, Rapport sur l'industrie des énergies décarbonnées, 2010).

II.3.1 Première génération de biocarburants

Il existe classiquement trois grandes filières de biocarburants de 1ère génération : l'huile, l'alcool et le gaz (**Vallée et Behaghel, 2008**).

II.3.1.1 Filière huile :

Le produit direct du pressurage de la graine (de colza ou de tournesol) l'huile pure ou huile végétale brute, lequel, après filtration, peut être utilisé directement comme carburant dans un moteur diesel, sans modification de ce dernier (**FNH, 2008, Vallée et Behaghel, 2008**).

L'ester Méthylique d'Huile Végétale (EMHV) obtenu en faisant réagir de l'huile de colza ou de tournesol avec de l'alcool méthylique (Trans-estérification). Cette opération permet de fabriquer un sous-produit du glycérol, encore appelé glycérine (**Vallée et Behaghel, 2008**).

II.3.1.2 Filière alcool :

Les biocarburants sont produits à partir d'alcools tels que le méthanol et l'éthanol. Les cultures admissibles sont celles qui peuvent fournir des matières premières capables de fermenter pour produire de l'alcool.

Cela inclut toutes les cultures sucrières telles que la betterave, la canne à sucre et les dattes, ainsi que les cultures riches en amidon, comme le blé. L'amidon, par hydrolyse, se transforme ensuite en sucre. Dans cette catégorie entre :

- Les alcools utilisés purs (comme au Brésil), mais cela nécessite de modifier le moteur des voitures ;
- L'Ethyl Tertio Butyl Ether (ETBE) et le Méthyl Tertio Butyl Ether (MTBE) obtenus en faisant réagir les alcools avec un produit pétrolier obtenu en raffinerie, l'isobutène (encore appelé iso butylène), qui est un hydrocarbure de formule C_4H_8 ; L'ETBE est utilisé comme additif à l'essence, à hauteur de 15 %, en remplacement du plomb (**Vallée et Behaghel, 2008**).

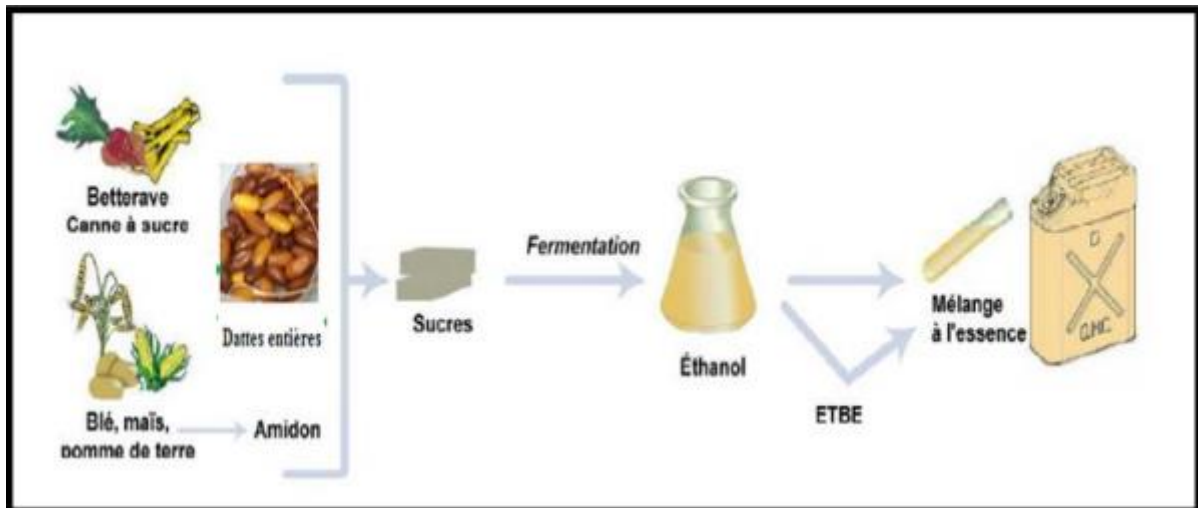


Figure II.1 : Procédé de fabrication de l'éthanol par fermentation des sucres (Adrian, 2011)

II.3.1.3 Filière gaz :

Les combustibles sont obtenus à partir du méthane contenu dans le biogaz (de 50% à 90%, le reste étant essentiellement du CO₂ et de la vapeur d'eau). Le biogaz est ce qui résulte de la fermentation, hors de la présence d'oxygène, de n'importe quels matériaux organiques : déchets alimentaires, déchets de bois, paille, produits des cultures. (Vallée et Behaghel, 2008)

II.3.1.4 Filière charbon de bois (biocarburant solide) :

Le charbon de bois peut être considéré comme un biocarburant solide, obtenu par pyrolyse du bois, de la paille ou d'autres matières organiques.

Mais généralement, le charbon de bois n'est pas classé dans la catégorie des biocarburants qui renvoie souvent à des produits liquides. (Anonyme, Lettre de politique agricole de la CMA/AOC (LEPAC), 2007).

A l'effet de pallier l'utilisation des produits alimentaires pour la production de carburant dans un environnement mondial pas très favorable, les recherches s'orientent vers de nouvelles filières, aux meilleurs rendements et sans grande conséquence pour l'environnement (Anonyme, Lettre de politique agricole de la CMA/AOC (LEPAC), 2007).

II.3.2 Deuxième génération de biocarburants :

Les agros carburants de deuxième génération utilisent, pour leur production, la biomasse lignocellulosique des végétaux (bois, paille, feuille, résidus forestiers, déchets non

comestibles, certaines cultures, etc.). Généralement, deux voies permettent de les fabriquer : voie thermochimique et voie biochimique.

II.3.2.1 La filière biochimique (voie biochimique) :

Les trois principaux constituants de la biomasse lignocellulosique sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Actuellement, seule la cellulose peut être facilement transformée en éthanol. Toutefois, l'hémicellulose fait l'objet de recherches intensives pour la rendre convertible.

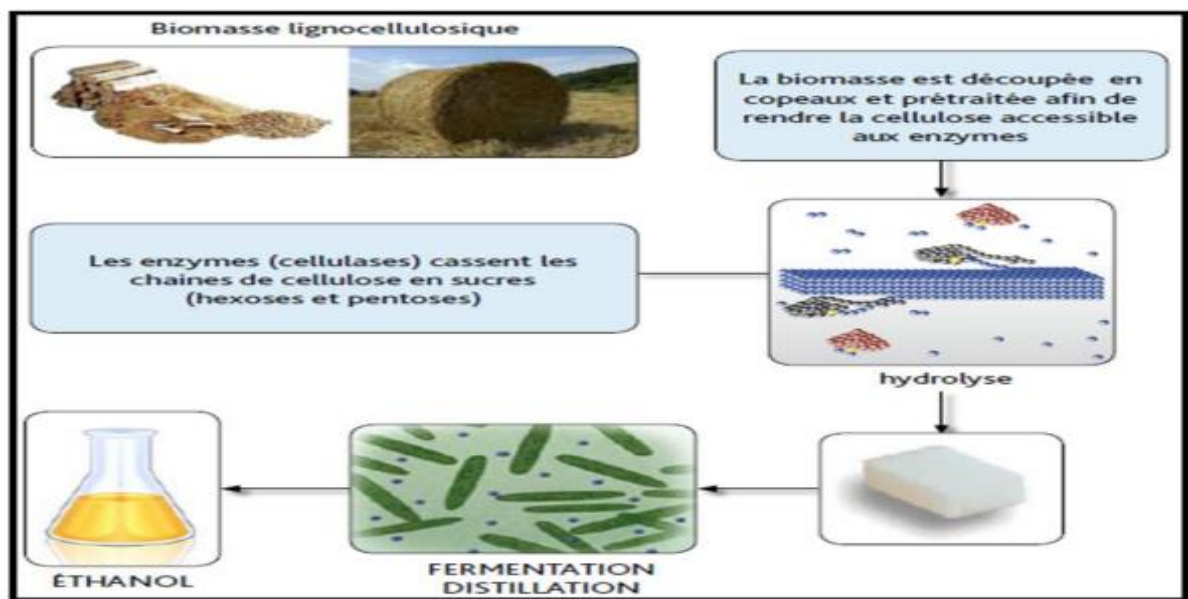


Figure II.2 : Production d'éthanol par la voie biochimique (Nunes, 2009; Oucif 2017)

II.3.2.2 Thermochimique (voie thermochimique) :

La filière thermochimique de production de gazole et de kérosène de synthèse appelé BtL (Biomass to Liquid), (Porot, 2011).

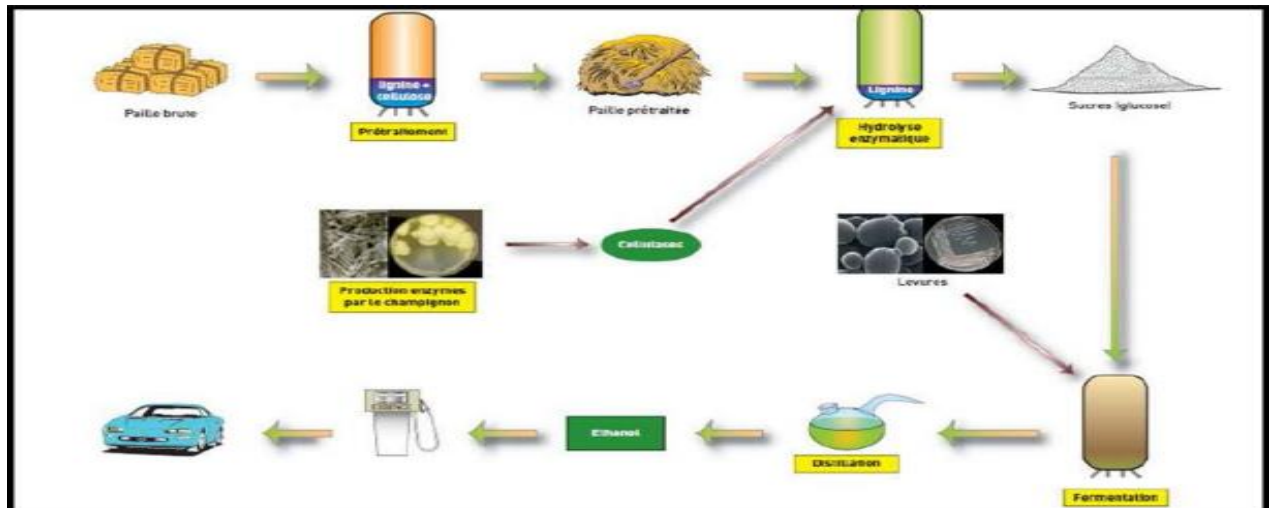


Figure II.3 : Procédé de fabrication d'agro carburants de 2ème génération par voie thermo-chimique (Source IFPN)

II.3.3 Biocarburants de troisième génération : lipides de microalgues :

Les biocarburants de troisième génération, également appelés algocarburants, sont produits à partir de micro-algues. Ces micro-organismes ont la capacité de synthétiser des lipides ou des hydrocarbures à partir du dioxyde de carbone (CO_2), avec une productivité potentiellement supérieure à celle des cultures oléagineuses traditionnelles. Cette caractéristique rend possible une production de masse, notamment pour des applications telles que l'aviation, sans nécessiter de déforestation massive ni entrer en concurrence avec les cultures alimentaires. Pour obtenir un rendement optimal en huile, la croissance des micro-algues doit s'effectuer avec une concentration en CO_2 d'environ 13 % (**Vaitilingom** ,2013).

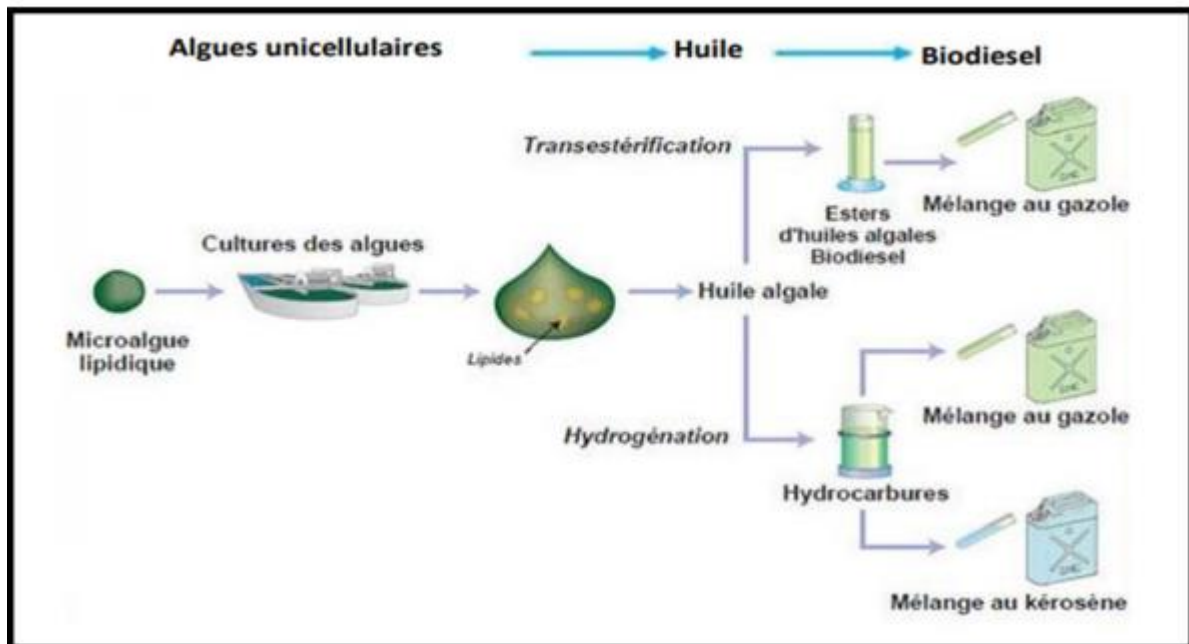


Figure II.4 : Biocarburants de troisième génération tirés des cultures d'algues (Vaitilingom, 2013 ; Touati, 2013).

II.3.4 Biocarburants de quatrième génération :

Les microalgues génétiquement modifiées représentent les matières premières de choix pour la production des bicarburant de quatrième génération, comme illustré dans la figure II.5 (Pandit et al., 2023).

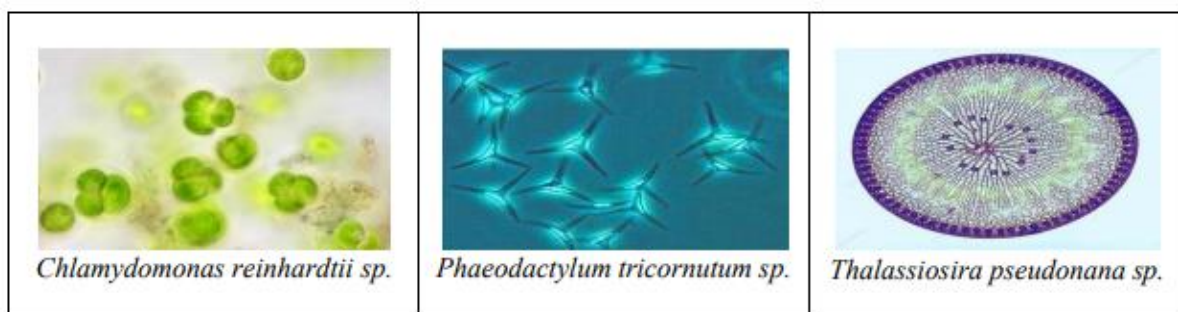


Figure II.5 : Microalgues génétiquement modifiées utilisées dans la production des biocarburants de quatrième génération.

Des micro-organismes ont été génétiquement modifiés pour augmenter leur photosynthèse, accélérer leur croissance et améliorer leur adaptation à des environnements peu nutritifs. Ces modifications visent à accroître leur production de biocarburants et à créer un puits de carbone artificiel (Pandit et al., 2023).

II.4 Bioéthanol :

Le bioéthanol ou l'éthanol biologique est un carburant, imposé depuis longtemps comme le premier biocarburant dans le monde, obtenu par une fermentation anaérobie des sucres suivis d'une distillation. (EL Arem et al., 2011).

L'éthanol est considéré comme une alternative à l'essence, il est utilisé comme carburant pour les voitures après l'avoir mélangé avec de l'essence dans des proportions variables. L'éthanol est spécialisé et les types les plus largement utilisés sont : 10% d'éthanol et 90% de benzène ou 85% d'éthanol et 15% de benzène (Zabi et Messaoudi, 2022).

L'éthanol est également connu sous le nom d'alcool éthylique. Sa formule moléculaire est CH₃CH₂OH. L'éthanol bio source ou le bioéthanol, est un liquide incolore et inflammable avec une odeur distinctive. Il a une saveur assez sucrée dans les solutions aqueuses diluées et une sensation de brûlure au goût dans les solutions les plus concentrées. Le bioéthanol est l'alcool éthylique, produit par fermentation alcoolique (Alio, 2020).

II.4.1 Propriétés de bioéthanol :

II.4.1.1 Propriétés physiques de bioéthanol :

Le tableau 1 présente les propriétés physiques du bioéthanol.

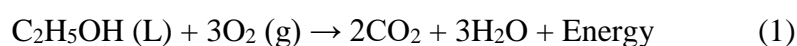
Tableau II.1 : Propriétés physicochimique du bioéthanol (Chemical and Physical Characteristics of Ethanol and Hydrocarbon fuels.2011pp-35)

Valeur calorifique	27.3 M/Kg
Viscosité dynamique	1,2 Pa.s
Densité	794 kg/m³
Degré d'évaporation	78,5 °C
15,5 °C gravité spécifique	0,79
Solubilité	Il se mélange avec de l'eau et du benzène
Température de congélation	- 114,3
Indice d'octane RON	98,0

II.4.1.2 Propriétés chimiques de bioéthanol:

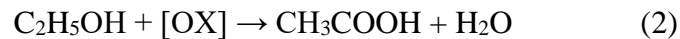
II.4.1.2.1 Combustion:

L'Ethanol s'enflamme en presence d'oxygène selon l'équation suivante



II.4.1.2.2 Réactions d'oxydation:

L'éthanol réagit en présence d'un agent oxydant et d'un milieu acide de la manière suivante

**II.4.2 Procédés de production de bioéthanol :**

La fermentation alcoolique doit se dérouler dans les meilleures conditions pour obtenir un produit de bonne qualité. Pour cela, il faut prendre en compte certains facteurs qui vont influencer sur la croissance de la levure et le maintien de son activité jusqu'à la fin de la fermentation :

- ✚ Le degré d'alcool atteint va dépendre de la teneur en sucre dans le moût de fermentation.
- ✚ Le moût doit être acide afin d'éviter tout risque de contamination bactérienne.
- ✚ Le taux des éléments nutritifs minéraux et organiques formé pour la levure.
- ✚ Enfin, une faible aération va permettre d'assurer la biosynthèse des stérols des membranes cellulaires nécessaires au maintien de la viabilité cellulaire. Ainsi, le bilan fermentaire et la productivité sont favorisés par l'oxygène.

Les paramètres exposés vont conduire à des variations sur le rendement en alcool, sa cinétique de production et la formation de sous-produits (**Castro, 2007**).

Quel que soit le substrat transformé, tout procédé de production de bioéthanol passe par 3 étapes :

- Conversion de la biomasse en sucres,
- Fermentation,
- Récupération de l'éthanol par Distillation (Schéma 5).

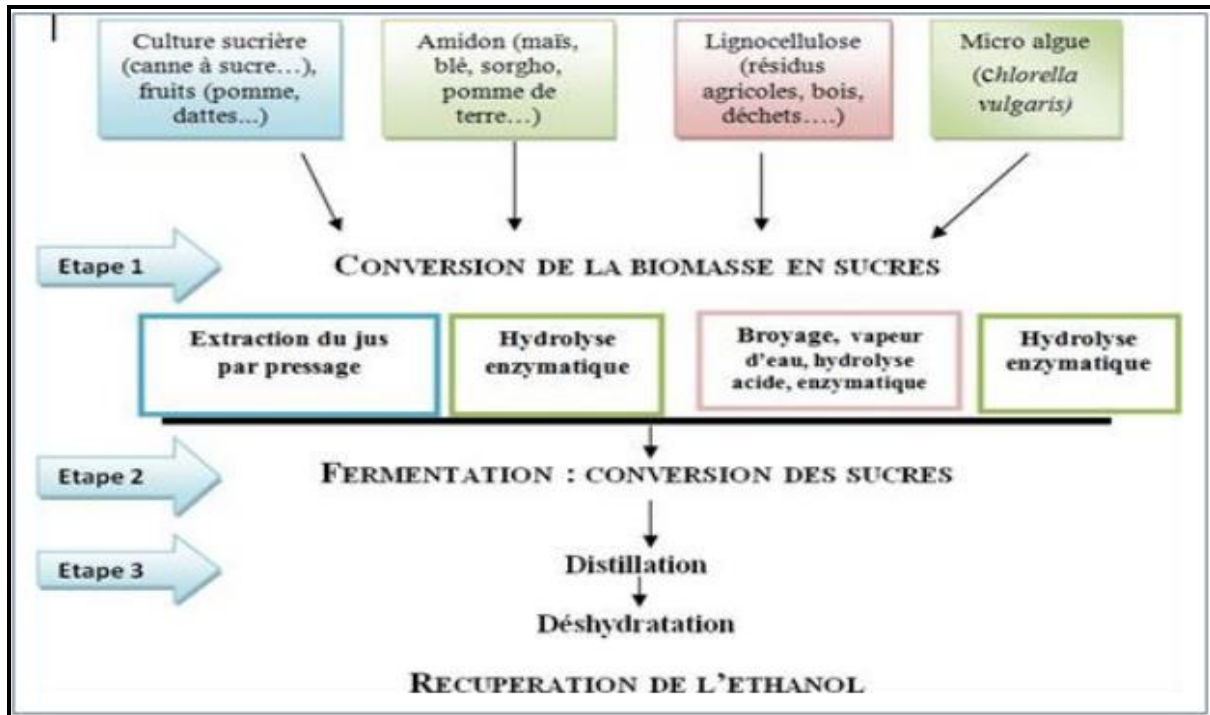


Figure II.6 : Les principales étapes de la production d'éthanol

II.4.3 Utilisation de bioéthanol :

- ✚ le bioéthanol constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées, et entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures, les encres, les matières plastiques, les cosmétiques..., il est également utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides (**Kacimi, 2008**).
- ✚ Le bioéthanol est utilisé en mélange dans les essences à des niveaux de concentration variable : soit dans les supercarburants (manière systématique) ou dans le carburant super éthanol (haute teneur), ce carburant est destiné à des véhicules dédiés (véhicules à carburant modulable) (**Cloona, 2006**).
- ✚ Le bioéthanol peut être également utilisé sous forme d'ETBE (Ethyl Tertio Butyl Ether) qui est un dérivé pouvant être mélangé à l'essence classique avec une proportion de 15%, ce dérivé utilise actuellement la plus grande partie de production de bioéthanol (**Cloona, 2006**).

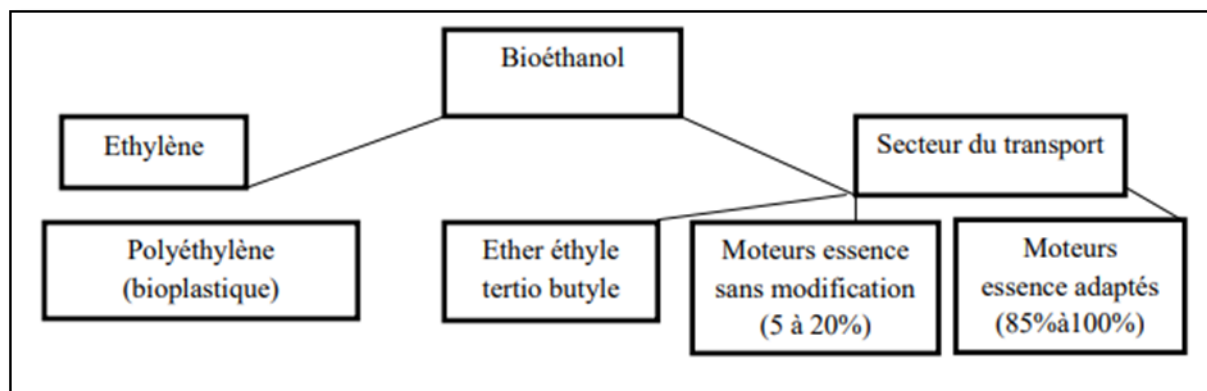


Figure II.7 : Utilisation potentielle du bioéthanol (Demirbas, 2008)

II.4.4 Avantages et inconvénients :

Les Avantages et les inconvénients du bioéthanol sont résumés dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau II.2 : Les avantages et les inconvénients du bioéthanol (Riess, 2012).

AVANTAGES	INCONVENANTS
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-1 pour l'éthanol contre 32020 kJ kg-1 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

Le bioéthanol présente des avantages indéniables, dont le principal est son prix attractif, surtout dans un contexte de hausse des prix des carburants.

II.4.5 Production de bioéthanol :

II.4.5.1 A L'échelle mondiale :

À l'échelle mondiale, l'une des options les plus encourageantes c'est pour remplacer l'utilisation de l'essence par le bioéthanol, qui est le plus important carburant liquide issu de la biomasse produite. En tant que carburant pour les véhicules, il peut être employé sous forme de mélange avec de l'essence ou sous forme d'éthanol pur (Susmozas et al., 2020).

Les Etats-Unis, le Brésil et l'union Européenne sont les plus grands producteurs mondiaux de bioéthanol, ces trois régions produisent, à elles seules, plus de 86% de la production mondiale des biocarburants (Didden et al., 2008). Jusqu'à 2019, les Etats- Unis (54%) et le Brésil (30% avec 32 000 millions de litres), maintient toujours les premières places, ensuite l'Union Européenne avec 5443 millions de litres (5%).

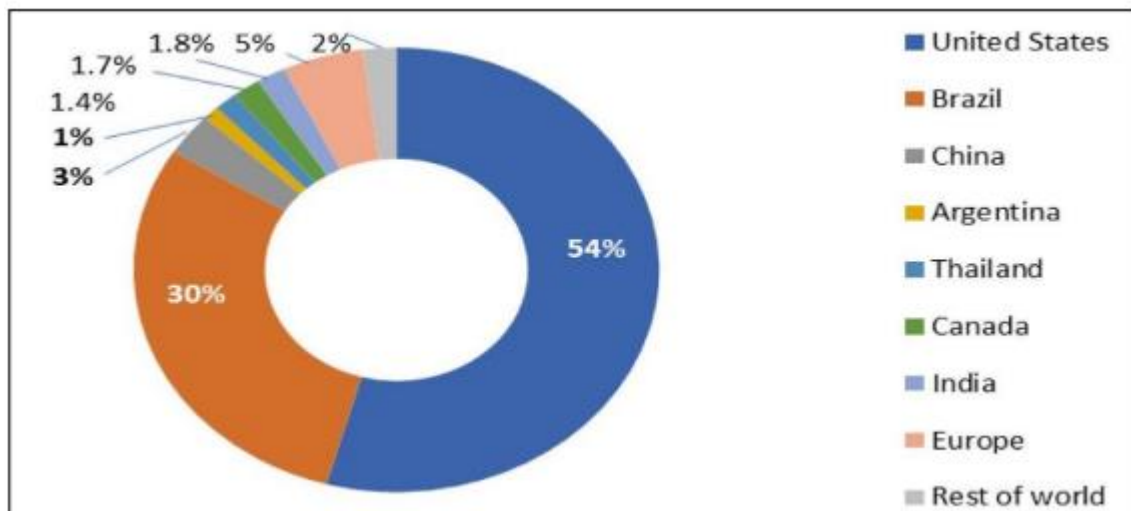


Figure II.8 : La production mondiale de bioéthanol en 2019 (Susmozas et al, 2020)

A travers le monde, il existe environ 700 installations industrielles pour la fabrication de l'éthanol par fermentation. Aux Etats Unis, ils commercialisent depuis 1975, de l'essence contenant 10% d'éthanol sous le nom de Gasohol.

II.4.5.2 A L'échelle nationale :

L'Algérie possède un potentiel considérable en déchets et sous-produits de dattes, ce qui pourrait initier un programme similaire. En effet, la production d'éthanol à partir de ces déchets de dattes représente une solution économiquement intéressante. Cet alcool peut avantageusement remplacer celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers et servir de substitut au pétrole léger comme carburant (Touzi et Azbbes, 1988).

En outre, il est pertinent de noter que, selon la région des alcools, l'Algérie importe entre 30 000 et 50 000 hectolitres d'alcool éthylique par an, pour répondre à ses divers besoins.

II.5 Fermentation alcoolique :

La fermentation est un processus naturel qui se produit lors de la décomposition de la matière organique. Elle consiste en la transformation de cette matière organique par des ferments, entraînant ainsi des modifications des propriétés organoleptiques des aliments. Trois types de ferments sont utilisés : les bactéries, les moisissures et les levures. Chacun de ces microorganismes possède des capacités fermentaires spécifiques, conduisant à des fermentations différentes telles que la fermentation lactique, alcoolique, acétique et propénoïque (**Burillard et al., 2016**).

La fermentation alcoolique consiste à transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose par des levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories selon la réaction suivante : (**Kaidi et Touzi, 2001**).



Le rendement théorique calculé à partir de cette équation, appelé rendement de Gay-Lussac, établit que 100kg de glucose produisent 51,1kg d'éthanol. En 1857, Pasteur précise et quantifie les processus fermentaires anaérobies. Il démontre que des coproduits sont toujours associés à la synthèse de l'éthanol et du gaz carbonique. Environ 3% sont des sucres transformés en glycérol, 0,5% en acide succinique, 0,5-0,8% en huiles de fusel (un mélange d'alcools amylique et propylique et de leurs isomères) et 0,8-1% sont consommés pour assurer le développement des microorganismes fermentaires. En tenant compte de ces pertes en sucres, le rendement maximal, appelé rendement de Pasteur, correspond à la production de 48,4g d'éthanol à partir de 100g de glucose, soit 94,7% du rendement théorique. La fermentation dure de 40 à 72 h et la température est fixée entre 280 et 32 °C (**Açourene, 2012**).

Les souches de *Saccharomyces* présentent une bonne tolérance aux fortes concentrations d'éthanol, mais elles sont sensibles à l'effet du glucose. De plus, ces souches ont la particularité de se sédimenter dans le milieu en fin de fermentation, ce qui facilite leur séparation.

Lors de la fermentation alcoolique, plusieurs changements peuvent apparaître : un dégagement de gaz carbonique, un changement d'odeur et de saveur, une diminution de la

densité (transformation du sucre en alcool), augmentation de couleur, de température et du volume (**Kaidi et Touzi, 2001**).

II.5.1 procédé de fermentation alcoolique :

La production d'éthanol a fait l'objet de très nombreux travaux académiques et industriels afin d'améliorer les performances des procédés de production. Il existe plusieurs modes de conduite et de configuration du bioréacteur, qui sont primordiaux et doivent être déduites du métabolisme du microorganisme afin d'optimiser ses capacités de production (**Fadel et al., 2013**).

II.5.1.1 Fermentation type batch (discontinue) :

Les fermentations discontinues sont aussi appelées "systèmes fermés" où le substrat et les micro-organismes de production sont ajoutés au fermenteur à un instant zéro et ne sont pas retirés tant que la fermentation n'est pas terminée. Ainsi, leurs concentrations ne sont pas contrôlées, mais varient au cours du temps en fonction de la consommation associée à la croissance des organismes cellulaires. Le pH, la concentration d'oxygène dissous et la température sont généralement maintenus stables pendant le fonctionnement du réacteur (**Hussenet, 2017**).

II.5.1.2 Fermentation fed-batch (semi continue) :

Ces cultures sont alimentées de façon séquentielle ou continue en éléments nutritifs et substrats. La conduite en mode Fed-batch permet d'atteindre de plus hautes concentrations en biomasse et produits que le mode batch en évitant l'inhibition par la concentration en substrat, la limitation en éléments nutritifs et en réduisant les effets toxiques des produits par dilution lors des apports (**Roukas, 1996**).

II.5.1.3 Fermentation en mode continue :

Le réacteur en mode continu est un système ouvert, dans lequel le milieu de culture est continuellement additionné, et le milieu de fermentation qui contient les métabolites produits est continuellement extrait, avec un volume réactionnel constant (**Sanchez, 2007**).

La fermentation en mode continu peut combiner une cuve et un système de recyclage cellulaire ; dans ce cas une fraction de la biomasse cellulaire est recyclée dans la cuve (**Djelal et al., 2012**).

Chapitre III
Saccharomyces cerevisiae

III.1 Introduction :

La fermentation est un phénomène naturel, se produisant lors de la décomposition de la matière organique (Collectif d'auteurs, 2007. **Microbiochimie et alimentation**. Educagri éditions. **Chapitre 3 : Dynamique et flux cellulaire, 52-53.**) . Par ailleurs, l'utilisation de la fermentation par l'homme a débuté de manière empirique. Elle était utilisée initialement pour conserver les denrées, préparer du pain, des boissons alcoolisées... Les études montrent que les Sumériens (Basse Mésopotamie), l'utilisaient déjà 8000 ans avant JC. Il faudra néanmoins attendre le XVIIIème siècle pour découvrir les microorganismes mis en cause (**Blog Agroalimentaire : Les aliments fermentés [en ligne]. Disponible sur : <http://www.blogagroalimentaire.com/aliments-fermentes/>. [Consulté le 03/11/15].**). En 1789, A. Lavoisier écrit le premier article sur la fermentation. Il décrit la « fermentation vineuse » comme une division du sucre en deux portions (alcool et acide carbonique) suite à la réaction d'un « ferment ». De nombreux scientifiques vont alors se lancer dans des recherches sur la fermentation et avancent différentes hypothèses quant à ses causes et déclencheurs. En 1836, trois scientifiques découvrent que la levure est un organisme vivant qui se reproduit par bourgeonnement. C'est Pasteur, en 1857 qui établira que la fermentation alcoolique est due à l'activité métabolique de *Saccharomyces cerevisiae* (levure de bière).

III.2 Micro-organismes producteurs d'éthanol :

La matière première, constituée de composés complexes, subit une conversion par des micro-organismes. Ce processus, appelé fermentation alcoolique, se déroule dans des conditions anaérobies et aboutit à la production d'éthanol et de CO₂.

Une diversité considérable de microorganismes génère de l'éthanol à partir de polysaccharides. Cependant, peu d'entre eux sont véritablement compétitifs en termes de (Cot, 2006) :

- Rendement en éthanol par rapport au substrat consommé.
- Capacité fermentaire.
- Tolérance élevée à l'éthanol.
- Adaptation aux conditions de fermentation.

Les recherches se concentrent sur l'amélioration de la phase de fermentation, en particulier en recherchant des organismes ou des souches plus robustes face aux divers stress rencontrés

pendant la fermentation alcoolique, tels que la température, les faibles concentrations en glucose et les hautes concentrations en éthanol, ect...

De nombreuses publications ont été publiées sur le thème de la synthèse d'éthanol par des microorganismes. En effet, des champignons, des levures et des bactéries ont été utilisés dans l'industrie de l'éthanol (**Lin et Shuzo, 2006**).

III.2.1 Bactéries :

Certaines bactéries sont capables de réaliser les fermentations alcooliques, entre autres : *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca* et *Zymomonas mobilis* (**Dien et al., 2003**); Les plus utilisées sont *Zymomonas mobilis* (**Zhao et al., 2014**) et *Bacillus subtilis* (**Romero et al., 2007**).

III.2.2 Champignons :

Les champignons de la pourriture blanche, tels que *Trichoderma reesei* et *Aspergillus spp* sont d'un grand intérêt dans la production d'éthanol. Leur capacité à sécréter des enzymes extracellulaires leur permet de dégrader les structures des parois végétales, favorisant ainsi la conversion de la matière première en éthanol (**Larbi et Berriche, 2019**).

III.2.3 Levures :

les organismes les plus appropriés pour la production d'éthanol comme : *Saccharomyces sp*, *Kluyveromyces fragilis*, *Candida utilis* et *Pachysolen tannophilus* (**Lin et Shuzo, 2006**).

S. cerevisiae est la levure la plus utilisée dans l'industrie de production d'éthanol, elle est capable d'utiliser et de fermenter une large gamme des sucres comme : glucose, galactose, saccharose, fructose, malto triose et maltose (**D'amore et Stewart, 1987**).

La levure *S. cerevisiae* a une tolérance élevée à l'éthanol et autres inhibiteur et une capacité de croissance rapide dans les conditions anaérobies (**Mussatto et al., 2010**).

III.3 *Saccharomyces cerevisiae* :

La levure, l'un des plus anciens micro-organismes connus dans le monde et le premier qui a été observé au microscope, après l'avoir inventé par Antony van Leeuwenhoek en 1670, dans les années 1850 – 1860. Grâce à Luis PASTEUR, la physiologie des levures est expliquée, c'est un champignon microscopique qui peut survivre dans des conditions aérobies et anaérobies. Elle est considérée comme l'un des micro-organismes microscopiques qui ont une valeur nutritionnelle et ne sont pas nocifs pour la santé humaine, car elles contiennent : 16 acides aminés, 14 minéraux et 17 vitamines (**Lefief, 2016**).

La levure est un microchampignon chimioorganotrophe qui métabolise des substrats organiques pour obtenir leur carbone et leur énergie. Les sources de carbone les plus connus sont des sucres simples : maltose, glucose, lactose, fructose et saccharose. Généralement, cette levure a une activité de l'eau minimum d'environ 0,65, elle se développe bien entre 20°C et 35°C et un pH de 3,5 à 6,5 (**Walker, 1998**).

S. cerevisiae divisé en deux parties, *Saccharomyces* vient du mot saccharose qui signifie « sucre » et *myces* qui signifie « champignon ». Tandis que *cerevisiae* indique « cervoise », c'est le terme scientifique qui désigne le champignon le plus important dans l'industrie de l'éthanol appelé aussi levure de boulanger ou de bière (**Larpent et Gourgoud, 1982**).

La composition biochimique de *Saccharomyces cerevisiae* repose essentiellement sur les protéines, les lipides, les hydrates de carbone et les acides nucléiques (**Mohammad, 2013**).

Les performances technologiques essentielles, comme les réactions fermentaires efficaces et les rendements métaboliques, sont étroitement liées au métabolisme carboné central (MCC). Ce secteur spécifique du métabolisme, qui englobe la glycolyse, la voie éthanol, le cycle tricarboxylique (TCA) et la voie des pentoses phosphates (VPP), a fait l'objet de recherches approfondies chez la levure, ce qui a permis d'acquérir une compréhension approfondie des voies métaboliques et des enzymes impliquées. (**Magalie, 2011**).

La levure est utilisée à très grande échelle aussi bien pour des productions traditionnelles (boissons alcoolisées, pain, levure de boulangerie, bioéthanol), que pour des productions à visées pharmacologiques ou chimiques telles que des vitamines, des enzymes ou des protéines recombinantes. Ses caractéristiques en ont fait l'organisme le plus utilisé dans le cadre de la production de bioéthanol par voie biotechnologique à partir de la biomasse (**Lin et Tanaka, 2006**).

III.3.1 Classification de la levure :

La classification de *S. cerevisiae*, selon **Boulton et Quanin, (2001)** est comme suite :

- Règne : Protiste-Eucaryote
- Classe : Ascomycetes
- Sous-classe : Hemiascomycetes
- Ordre : Endomycetales
- Famille : Saccharomycetaceae

- Sous- famille : Saccharomycetoideae
- Genre: Saccharomyces
- Espèce : Saccharomyces cerevisiae

III.3.2 Multiplication:

Les levures se reproduisent généralement par bourgeonnement lorsque les conditions sont favorables. Le temps de génération pour la levure SC est de 1,5 à 2 heures, et une cellule peut former environ 4 bourgeons. Mais *S. cerevisiae* a la capacité de se reproduire par voie sexuée et asexuée en fonction du milieu. Si le milieu est riche en sucres et en minéraux, elles se reproduisent par bourgeonnement, tandis que, si le milieu est défavorable (manque des sucres et des minéraux, elles sporulent) (Thuriaux, 2004).

III.3.2.1 La reproduction asexuée :

la cellule mère donne deux cellules filles par bourgeonnement (Figure 02), ce dernier commence par la saillie d'une petite masse à la surface de la cellule mère et s'en sépare lorsqu'elle atteint la même taille (identique), le noyau migre vers la paroi de la cellule mère pour qu'une partie s'infilte dans le bourgeon, il suffit quatre-vingt-six minutes pour la reproduction asexuée (Castan, 2016).

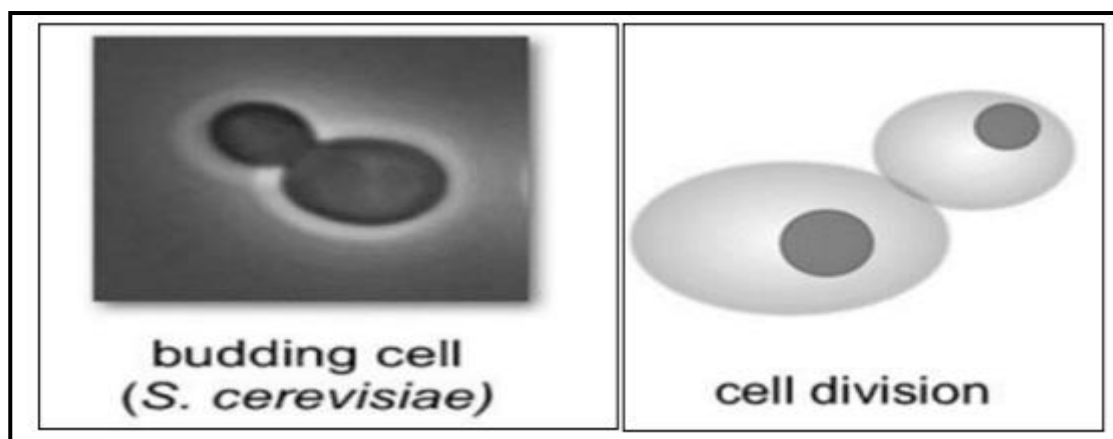


Figure III.1 : Reproduction asexuée de *S.cerevisiae* par bourgeonnement (Knop, 2011)

III.3.2.2 La reproduction sexuée :

C'est la fusion de deux cellules préexistantes lorsque le milieu de culture est défavorable, la levure est une cellule diploïde donne par méiose, des cellules haploïdes (4 spores) (Figure 03), qui sont enfermées dans un sac appelé asque (Castan, 2016).

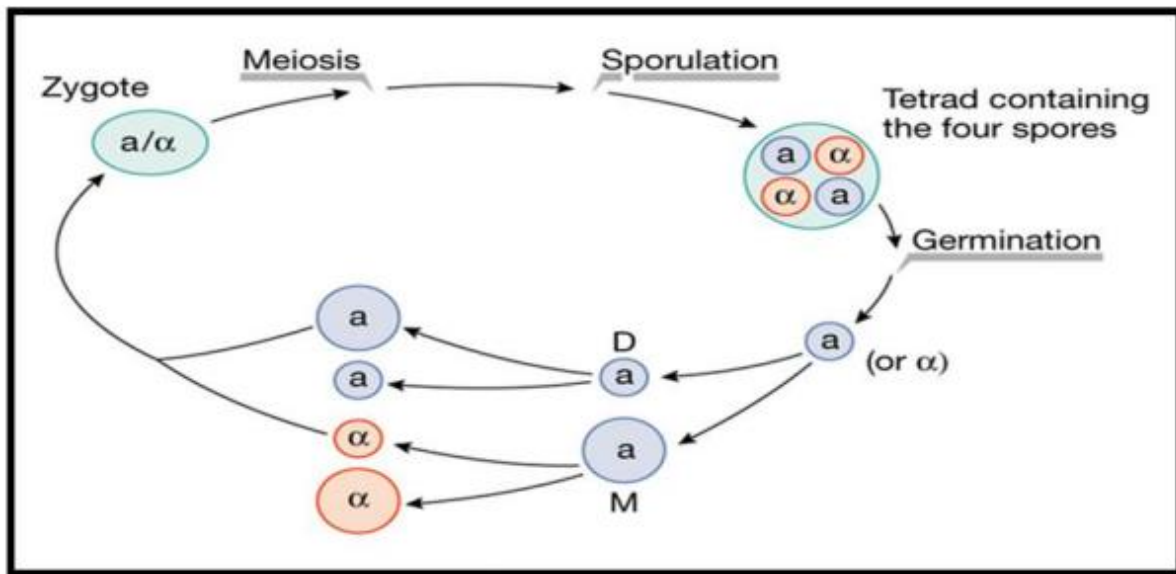


Figure III.2 : Reproduction sexuée des levures (Cosma, 2004 ; Labbanni, 2015)

III.3.3 Condition de culture de *Saccharomyces cerevisiae* :

III.3.3.1 Besoins nutritionnels :

Les nutriments sont apportés au milieu de culture de façon graduelle pour maintenir une faible concentration de glucose afin d'encourager la respiration et la reproduction cellulaire des levures. Les éléments chimiques nécessaires à la croissance des levures sont :

III.3.3.1.1 Sources de carbone :

Les sources carbonées sont d'une grande importance pour les levures puisqu'elles fournissent le carbone exigé pour la biosynthèse de constituants cellulaires tels que les glucides, les lipides, les protéines, les acides nucléiques, etc., (Aguilar Uscanga, 2003). Les levures du genre *Saccharomyces cerevisiae* peuvent fermenter le glucose, le saccharose, le maltose, la raffinose, la cellobiose et le galactose et peuvent assimiler l'éthanol, l'acide lactique, l'acide citrique (Aguilar Uscanga, 2003).

III.3.3.1.2 Source d'azote :

L'azote joue un rôle capital pour la croissance de la levure, il entre dans la constitution de molécules simples et des macromolécules essentielle au fonctionnement cellulaire. Les levures du genre *Saccharomyces cerevisiae* sont capables d'utiliser les sources azotées minérales simples, mais aussi des composés organiques divers, tels que les acides aminés et les peptides (Larpen, 1990). En levurière, l'apport d'azote est assuré par l'addition de

l'urée, des sels d'ammonium comme le sulfate d'ammonium ou le dihydrogénophosphate d'ammonium.

III.3.3.1.3 Oligoéléments et facteurs de croissance :

Les levures ont besoin d'éléments nutritifs pour assurer un développement adéquat. Il s'agit de sels minéraux et d'oligoéléments nécessaires à de très faibles concentrations (**Suarit et al., 1988**). Les oligo-éléments sont essentiels pour la cellule, puisqu'ils réagissent comme cofacteurs de divers enzymes impliqués dans le métabolisme microbien. Ils sont nécessaires en très petites quantités mais un excès provoquera la dénaturation d'enzymes et une perturbation de la morphologie et de la physiologie cellulaire et de la vitesse de croissance (**Blom et al., 2000**). Les oligo-éléments augmentent la production de l'éthanol de 20% par *Saccharomyces cerevisiae* (**Guiraud, 1996**). De plus, d'autres facteurs sont essentiels comme les vitamines (la biotine, la thiamine et l'acide pantothénique), qui interviennent lors des réactions enzymatiques, comme des coenzymes (**Aguilar Uscanga, 2003**).

III.3.3.2 Besoins physicochimiques :

III.3.3.2.1 La température :

La température courante de culture des levures se situe entre 25 et 35°C, pour assurer la croissance adéquate de la plupart des levures. En effet, la température de croissance de *Saccharomyces cerevisiae* est située entre 27 et 39°C (**Bouix et Leveau, 1991**).

III.3.3.2.2 Le pH :

Les levures ont tendance à coloniser des environnements acides et par leurs activités métaboliques (la respiration et la sécrétion d'acide organique) acidifiant encore plus le milieu. La croissance optimale de *saccharomyces cerevisiae* se fait à des pH acides entre 4,6 à 6,5 (**Bouix et Leveau, 1991**).

III.3.3.2.3 L'oxygène :

Toutes les levures sont capables de se développer en présence d'oxygène, il n'y a pas de levures anaérobies strictes. Certaines levures sont aérobies strictes comme les genres : *Rhodotorula*, *Lipomyces*, *Cryptococcus*. Les autres sont aéro-anaérobies facultatives préférant un métabolisme soit fermentaire comme ; *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* et *Brettanomyces* soit respiratoire comme ; *Candida*, les *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Hansenula* et *Torulopsis* (**Bouix et Leveau, 1991**).

III.3.4 Applications industrielles des produits de Saccharomyces cerevisiae :

Saccharomyces cerevisiae est le microorganisme le plus appliqué aux procédés microbiologiques traditionnels, industriels et dans la fabrication de divers produits dont les principales applications sont mentionnées dans le tableau 01.

Tableau III.1 : principales applications de Saccharomyces cerevisiae (Comonis, 1990).

Produits de <i>S. cerevisiae</i>	Applications
Alcool et CO ₂	Fabrication du pain, vin , bière
Ethanol	Solvants
Glycérol	Chimie de matières plastiques
Protéines animales	Alimentation de l'homme et bétail
Vitamines	Industrie pharmaceutique
Invertase	confiserie

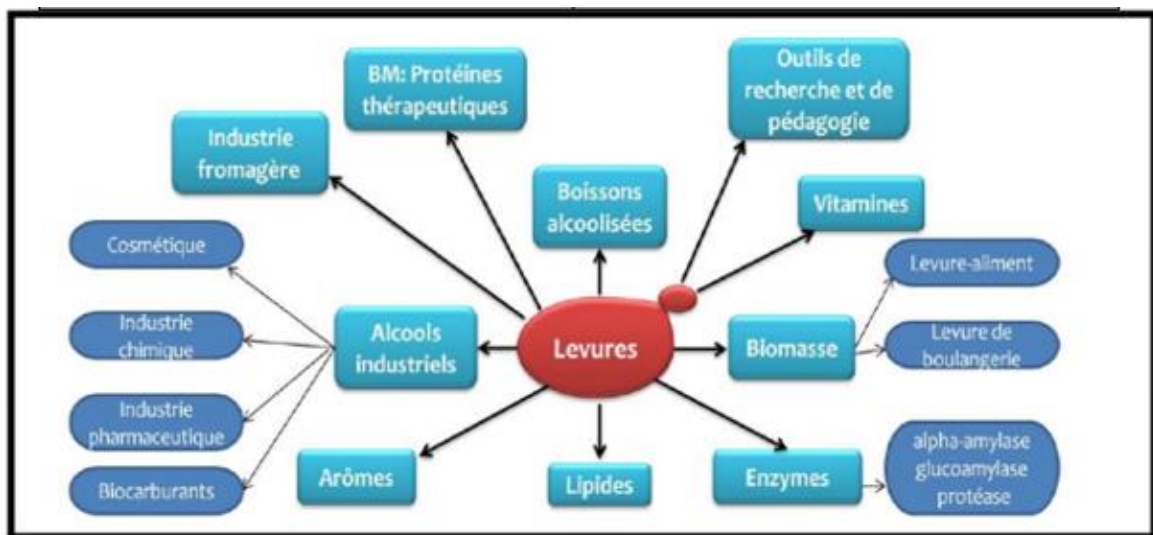


Figure III.3 : Représentation schématique des différents domaines d'utilisation de la levure et ses produits (Razki, 2014).

Partie 2 : Expérimental

Chapitre IV:
Matériel et méthodes

IV.1 Matériel et méthodes :

Notre travail a été réalisé au sein de laboratoire de Recherche en Technologie Alimentaire (LRTA) (UMBB), et au niveau du centre de Recherche et Développement (CRD) Sonatrach Boumerdès.

L'objectif de ce travail est de produire un biocarburant de première génération (le bioéthanol) à partir d'un déchet agroalimentaire (les déchets de dattes de la variété Degla-Beida) par une fermentation alcoolique, en utilisant une souche de *Saccharomyces cerevisiae*.

Voici un schéma récapitulatif de la partie expérimentale :

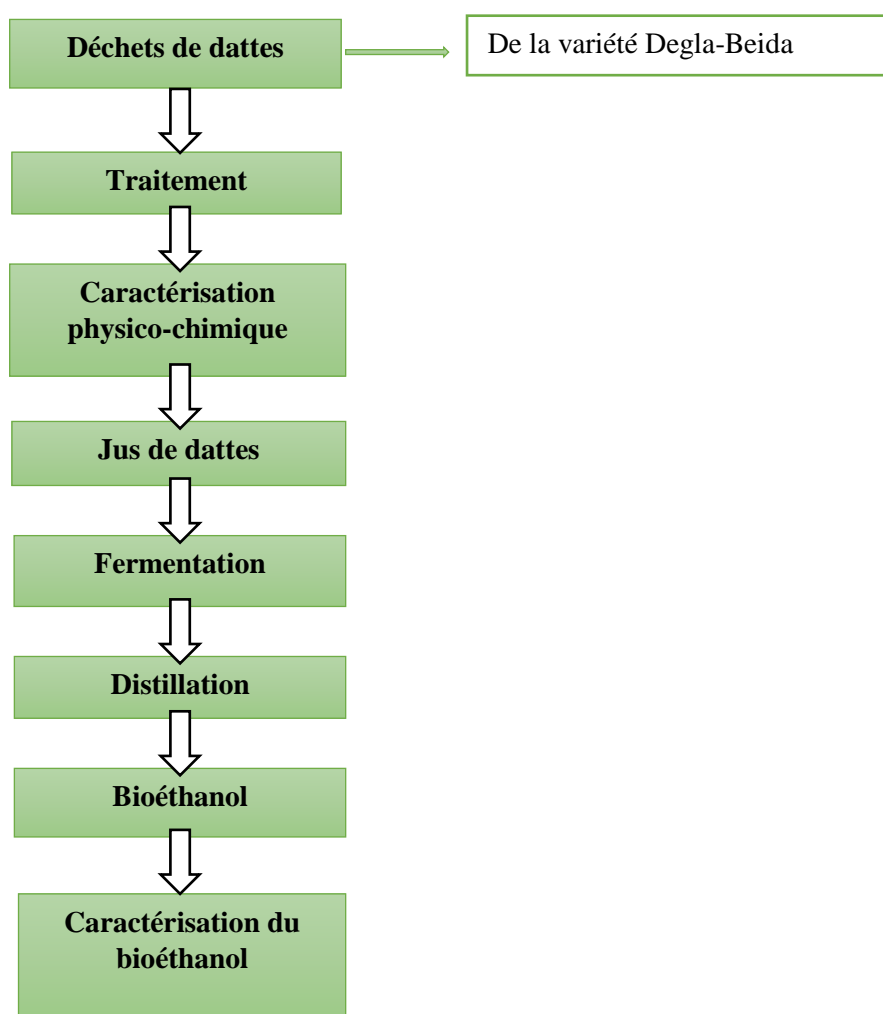


Schéma 01 : Diagramme de production du bioéthanol

IV.1.1 Matériel :**IV.1.1.1 Matériel végétal :**

Cette étude a pris en compte la variété de dattes Degla-Beida en raison de sa faible valeur marchande, de sa disponibilité et de son abondance sur le marché. Toute la recherche a été réalisée en utilisant une quantité de 1 kg de cette variété, fournie par un fournisseur local situé à Boumerdes.

IV.1.1.2 Matériel biologique :

La levure *Saccharomyces cerevisiae*, communément vendue comme levure boulangère sèche, est largement choisie pour la production de bioéthanol en raison de ses propriétés adaptatives et de son efficacité dans la fermentation des sucres (Olofsson et al., 2008). La souche est conservée dans des tubes inclinés de Sabouraud à 4°C. Pour permettre aux levures de garder leur vitalité, des repiquages sont effectués mensuellement.

IV.1.2 Méthodes :**IV.1.2.1 Préparation de la matière première :**

Le substrat de base utilisé pour la production du bioéthanol est constitué de résidus de dattes de la variété Degla Beida. Ce choix se justifie par la valeur économique modeste, la disponibilité et l'abondance de cette variété. Les dattes sont préalablement lavées, dénoyautées, découpées, puis séchées à 100 °C pendant 48 heures dans une étuve. Ensuite, elles sont finement broyées jusqu'à l'obtention d'une poudre. Cette poudre est ensachée dans des sacs en polyéthylène et conservée à 4 °C dans un réfrigérateur en vue d'une analyse plus approfondie.



Figure IV.1 : Préparation de la poudre de dattes .

IV.1.2.2 Préparation du jus de datte :

La préparation du jus de dattes a été effectuée en utilisant la méthode de trempage, inspirée de la technique décrite par **Guigou et Perez (2011)**. Le processus implique une température d'extraction de 80 °C pendant une durée totale de 90 minutes. Pour cette préparation, la poudre de dattes de la variété Degla-Beida a été utilisée. 800 ml d'eau distillée ont été ajoutés pour chaque 200 g de poudre pesée. Le mélange dattes-eau est maintenu à la température de traitement en utilisant un bain-marie et une agitation continue. Après extraction, le moût de dattes est centrifugé à 5000 tours/min pendant 30 minutes afin de séparer les débris celluloses. Le surnageant obtenu est ensuite utilisé comme substrat de fermentation pour la production de bioéthanol. Enfin, le milieu est stérilisé par autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes.



Figure IV.2 : Préparation du jus de dattes.

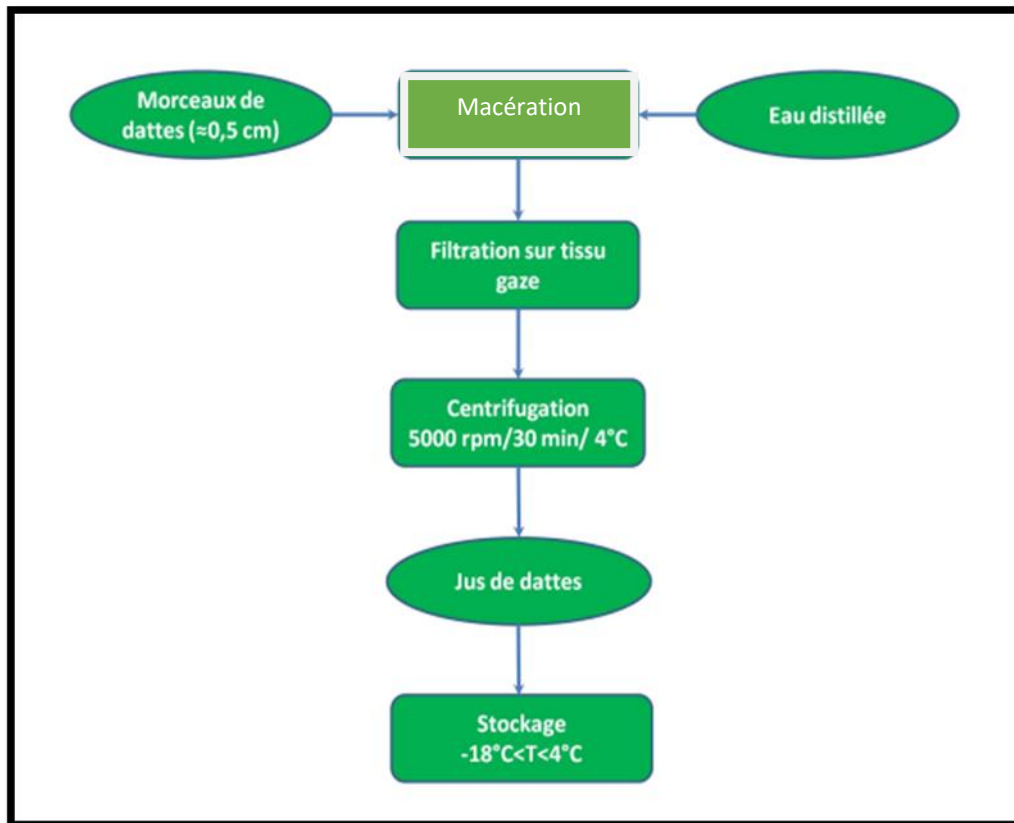


Figure IV.3 : Processus d'extraction du jus de dattes (Cheniti, 2015)

IV.1.3 Caractérisation morphologique des dattes :

Les caractéristiques morphologiques sont réalisées sur 10 fruits prélevés au hasard (Boukhiar, 2009), pour lesquels sont déterminés : Les dimensions du fruit entier et de son noyau (longueur et largeur) au moyen d'un pied à coulisse. Le poids de la datte entière, de la pulpe, ainsi que le noyau au moyen d'une balance analytique de précision (Açourence et Tama, 1997).



Figure IV.4 : Caractérisation morphologique des dattes

IV.1.4 Caractérisation physico-chimique et biochimique de la poudre et jus de dattes :

Trois essais ont été réalisés pour ces analyses ;

IV.1.4.1 Mesure du pH (Afnor, 1986) :

La mesure du pH repose sur la différence de potentiel entre deux électrodes en verre immergées dans la solution à analyser.

IV.1.4.2 Déterminer la conductivité électrique :

La conductivité électrique d'un échantillon est déterminée par la capacité des colonnes d'eau situées entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et espacées 1 cm à conduire le courant électrique (Rodier, 1997). Cette capacité est influencée par la présence de la concentration des ions dans la solution, leurs valences, leur mobilité, leur concentration relative, et la température de la solution. La conductivité électrique fournit des informations sur la quantité des sels solubles présents dans le produit, également connue sous le nom de salinité. Elle est généralement mesurée à l'aide d'un conductimètre tel que le **JENWAY 4520**.

IV.1.4.3 Détermination de la teneur en matière sèche :

La mesure de la matière sèche (substrat) implique le dessèchement d'un échantillon de 5 ml de jus de dattes ou 5 g de la poudre de dattes dans une étuve à 105°C jusqu'à ce que son poids atteigne une stabilité. Le résultat est ensuite exprimé en pourcentage en utilisant la formule suivante :

$$M_s (\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_2 - M_0} \times 100$$

M₀ : est la masse de la capsule vide (g),

M₁ : est la masse de capsule et du résidu après dessiccation (g),

M₂ : est la masse de la capsule et de la prise d'essai (g).

IV.1.4.4 Détermination de l'humidité :

On peut déterminer directement l'humidité d'un échantillon à partir de sa teneur en matière sèche en utilisant la formule suivante :

$$H (\%) = 100 \% - M_s$$

H : Humidité

M_s : matière sèche

IV.1.4.5 Détermination de la teneur en protéines (Méthode de Kjeldahl)

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

Mode opératoire

On introduit dans un matras de minéralisation 1 g d'un échantillon et une pincée de catalyseur (sulfate de cuivre et de potassium), puis on ajoute 15 ml d'acide sulfurique pur ; on applique un chauffage progressif : d'abord une attaque à froid pendant 15 min jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures ; quand la solution devient limpide, elle est refroidie et complétée à 100 ml avec de l'eau distillée. La distillation est réalisée dans un distillateur semi-automatique (VELP) où l'ajout de 20 ml de lessive de soude à 35 % dans le matras et 25 % d'acide borique dans une fiole de 250 ml est réalisé. Le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et rouge de méthyle). L'excès d'ammoniac est alors dosé par

l'acide sulfurique 0,05 N dans un titrateur automatique. Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans échantillon.

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

$$N (\%) = \frac{\frac{v}{v'} \cdot (n - n') \cdot 0,05 \cdot 1,4}{p}$$

Avec :

V : le volume de la solution minéralisée (ml),

V' : est le volume de la solution de soude ajoutée (ml),

N : la quantité d'acide sulfurique lue après titrage (ml) avec l'acide sulfurique de normalité 0,05 N,

N' : est le volume de l'acide sulfurique dépensé dans le titrage du témoin (ml)

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

La teneur en protéines est calculée en multipliant le taux d'azote total N (%) par le coefficient 6,25 (**Ben Thabet et al., 2007**).

$$\text{Concentration en protéines (g/l)} = \text{Azote total (g/l)} \times 6,25$$

IV.1.4.6 Détermination de la teneur en matière grasse (NF EN ISO 734-1, 2000) :

Dans le cadre de la procédure, le ballon de 500 ml est d'abord séché dans une étuve à 100°C pendant 1 heure. Après refroidissement dans un dessiccateur, on mesure son poids à vide. Ensuite, 20 à 25 g de l'échantillon sont placés dans une cartouche en papier filtre. Cette cartouche, contenant l'échantillon, est ensuite insérée dans l'appareil Soxhlet. On verse 200 ml d'hexane dans le ballon et 50 ml dans l'extracteur. Le ballon est chauffé sur le chauffe-ballon pendant 5 heures, jusqu'à ce que la matière grasse soit épuisée. Après l'élimination du solvant par distillation, le ballon est séché à une température de 70-80 °C. Enfin, on le pèse après refroidissement dans un dessiccateur. Cette opération de séchage est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La teneur en matière grasse est ensuite déterminée selon la formule suivante :

$$MO (\%) = \frac{(p2 - p1)}{p} \cdot 100$$

Où :

p1 : le poids du ballon vide (g),

p2 : le poids du ballon avec l'huile extraite (g),

p: le poids de la prise d'essai (g).

IV.1.4.7 Dosage des cendres :

Son principe consiste à évaporer à sec d'une quantité connue du produit à analyser, puis à l'incinérer dans un four à moufle à une température de 530 °C pendant 5 heures et à le refroidir dans un dessiccateur (**Afnor, 1986**).

La formule suivante permet de calculer le taux de cendres de l'échantillon, exprimé en g/l :

$$\text{Teneur en cendre \%} = \frac{P2 - P0}{P1 - P0} \times 100$$

D'où :

P2 : poids du creuset vide + résidu après incinération.

P0 : poids du creuset vide.

P1 : poids du creuset vide + la prise d'essai.

IV.1.4.8 Détermination de la teneur en sucres réducteurs (Miller, 1959)

Cette méthode mesure exclusivement les sucres réducteurs. En présence du réactif DNS (acide di-nitro-3,5 salicylique) dans des conditions spécifiques, la fonction réductrice forme un complexe, induisant une coloration orangée. L'intensité de cette coloration est directement liée à la quantité de sucres réducteurs présents.

Mode opératoire :

Pour réaliser le dosage, on effectue dans un tube à essai le mélange de 1 ml de réactif de DNS avec 1 ml d'échantillon à analyser. Après homogénéisation du mélange, on porte le tout à 100 °C pendant 10 minutes. À la sortie du bain-marie, le refroidissement dans un bain de glace et l'ajout de 10 ml d'eau distillée arrête la réaction. La lecture de l'absorbance à 540 nm permet de déterminer, à partir de la gamme étalon et en tenant compte des dilutions, la teneur en sucres réducteurs des différents échantillons (exprimée en g/l) (**Akin, 2008**).

IV.1.4.9 Dosages des sels minéraux :

La quantification des ions Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Zn²⁺ et Mg²⁺ a été effectuée à l'aide de la spectrophotométrie d'absorption atomique. Parallèlement, le phosphore a été dosé par méthode colorimétrique, tandis que les chlorures ont été mesurés par titrimétrie.

IV.1.4.10 Dosage des sucres totaux par la méthode du phénol (Dubois, 1956)

La technique du Dubois (1956) est utilisée pour quantifier les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En réagissant avec ses composés, les sucres produisent une teinte jaune crème, dont l'intensité est directement liée à la concentration des sucres totaux.

Mode opératoire :

La méthode commence par la préparation d'une gamme étalon en utilisant une solution de glucose à 0,01%. Ensuite, 2 ml de l'échantillon à doser sont placés dans des tubes à essai, auxquels on ajoute 1 ml de solution de phénol à 5 % et 5 ml d'acide sulfurique concentré, tout comme à la gamme étalon. Après avoir bien mélangé, les tubes sont laissés pendant 20 minutes pour que la réaction se produise, puis refroidis pour l'arrêter. L'absorbance est ensuite mesurée à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV de type Thermo.

IV.1.5 Production du bioéthanol :**IV.1.5.1 Préparation de l'inoculum :**

La levure est pré-cultivée pendant 18 heures à 37°C sous agitation à 180 tours par minute. Les précultures sont réalisées dans des flacons de 250 ml, contenant 25 ml d'un milieu composé de Glucose à 10 g/l, Peptone à 10 g/l, Extrait de levure à 10 g/l. Une fois que la culture atteint une absorbance de 1 unité à 610 nm, elle est centrifugée à 1800 g pendant 5 minutes à 4°C. Le culot est ensuite récupéré et remis en suspension dans 25 ml de KCl (150 mmol/l). Après une seconde centrifugation dans les mêmes conditions, le culot est re-suspendu dans 10 ml de KCl (150 mmol/l) et utilisé pour ensemençer les cultures (**Djelal et al, 2005**).

IV.1.5.2 Déroulement de la fermentation :

La fermentation en batch (discontinue) est effectuée dans des erlenmeyers d'une capacité de 250 ml, contenant 100 ml de milieu de culture (jus de datte stérilisé). Ces erlenmeyers sont ensemençés de manière stérile avec un volume précis de préculture (3×10^6 UFC/ml). Ils sont fermés avec un bouchon d'ouate recouvert de papier aluminium, lequel est resserré après chaque prélèvement. L'agitation est maintenue à 150 tours par minute et la température est maintenue à 37 °C. La fermentation dure 48 heures. Trois expériences sont menées pour suivre la fermentation alcoolique jusqu'à la consommation totale des sucres ou jusqu'à l'arrêt de la consommation, correspondant ainsi à la fin de la fermentation.

IV.1.5.3 Techniques analytiques :**IV.1.5.3.1 Les prélèvements :**

Pour surveiller la fermentation, des échantillons de 5 ml sont prélevés à différents stades de la fermentation. Ces prélèvements sont méticuleusement notés et stockés dans des tubes, puis conservés à -18 °C en vue d'analyses ultérieures.

IV.1.5.3.2 Suivre de la fermentation :**IV.1.5.3.2.1 Mesure du PH :**

Ce paramètre a été mesuré sur un volume de 2 ml prélevé de milieu de fermentation chaque 5 heures. La variation du pH nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure, par conséquent la dégradation des sucres en éthanol. Elle s'effectue par une lecture directe à l'aide d'un pH mètre préalablement étalonné.

IV.1.5.3.2.2 Densité optique :

La croissance est suivie en mesurant l'absorbance des suspensions de levures juste après le prélèvement, à l'aide d'un spectrophotomètre PRIM SECOMAM à une longueur d'onde de 600 nm.

IV.1.5.3.2.3 Analyse des sucres réducteurs (Miller, 1959) :

L'analyse a été réalisée sur 2 ml du surnageant dilué (en utilisant le même procédé que celui décrit précédemment).

IV.1.5.3.2.4 Le dosage de bioéthanol en degré alcoolique :

Le degré alcoolique (D^0) représente le pourcentage volumique d'alcool dans un liquide. Il indique le volume d'éthanol en millilitres contenu dans 100 millilitres du liquide fermenté. L'éthanol dans le moût de fermentation est dosé par titrage après son oxydation avec une solution concentrée de dichromate de potassium dans un milieu acide.

Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer de 100 ml :

- Introduire 10 ml de dichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$, 2K^+) (0,5M).
- Ajoutez 5 ml d'acide sulfurique concentré.
- Ajoutez 5 ml de distillat (éthanol) et fermer l'erlenmeyer.
- Agiter pendant 15 min.
- Faire le titrage avec le sulfate de fer et d'ammonium de (0,5M) tout en agitant la solution jusqu'à la coloration verte.

Expression des résultats :

Le degré alcoolique est calculé selon la formule suivante :

$$D^0 = (100 \times \frac{3}{2} \times M \text{ CH}_3\text{COOH} \times (\frac{[\text{CrO72}] \times V (\text{CrO72-}) - [\text{Fe3+}] \times V \text{E}}{6})) / 1.05 \text{ (Eq 1)}$$

IV.1.5.3.3 Distillation du bioéthanol :

Après fermentation, l'éthanol se trouve dans un moût contenant principalement de l'eau et des composés provenant de la dégradation de la biomasse, des substances ajoutées au cours du procédé mais également d'autres molécules produites par les micro-organismes simultanément à la production d'éthanol, comme les alcools supérieurs.

Le mout est placé dans un ballon chauffé à environ 78°C. La vapeur s'élèvera dans la colonne à distiller, se condensera (passage de vapeur à liquide) et redescendra en début de colonne pour s'évaporer à nouveau. Ce déplacement gazeux, appelé reflux, se répétera quelques fois selon le pourcentage d'éthanol obtenu par la fermentation.

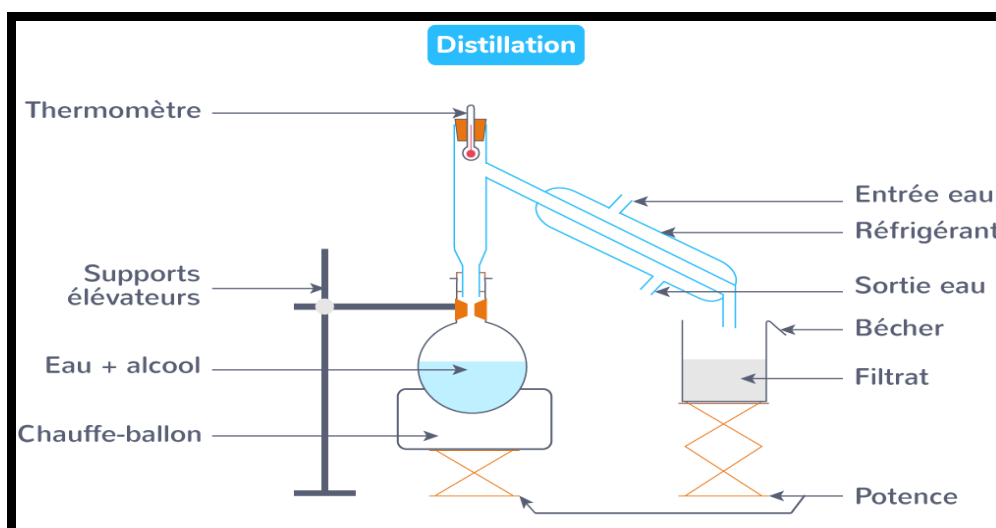


Figure IV.5 : procédé de la distillation du bioéthanol

IV.1.5.3.4 Caractérisation du produit final :

La caractérisation du produit final implique la réalisation d'analyses diverses pour évaluer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Ces analyses fournissent une compréhension approfondie de la qualité de notre produit final.

IV.1.5.3.4.1 Test d'inflammabilité :

On teste l'inflammabilité du bioéthanol obtenu par faire rapprocher une flamme à une quantité de bioéthanol produit.

IV.1.5.3.4.2 Analyse infrarouge :

La spectroscopie infrarouge, est utilisée pour étudier les liaisons chimiques de notre produit final (bioéthanol) en mesurant le rayonnement infrarouge absorbé. Cette méthode permet de

cartographier les fonctions chimiques en détectant les vibrations caractéristiques des liaisons. L'appareil émet un rayonnement dans la plage infrarouge de 4000 à 400 cm^{-1} , et lorsque cette énergie correspond aux vibrations des molécules de l'échantillon, une partie du rayonnement est absorbée.

Mode opératoire :

1. Préparer une pastille sous forme de films fins en utilisant la presse hydraulique.
2. Appliquer une pression (de 2bars) à l'aide de la presse pour la formation d'une pastille Homogène.
3. Vérifier que la pastille est bien homogène avec absence des fissures et fait passer la lumière.
4. Ajouter une goutte de bioéthanol sur la pastille.
5. Placer la pastille sur le support pour analyse.
6. Mesure de la ligne de base (background).
7. Placer les sur le support (O ring) et se dernier sur le support de l'équipement pour analyse.
8. Fermer le couvercle de l'équipement et analyser, on attend le temps d'analyse (100%).
9. Récupérer les résultats.

IV.1.5.3.4.3 Chromatographie phase gazeuse du produit final :

La technique incontournable pour individualiser les constituants d'un mélange reste la chromatographie en phase gazeuse (CPG) son couplage à un détecteur à ionisation de flamme (DIF) permet d'identifier les constituants et calculer leur indice de rétention.

Cette technique permet d'affirmer que notre échantillon ne reforme qu'un seul constituant qui est l'éthanol

Le chromatogramme obtenu permet de déterminer l'aspect qualitatif de notre produit final à partir de chromatogramme de témoin.

Chapitre V :
Résultats et discussion

Cette partie est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats. Les points présentés ici concernent :

- La caractérisation physicochimique et biochimique d déchet de dattes de la variété Degla-Beida.
- Les résultats et la discussion de la fermentation alcoolique de ce déchet de dattes pour la production de bioéthanol.

V.1 Caractérisation morphologique des dattes :

Les caractéristiques morphologiques des dattes de la variété Degla-Beida sont présentées dans le tableau 01.

Tableau V.1 : Caractérisation morphologique moyenne des dattes de la variété Degla-Baida

Paramètres	Datte Degla-Beida
Longueur (mm)	42,67 ±
Largeur (mm)	18,28 ±
Poids de datte entière (g)	7,16 ±
Poids de la pulpe (g)	5,92 ±
Poids de noyau (g)	1,29 ±
Longueur de noyau (mm)	26,92 ±
Largeur de noyau (mm)	7,45 ±
Couleur	Jaune pale
Consistance	Sèche

V.1.1 Couleur :

Les fruits de Degla-Beida présentent une couleur allant du jaune pâle au blanc (observée visuellement). Cette variation de couleur résulte de leur composition biochimique et leurs caractéristiques génétiques. Il est important de souligner que la couleur joue un rôle essentiel en tant que critère objectif de qualité. Elle varie en fonction du degré de maturité des dattes et peut servir d'indicateur de fraîcheur ou de détérioration.

V.1.2 Consistance :

Selon leur consistance les dattes sont réparties comme suit :

- Dattes moelles : elles présentent une chair très aqueuse
- Dattes demi-molles : leur teneur en eau est moindre que celle des dattes molles, mais elles conservent une consistance tendre.
- Dattes sèches : leur pulpe est naturellement sèche.

Les dattes de la variété Degla-Beida sont des dattes sèches (**Munier, 1973**).

V.1.3 Longueur, poids et largeur des dattes :

Une datte est dite de qualité physique acceptable quand elle présente (**Açourene et al., 2001 ; Mohammed et al., 1982 ; Meligi et al., 1982**) :

- Un poids supérieur ou égal à 6 g ;
- Le poids de la pulpe supérieur ou égal à 5 g ;
- Une longueur supérieure ou égale à 3,5 cm ;
- Un diamètre supérieur ou égal à 1,5 cm.

Selon ces critères, la datte "Degla-Beida" présente une qualité physique acceptable. D'après les données du Tableau 1, la longueur moyenne des fruits de Degla-Beida est mesurée à 42,67 mm, tandis que leur largeur moyenne atteint 18,28 mm. Ces mesures correspondent aux résultats rapportés par **El Arem et al., 2011**, qui avaient précédemment estimé une longueur de 41,0 mm et une largeur de 20 mm pour ces dattes. En termes de poids, une datte entière dans notre étude pèse en moyenne 7,16 g, avec une pulpe pesant 5,92 g. Ces résultats sont cohérents avec les résultats antérieurs de **Benahmed (2007)** et **Amellal (2008)**, qui avaient rapporté des poids de 6,48 g et 5,09 g et 6,06 g et 5,35 g respectivement pour le fruit entier et la pulpe, ainsi qu'avec les résultats trouvés par **Açourene et Tama (1997)** de 7,13 g et 5,76 g. Cependant, nos résultats montrent une nette différence par rapport aux mesures d'**El Arem et al., 2011**, qui avaient trouvé des poids significativement plus élevés de 10,49 g pour le fruit entier et 9,5 g pour la pulpe. Cette différence peut être attribuée à la présence de parasites affectant négativement la qualité des dattes pendant leur stockage (référence nécessaire).

En outre, les dattes de la variété Degla-Beida utilisées dans notre étude sont considérées comme des déchets en raison des altérations physiques subies tout au long de leur manipulation. Les chocs, l'écrasement et le dessèchement sont autant de facteurs qui entraînent des lésions, accélérant ainsi les processus d'altération biologique. Les altérations microbiologiques, telles que la croissance de levures et de moisissures, ainsi que les

dégradations parasitaires dues aux insectes, sont fréquentes et contribuent à la diminution du poids et de la valeur commerciale des dattes stockées.

V.2 Caractérisation physicochimique et biochimique de la poudre et du jus de dattes :

La qualité du milieu de culture est essentielle pour la fermentation, tout comme la composition biochimique du jus de dattes, qui constitue un facteur clé pour la fermentation alcoolique. Les analyses de la poudre et du jus de dattes de la variété Degla-Beida ont fourni des informations cruciales pour ce processus. Les résultats obtenus sont détaillés dans le Tableau 02.

Tableau V.2 : Composition biochimique de la poudre et du jus de dattes

Paramètres	Les dattes de Degla-Beida	
	Jus	Poudre
pH	4,13 ± 0,02	5,32 ± 0,00
Conductivité électrique (ms/cm)	0,90 ± 0,00	1,75 ± 0,05
Humidité (%)	82,08 ± 0,00	5,30 ± 0,00
Matière sèche (%)	17,92 ± 0,01	94,70 ± 0,06
Matière grasse (%)	1,50 ± 0,01	7,33 ± 0,01
Les sucres réducteur (%)	18,46 ± 0,14	53,2 ± 0,06
Les cendre (%)	1,20 ± 0,01	1,92 ± 0,12
Les protéine (%)	1,60 ± 0,01	2,50 ± 0,18
Les sucres totaux (%)	24,66± 0,14	53,77± 0,05
Les sels minéraux		
Sodium (Na)	57,13 ±	7,76 ±
Calcium (Ca)	65,37 ±	218,67 ±
Potassium (K)	768,30 ±	2408,29 ±
Zinc (Zn)	0,30 ±	
Magnésium (Mg)	47,20 ±	168,71 ±
Phosphore (P)	2,33 ±	1,15 ±
Chlorure (Cl)	2325,90 ±	134,02 ±
Azote total (%)	0,02 ±	0,40 ±

Les résultats du tableau 02 révèlent une grande diversité dans la composition biochimique moyenne de la poudre et du jus de dattes, mettant ainsi en évidence la richesse de ce déchet. La teneur moyenne en matière sèche est de 94,70 % pour la poudre de datte et de 17,92 % pour le jus de datte. Les résultats concernant le jus de datte sont similaires à ceux rapportés par **Chibi et El Hadi (2018)**, qui ont trouvé une teneur en matière sèche de 16,67 %. En revanche, pour la poudre de datte, nos résultats sont supérieurs à ceux de **Chibi et El Hadi,(2018)**, qui ont obtenu une valeur de 81,64%. D'après ces résultats, les dattes étudiées sont des variétés sèches car elles présentent des teneurs en eau inférieurs à 26 % (**Riviere, 1975**).

Le pH du jus de datte est de 4,13, tandis que celui de la poudre de datte est de 5,32 montrant ainsi une différence notable. Cette baisse de pH peut être attribuée à la présence d'une quantité significative d'eau dans le jus, facilitant l'extraction des acides préexistants de la datte. Ces acides organiques, comme l'acide acétique et l'acide citrique, sont produits par des microorganismes naturellement présents dans les dattes, tels que les levures et les moisissures. Nos résultats sont similaires à ceux de **Mekki et al., 1983** et de **Chibi et EL Hadi (2018)**, qui ont également observé des pH de 4,85 et 5,32 respectivement dans le jus de dattes.

Les résultats issus du tableau 2 montrent que le jus et la poudre de dattes présentent des niveaux considérables de cendres, avec des pourcentages respectifs de 1,2% et 1,92%. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par **Cheniti Sofien (2015)**. Des études menées par **Al-Farsi et al., 2006** sur des dattes originaires du Sultanat d'Oman ont montré une teneur en cendres du jus allant de 1,23 % à 1,76 %, ce qui est en concordance avec nos résultats.

Notre analyse révèle une teneur en protéines de 2,5 % pour la poudre de datte et de 1,6 % pour le jus de datte. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par **Chaibi et El Hadi (2018)**, qui ont trouvé respectivement 2,25 % et 1,44 % pour la poudre et le jus de datte de la variété Degla-Beida. En comparaison, nos résultats dépassent ceux rapportés par **Alfarsi et al., 2007**, qui ont obtenu des valeurs plus faibles de 0,95 %, 0,95 % et 1,09 % pour les jus des variétés Mabseeli, Um-sellal et Shahal du Sultanat d'Oman. Concernant le taux moyen de matières grasses, nous avons mesuré une concentration de 7,336 % dans la poudre de datte et de 1,5 % pour le jus de datte. Ces résultats démontrent une différence notable entre la poudre et le jus, indiquant une plus grande concentration de matières grasses dans la poudre comparativement au jus. Cette variation peut influencer la texture et les propriétés nutritionnelles des produits dérivés de dattes, affectant potentiellement leur utilisation dans divers processus industriels.

Les sucres sont les constituants prédominants des dattes, conférant à ces fruits leur caractéristique douce et leur valeur nutritionnelle. La composition en sucres des dattes varie considérablement selon la variété, le climat et le stade de maturation, comme l'ont souligné plusieurs auteurs tels que **Munier (1973)**, **Nixon et al., (1978)**, et **Sawaya et al., (1983)**. Ces variations peuvent être attribuées à la différence dans les méthodes analytiques utilisées, comme mentionné dans une étude antérieure (**Boulal et al., 2013**).

Nos résultats montrent que la poudre de datte de la variété Degla-Beida contient en moyenne 53,2 % de sucres réducteurs, ce qui correspond aux teneurs en sucres totaux rapportées dans les tables d'alimentation, généralement entre 60 % et 80 %. En comparaison, le jus de datte présente une concentration en sucres totaux inférieure à celle de la poudre. Cette différence significative est illustrée par les résultats de **Cheniti Sofian (2015)**, qui ont mesuré seulement 18,46 % de sucres réducteurs dans le jus de datte.

Outre leur composition en sucres, les jus de datte se distinguent par leur richesse en sucres fermentescibles et en éléments minéraux essentiels. Ce substrat organique présente ainsi un potentiel prometteur pour diverses applications, notamment dans l'industrie alimentaire et la production de biocarburant. Dans le cadre de notre étude, nous avons exploré ce potentiel en réalisant une fermentation alcoolique en mode BATCH. Nous avons utilisé le jus issu des sous-produits des dattes comme substrat, exploitant l'action enzymatique d'une levure pour convertir les sucres fermentescibles en bioéthanol, un biocarburant renouvelable et écologique.

Cette approche démontre non seulement la diversité des applications potentielles des dattes mais aussi leur contribution possible à la transition vers des sources d'énergie plus durables. Ces résultats encouragent à envisager une utilisation plus efficace des sous-produits alimentaires pour répondre aux besoins croissants en énergies renouvelables, tout en valorisant les ressources naturelles disponibles.

V.3 Production du bioéthanol :

Dans ce mémoire, les fermentations alcooliques ont été menées selon le procédé « Batch » en utilisant du jus de sous-produit de dattes comme substrat carboné dans le milieu de culture. La souche de levure boulangère utilisée était *Saccharomyces cerevisiae*, une espèce bien connue pour sa capacité à fermenter efficacement les glucides en alcool. Les expériences ont été réalisées en duplicata avec une concentration de substrat de 17 %, ce qui représente une proportion optimale pour favoriser la croissance et l'activité métabolique des levures. Les flacons utilisés ont été soigneusement stérilisés à 120° C pendant 20 minutes sous une

pression de 1 bar pour éliminer toute contamination microbiologique potentielle. Ensuite, ils ont étéensemencés avec la levure *Saccharomyces cerevisiae* dans des conditions stériles. L'incubation a eu lieu à une température de 37 °C pendant 48 heures avec une agitation constante de 150 rpm, favorisant ainsi un environnement optimal pour la croissance et la fermentation des levures. Ces conditions ont été choisies pour assurer des résultats reproductibles et fiables tout au long de l'expérience.

V.3.1 Cinétique fermentaire :

V.3.1.1 La Biomasse :

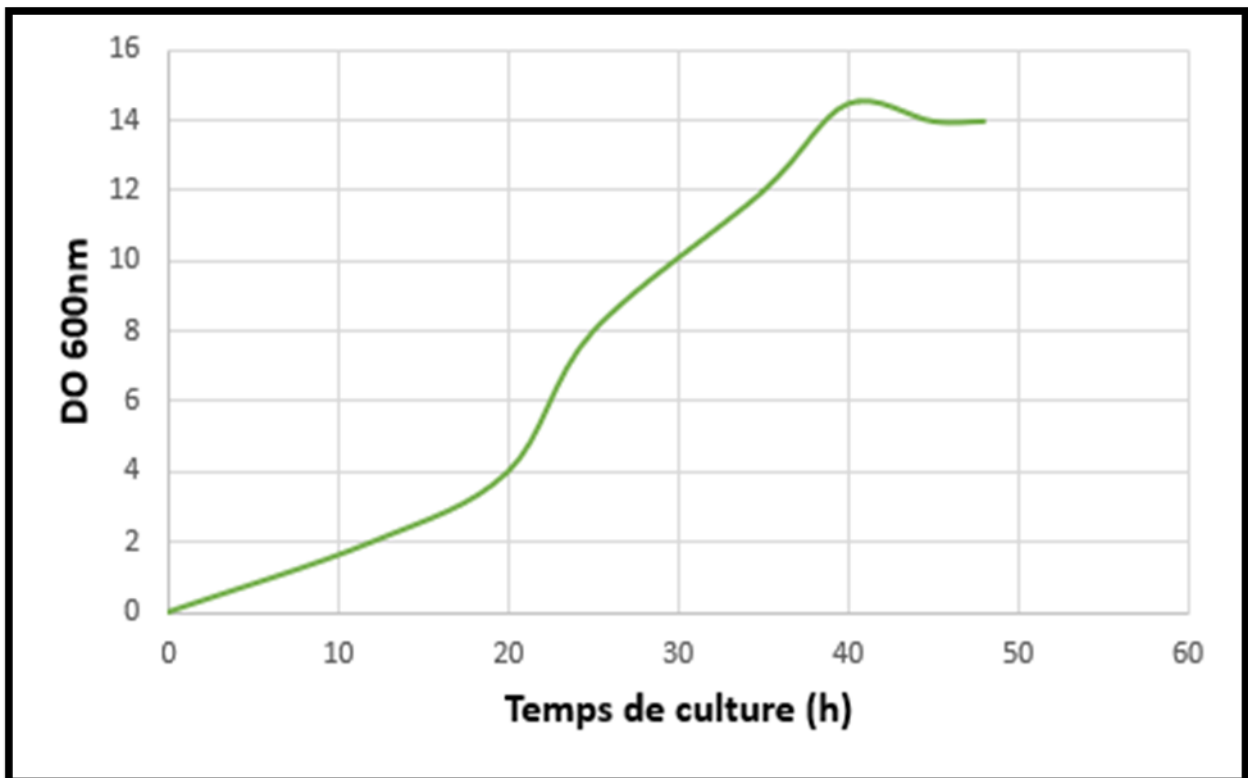


Figure V.1 : Evolution de la biomasse au cours de la fermentation.

La fermentation présente un schéma distinct en deux phases. Durant la première phase, la production d'éthanol est étroitement liée à la croissance des cellules de levure, atteignant son pic après environ 40 heures de fermentation. Cette phase est suivie par une période de transition marquant le début de la seconde phase, caractérisée par une phase stationnaire. Au cours des premières 12 heures de fermentation, un phénomène notable se produit : l'apparition d'une mousse blanchâtre à la surface du moût, indiquant une activité fermentaire intense. Cette mousse est le résultat d'une prolifération rapide des levures, favorisée par la richesse en sucres du moût. Sa formation témoigne non seulement de la disponibilité des sucres dans le milieu, mais aussi de l'aptitude du moût à fournir un environnement propice à

la croissance des levures. Cette croissance cellulaire est étroitement liée à la dégradation des sucres et à la libération de dioxyde de carbone, soulignant l'activité fermentaire vigoureuse. Avec le temps, généralement après 48 heures de fermentation, la croissance des levures ralentit, marquant la fin de la phase de croissance active. C'est à ce stade que le moût atteint un stade avancé de fermentation et prend les caractéristiques désirées du vin de datte.

V.3.1.2 Evolution du pH durant la fermentation :

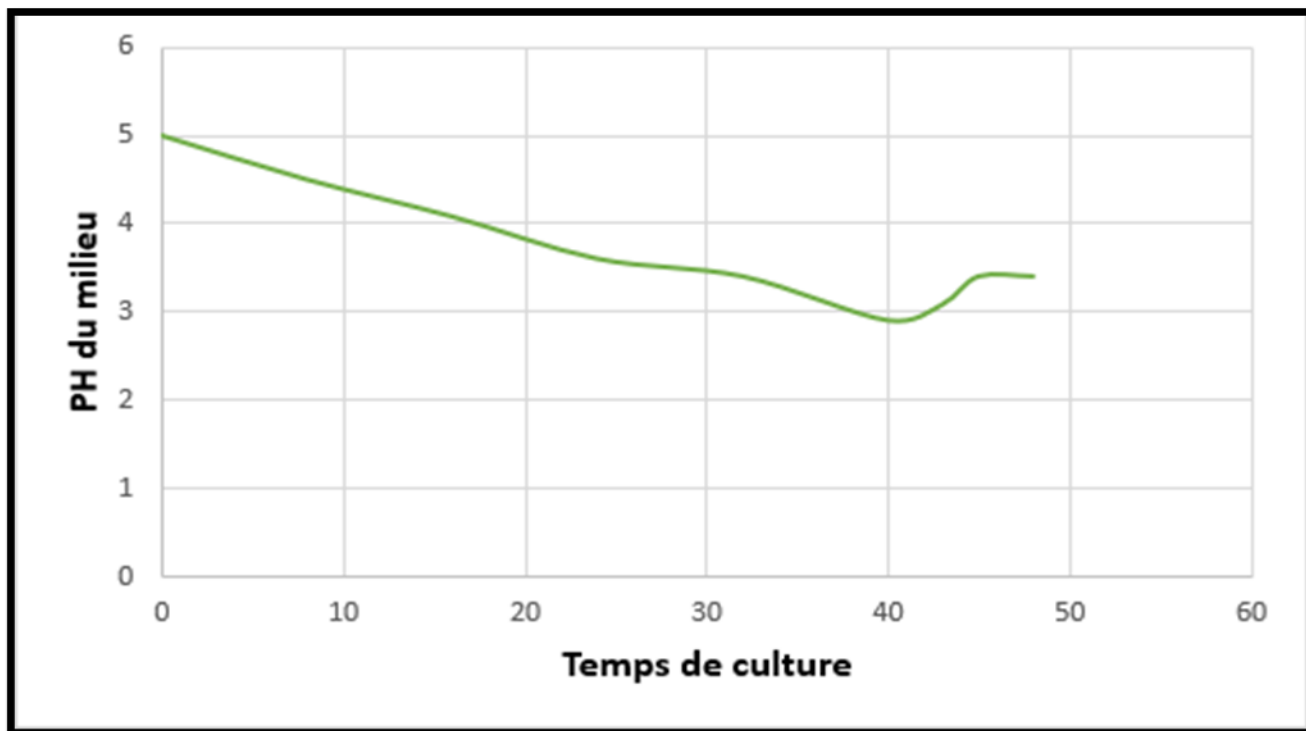


Figure V.2 : Evolution du pH au cours de la fermentation

La figure 02 illustre une variation notable du pH tout au long du processus de fermentation. Initialement, le pH diminue pendant les premières 24 heures, puis connaît une légère augmentation par la suite. Cette baisse initiale du pH est directement attribuable à l'assimilation de la source azotée par les levures, un phénomène métabolique induit par le métabolisme cellulaire. Ce phénomène a déjà été prouvé par diverses études, notamment celles de **Kotyk (1989)** et de **Sigler et al., 1981**, qui ont montré qu'au cours de la fermentation alcoolique par *S. cerevisiae* dans un milieu où l'ion ammonium est la seule source d'azote, il se produit une baisse du pH.

En revanche, l'augmentation ultérieure du pH est principalement due à un phénomène physicochimique. Lorsque les levures métabolisent les sucres pour produire de l'alcool, cela entraîne une dissociation des composants du moût, notamment des acides organiques. En

présence d'éthanol, cette dissociation est moins prononcée, ce qui se traduit par une concentration en protons moins élevée et donc un pH plus élevé. Des études antérieures, telles que celle menée par **Akin (2008)**, ont confirmé que ces deux phénomènes (assimilation de l'azote et effet de l'éthanol sur la dissociation) sont les principaux moteurs de l'évolution du pH pendant la fermentation des moûts.

De plus, une partie du dioxyde de carbone produit au cours de la fermentation alcoolique se dissout dans les moûts, ce qui peut également contribuer à l'abaissement du pH, comme indiqué par **Boulbaba (2013)**. Ce processus de dissolution de CO₂ dans le moût forme de l'acide carbonique, augmentant temporairement l'acidité et abaissant le pH. Cependant, à mesure que la fermentation progresse et que l'éthanol s'accumule, l'effet tampon de l'éthanol commence à dominer, entraînant une légère remontée du pH. Ces interactions complexes entre les processus biologiques et physicochimiques montrent à quel point la fermentation est influencée par plusieurs facteurs concomitants, mettant en évidence l'importance de surveiller et de contrôler les conditions de fermentation pour optimiser la production de bioéthanol.

V.3.1.3 Evolution des paramètres biochimiques au cours de la fermentation :

La figure 03 montre l'évolution de la teneur en sucres réducteurs et de la production d'éthanol à partir de dattes de la variété Degla-Beida.

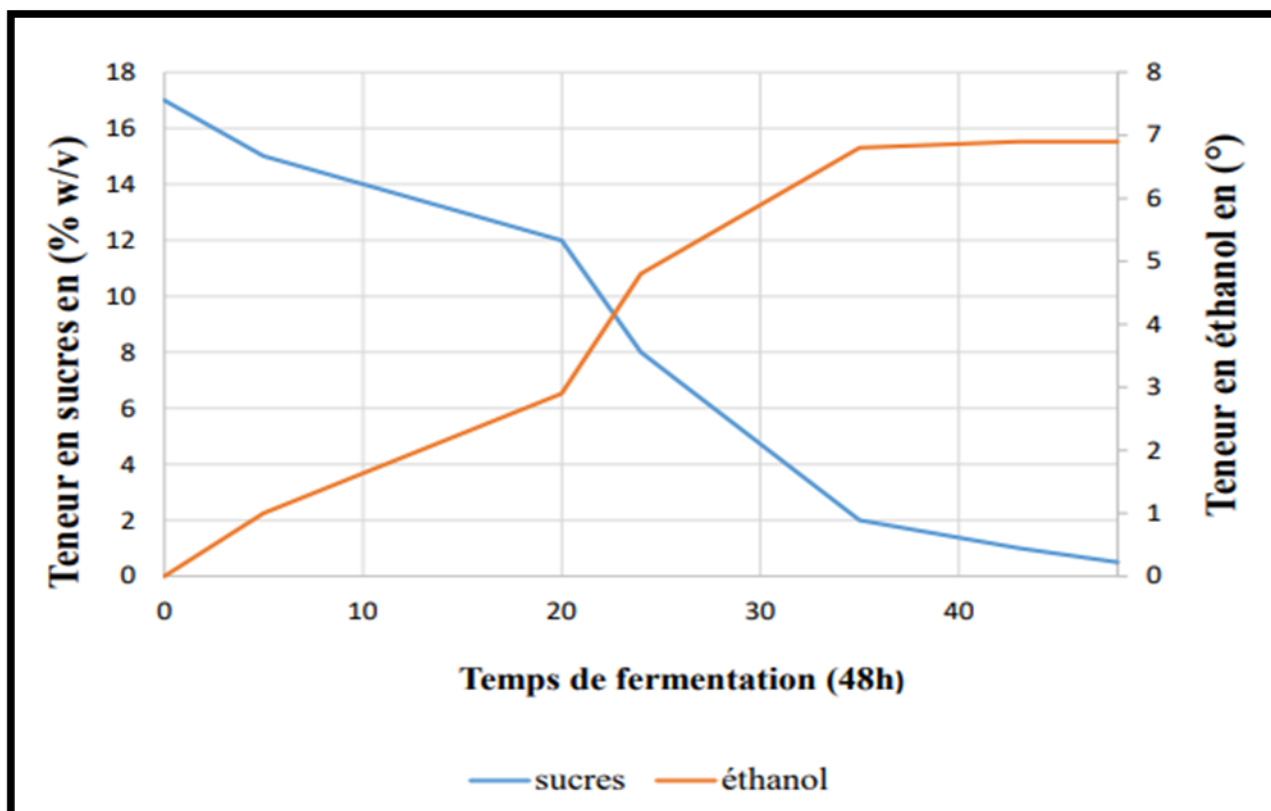


Figure V.3 : Evolution de la quantité de sucres et de l'éthanol au cours de la fermentation

La teneur en sucres réducteurs diminue à mesure que la production d'éthanol augmente lors de la fermentation. Après 48 heures de fermentation du moût, une dégradation significative des sucres est observée, particulièrement durant les premières 24 heures pour le jus de datte. En revanche, la production d'alcool augmente principalement au cours des dernières 24 heures de fermentation. Cette évolution est illustrée dans la figure 03.

L'évolution de la production d'éthanol pendant la fermentation révèle une augmentation graduelle de sa cinétique pour la variété Degla-Beïda. Cette tendance suggère une corrélation entre la quantité d'éthanol produite et le taux de sucres dans le milieu de fermentation. La production d'éthanol à partir de Degla-Beïda, atteignant 6,9°, est modeste par rapport à certaines études antérieures telles qu'Açourene (2012) avec 130 g/l, mais légèrement supérieure aux résultats rapportés par Ould-El Haj (2012) à 5,5°. Cependant, nos résultats restent légèrement inférieurs à ceux de Boughnoun (1988) à 8,5°, Mehaia (1991) à 65 g/l, et Açourene (2008) à 87 g/l.

Il semble que la levure n'ait pas totalement consommé les sucres disponibles, comme indiqué dans la figure 03. Cette sous-utilisation peut être due à l'arrêt de la croissance de *Saccharomyces cerevisiae* en raison de l'accumulation de substances toxiques, notamment les acides gras, comme expliqué par Meyer (1988) et Sasson (1986). Ces acides gras, produits

en faible quantité par les levures, peuvent devenir toxiques pour elles. De plus, l'effet inhibiteur des sucres et de l'alcool produits dans le milieu sur la levure est documenté par **Açourene (2012)**.

La durée optimale pour une production maximale en éthanol est généralement de 48 heures, car la plupart des sucres fermentescibles contenus dans les moûts de fermentation sont consommés. Ce résultat est cohérent avec celui rapporté par **El Ogaïdi (1987)**, qui indique un temps de fermentation compris entre 36 et 72 heures. Par ailleurs, plusieurs auteurs ont étudié les facteurs responsables de l'inhibition de la biosynthèse de l'éthanol en fin de fermentation. **Hayshida (1981)** a démontré que même de faibles concentrations en alcool (inférieures à 6 %) entraînent une inhibition partielle et irréversible de l'hexokinase. Cette inhibition devient totale lorsque la concentration en alcool atteint 10 % ou plus, comme le souligne **Aguilera (1986)**.

Ces observations mettent en lumière les défis et les paramètres critiques à considérer pour optimiser la production d'éthanol à partir des dattes, notamment la gestion des conditions de fermentation pour éviter l'accumulation de produits inhibiteurs et maximiser l'efficacité métabolique de la levure utilisée.

V.4 Analyse du produit final (Bioéthanol) :

Pour analyser le produit final, le bioéthanol obtenu par fermentation, plusieurs tests ont été réalisés :

V.4.1 Test d'inflammabilité de produit fini (bioéthanol)

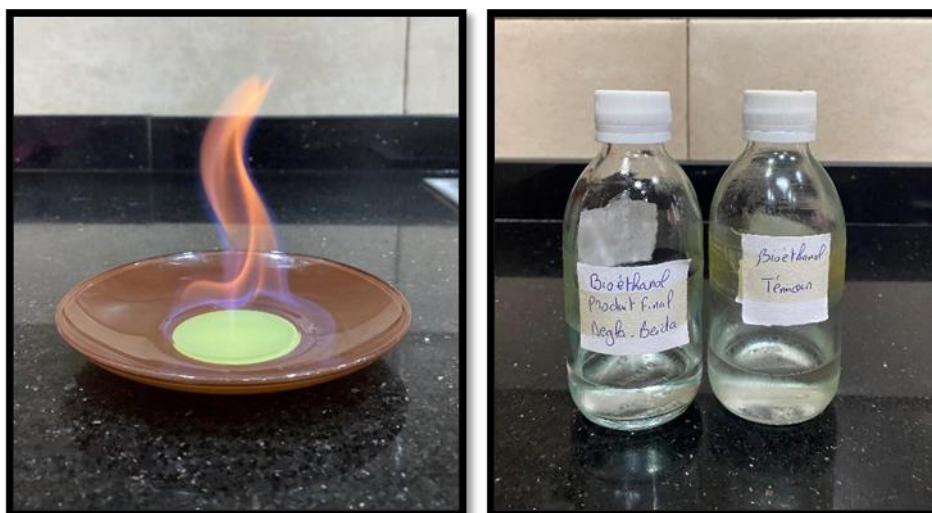


Figure V.4 : Test d'inflammabilité de produit final (Bioéthanol)

Le bioéthanol est produit par fermentation alcoolique des dattes, un processus qui, pour atteindre un niveau élevé de pureté, nécessite généralement une seconde distillation afin d'obtenir de l'éthanol absolu. Sa caractéristique principale réside dans sa grande inflammabilité, ce qui le rend particulièrement adapté à un large éventail d'applications industrielles. Cette propriété en fait un choix de prédilection pour les industries nécessitant des combustibles ou des solvants rapidement réactifs et efficaces. La facilité avec laquelle il s'enflamme en assure une combustion propre et efficace, en minimisant les résidus et en optimisant l'efficacité énergétique. Ainsi, le bioéthanol issu de la fermentation des dattes ne se limite pas à ses applications comme biocarburant ; il représente également une option précieuse pour améliorer la durabilité et l'efficacité des processus industriels.

V.4.2 Spectre infrarouge (IR) du bioéthanol :

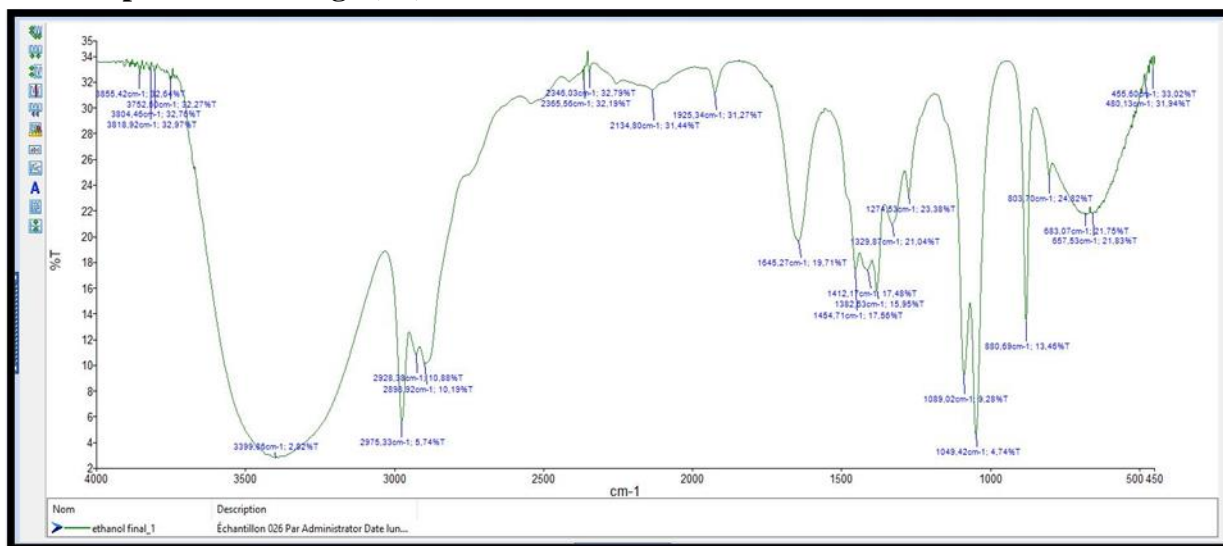


Figure V.5 : Spectre infrarouge du bioéthanol obtenu après la fermentation

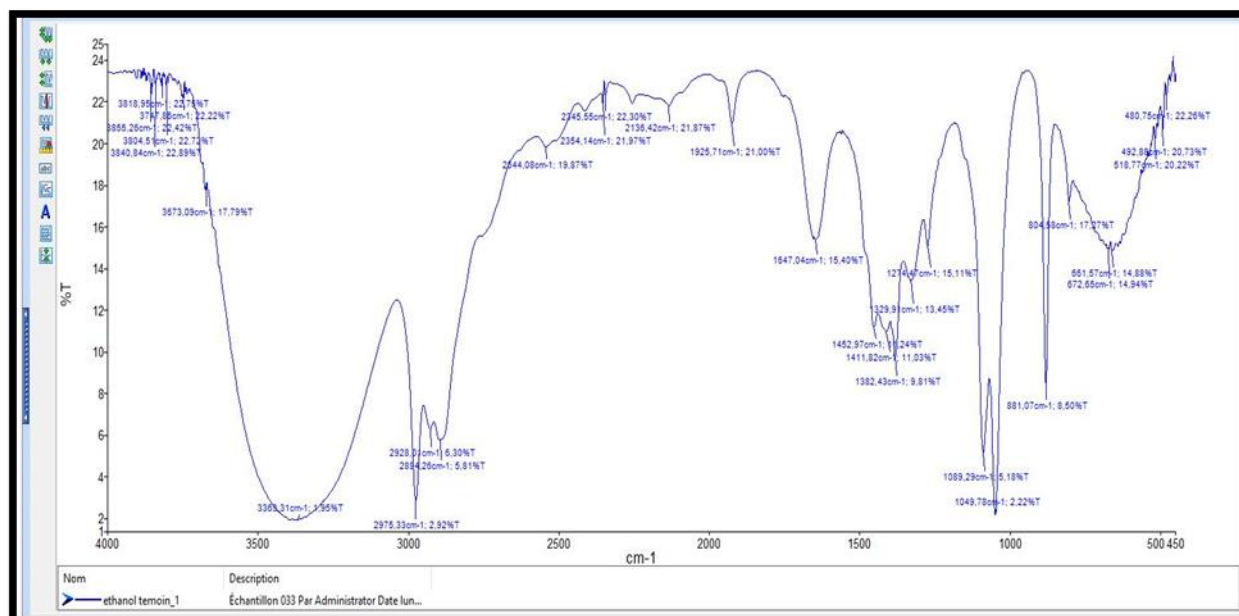


Figure V.6 : Spectre infrarouge du bioéthanol témoin

Le tableau 03 représente les principales bandes de vibration IR communes à l'éthanol témoin (pur) et au Bioéthanol produit à partir de la variété de dattes Degla-Beida.

Tableau V.3 : les groupements fonctionnels principaux des composants

Numéro d'onde (Cm ⁻¹) ^a	Groupes fonctionnels	Composés
3600–3000 (s)	Élongation du OH	Acid, méthanol
2860–2970 (m)	Élongation du C–H _n	Alkyle, aliphatique
1700–1730 (m),		Aromatique
1510–1560 (m)	Élongation du C=O	Cétone et carbonyle
1632 (m)	C=C	Bague d'étirement au benzène
1613 (w), 1450 (w)	Élongation du C=C	Mode squelettique aromatique
1430–1470 (s)	O–CH ₃	Methoxyl–O–CH ₃
1400–1440 (s)	Déformation du OH	Acid
1402 (m)	Déformation du CH	
1232 (s)	Élongation du C–O–C	Liaison aryl-alkyl éther
1215 (s)	Élongation du C–O	Phénol
1170 (s), 1082 (s)	Vibration d'élongation du C–O–C	Pyranose anneau squelettique
1108 (m)	OH association	C–OH

1060 (w)	Élongation du C–O et déformation du C–O	C–OH (éthanol)
700–900 (m)	C–H	Hydrogène aromatique
700–400 (w)	Élongation du C–C	
a s: fort, m: moyen, w: faible.		

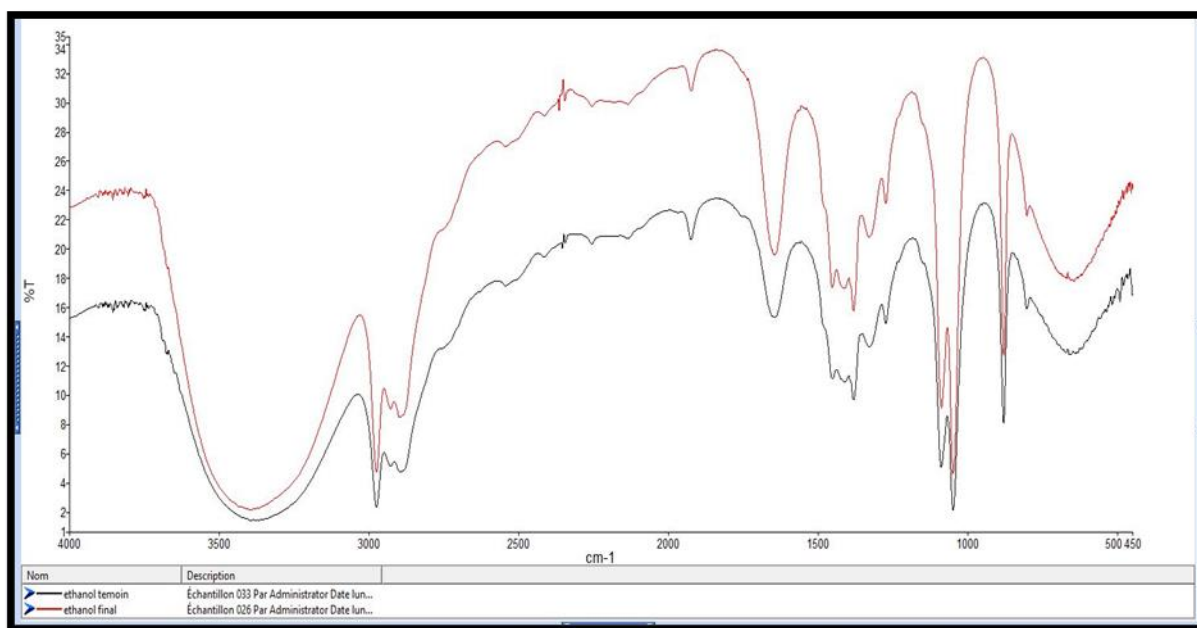


Figure V.7 : superposition des spectres infrarouge du bioéthanol produit après la fermentation et le bioéthanol témoin.

D'après les résultats des figures 5 et 6, ainsi que la superposition des deux spectres sur la figure 7, les spectres de l'éthanol témoin et du bioéthanol, produit par fermentation alcoolique, montrent une similitude marquée dans la plage spectrale de 4000 à 400 cm^{-1} , suggérant ainsi une grande similarité entre les deux échantillons. Une bande moyenne autour de 3752,50 cm^{-1} , correspondant à l'étirement du groupement O—H, est observée dans les deux spectres. De plus, une bande large située entre 3399,86 et 3150 cm^{-1} , liée à l'étirement de la liaison O—H, est présente, avec une légère augmentation d'intensité pour le bioéthanol. Cette variation pourrait être attribuée à la présence d'humidité dans le bioéthanol, comme indiqué par un pic faible vers 1645,27 cm^{-1} . Les intensités d'absorption autour de 1049,48 cm^{-1} , associées à l'étirement de la liaison C—O d'un alcool primaire, sont pratiquement identiques, ce qui confirme la capacité du bioéthanol à remplacer l'éthanol absolu dans diverses applications.

Ces observations concordent avec les études précédentes réalisées par **Chaibi et al., 2018**, soulignant une similarité structurale entre les deux échantillons. Cela renforce la conclusion que le bioéthanol représente une alternative viable à l'éthanol traditionnel pour diverses utilisations commerciales et industrielles.

V.4.3 Chromatographie en phase gazeuse (CPG) du bioéthanol :

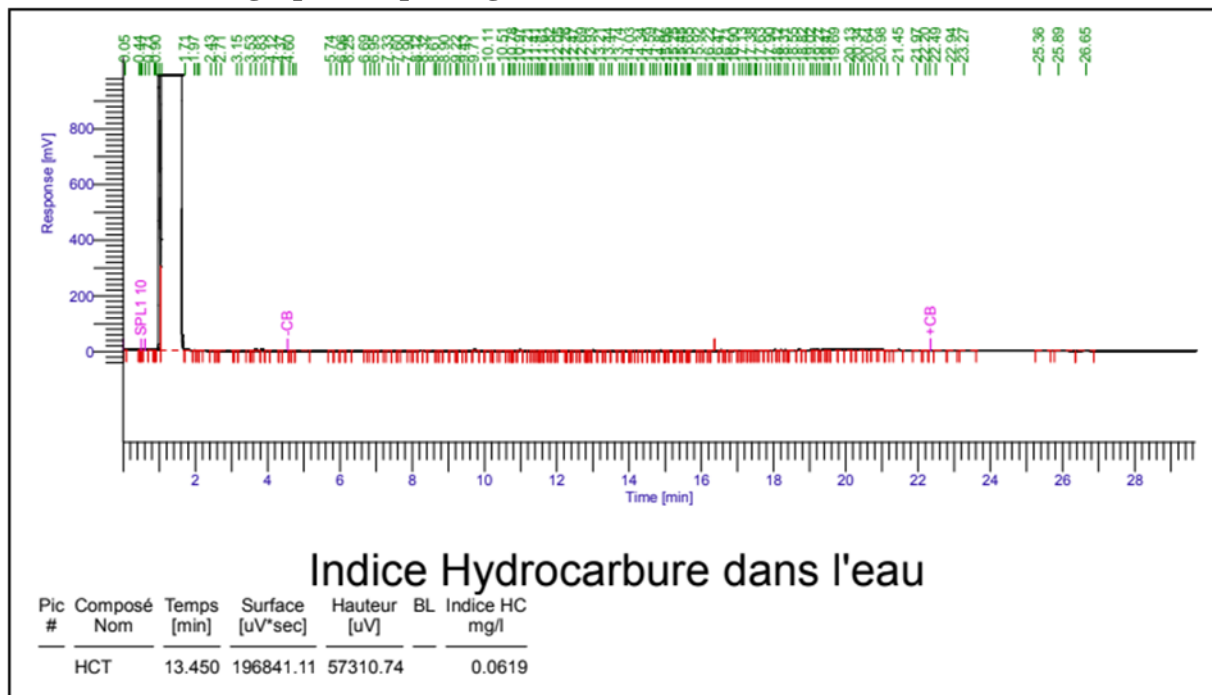


Figure V.8 : Spectre CPG du bioéthanol obtenu après fermentation.

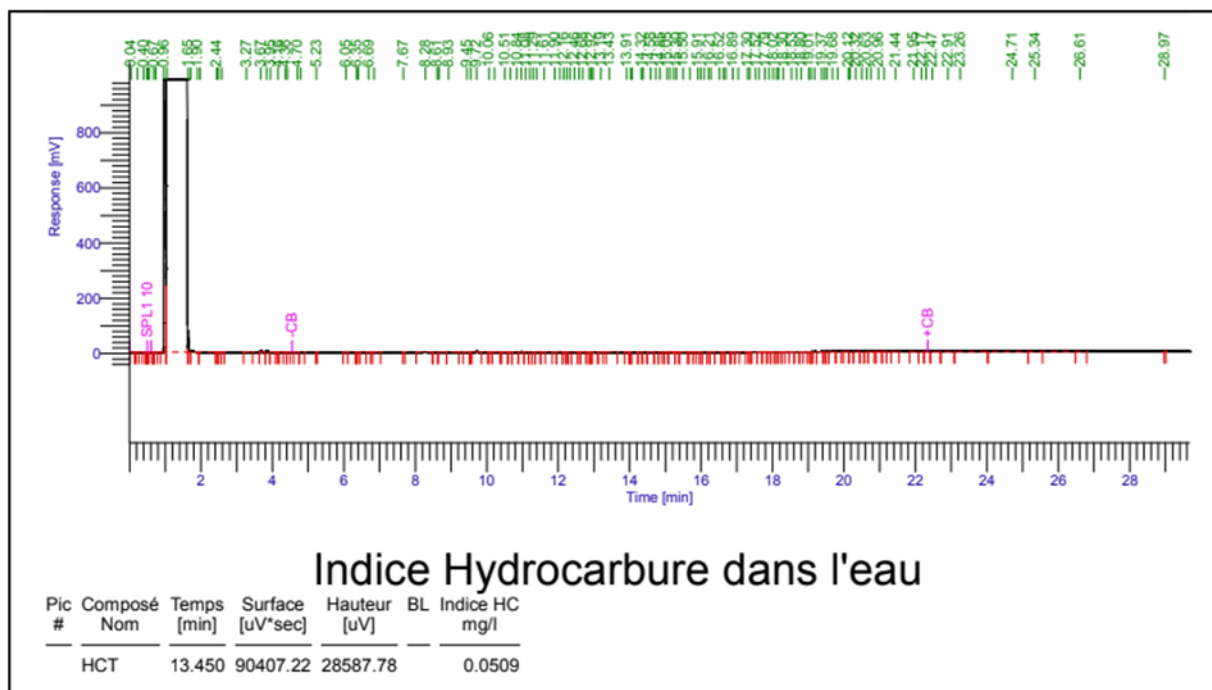


Figure V.9 : Spectre CPG du bioéthanol témoin.

L'identification de notre bioéthanol repose sur la comparaison avec un éthanol témoin. Les deux spectres de chromatographie en phase gazeuse (CPG) montrent des résultats similaires en ce qui concerne l'indice HC, avec des valeurs de 0,0619 mg/L pour l'éthanol après fermentation et de 0,0509 mg/L pour l'éthanol témoin. L'indice HC est calculé en évaluant le temps de rétention de chaque pic d'hydrocarbure par rapport à celui de plusieurs hydrocarbures standards ayant le même nombre de carbones, ce qui permet de déterminer la composition en hydrocarbures de l'échantillon.

Conclusion générale

Conclusion

Conclusion :

L'objectif principal de cette étude est de produire du bioéthanol à partir de déchets de dattes par fermentation alcoolique. Ce processus repose sur le métabolisme fermentaire des sucres par la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*. Le secteur de la datte génère chaque année d'importantes quantités de déchets, souvent négligées. Il est crucial de trouver des moyens de valoriser ces déchets, qui sont principalement riches en sucres fermentescibles pouvant être transformé en divers produits.

En analysant les propriétés physicochimique et biochimique du déchet de dattes de la variété Degla-Beida, nous avons observé ce qui suit :

- Les dattes de la variété Degla-Beida présentent une couleur jaune pale à blanc, influencé par leur composition biochimique et leur caractéristique génétiques.
- Les dattes de Degla-Beida sont des dattes sèches, caractérisées par une pulpe naturellement sèche.
- En moyenne les fruits de Degla-Beida mesurent 42,67 mm de longueur et 18,28 mm de largeur. Le poids moyen d'une datte entière est de 7,16 g, tandis que celui de la pulpe est de 5,92 g.

Les résultats des analyses physico-chimiques et biochimiques de la poudre et du jus de datte de Degla-Beida révèlent une grande variabilité dans leur composition biochimique moyenne. De plus, ces résultats mettent en évidence la richesse de la composition de nos déchets. La teneur moyenne en matière sèche est de 94,70 % pour la poudre de datte et de 17,92 % pour le jus de datte.

Le jus de dattes présent un PH de 4,13 tandis que celui de la poudre de dattes est largement plus élevé à 5,32.

Les analyses réalisées révèlent que le jus et la poudre de datte contiennent des quantités significatives de cendres : 1,20 % pour le jus et 1,92 % pour la poudre.

En ce qui concerne les protéines, la poudre de datte affiche un taux de 2,50 % tandis que le jus de datte présente un taux de 1,60 %. Quant aux matières grasses, elles sont présentes à hauteur de 7,33 % dans la poudre de datte et de 1,50 % dans le jus. La teneur en sucres totale atteint 53,77 % pour la poudre et 24,66 % pour le jus.

Conclusion

Les résultats indiquent que la poudre de datte renferme davantage de sucres totaux que le jus à base de datte. Plus précisément, la teneur en sucres réducteurs est de 53,2 % dans la poudre de datte et de 18,46 % dans le jus de datte.

En ce qui concerne la production du bioéthanol à partir des dattes de la variété Degla-Beida étudiées, le moût obtenu est caractérisé par sa richesse en sucres et en sels minéraux, ce qui en fait un milieu favorable au développement de *Saccharomyces cerevisiae*. Après 48 heures de fermentation, la majorité des sucres présents dans le moût sont consommés et convertis en éthanol.

A la fin, la comparaison des propriétés physico-chimiques entre l'éthanol (témoin) et le bioéthanol produit montre des similitudes, ce qui confirme que le bioéthanol est tout à fait apte à remplacer l'éthanol absolu pour diverses applications.

Références bibliographiques

Référence Bibliographiques

- **Açourence et Tama, 1997** (Valorisation technologique des dattes de faible valeur marchande par la production du sirop) recherche agronomique 2021 p. 97-114.
- **Açourene S et Tama M., (2001)**. Biomasse production et valorisation, Alger, revue des énergies renouvelables p 2-59.
- **Açourene, S., Ammouche, A. 2012** (Optimization of ethanol, citric acid, and α -amylase production from date wastes by strains of *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, and *Candida guilliermondii*) *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 39, 759–766.
- **Açourene, S., Ammouche, A. 2012**. Optimization of ethanol, citric acid, and α -amylase production from date wastes by strains of *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, and *Candida guilliermondii*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 39, 759–766.
- **Açourene. s et al., 2008** (Valorisation des rebuts de dattes par la production de la levure boulangère , de l'alcool et du vinaigre) science et technologie c-N°28 décembre pp38-45.
- **Adrien Ronel., (2011)**. Contexte, impacts et débats autour de la production d'agro carburants versus le droit à l'alimentation. Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.) Université de Sherbrooke. Québec, Canada, septembre 2011.page 6-12
- **Afnor ,1986** (Association française de normalisation).
- **Aguilar Uscanga, B.R., (2003)**. Influence des paramètres de croissance et des conditions de mise en oeuvre sur la composition et l'architecture de la paroi cellulaire de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Thèse INSA Toulouse.
- **Aguilera, A. and Benitez, T., 1986** (Ethanol-Sensitive Mutants of *Saccharomyces Cerevisiae*) *Archives of Microbiology*.Vol. 143, N°4: 337-344.
- **Akin, H., 2008** (Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de mouts de raisins: modélisation et interprétation métabolique) Thèse de doctorat école doctorale : mécanique énergétique Génie Civil et Procédés. Option : Génie des Procédés et Environnement. 107p.
- **Akin, H., 2008** (Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de mouts de raisins: modélisation et interprétation métabolique) Thèse de doctorat école

Référence Bibliographiques

doctorale : mécanique énergétique Génie Civil et Procédés. Option : Génie des Procédés et Environnement. 107p

- **Al Farsi et al., 2006** (Functional properties of mani dates (Phoenix Dactylifera L.))Acta Hortic. 736, 479-487.
- **Al-Farsi et al., 2007** (Compositional and functional characteristics of dates, syrups and their by-products). Food Chemistry, 104(3), 943-947.
- **Alio, M.A. (2020)**. Production de bioéthanol à partir d'une biomasse lignocellulosique multi ressources locale par prétraitement Organosolv et hydrolyse enzymatique. Thèse : Génie des procédés. France Université : Clermont Auvergne, 197p.
- **Al-Siddiq Qamoli**, Etude électrochimique des phénols de quelques amandes de dattes locales, note de fin d'études Master chez Université de Ouargla 2010.pp-09
- **Amellal, H., 2008**(Aptitudes technologique de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé) Thèse de doctorat Université M'hamed Bougara de Boumerdès. Option Génie Alimentaire. 127p.
- **Anonyme, 2012** (Caisse nationale de mutualité agricole. Algérie).
- **Belguedj M., 2002**. Les ressources génétiques du palmier dattier : caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-Est Algérien. Revue annuelle de l'INRAA N°1/2002. 28-289.
- **Ben Thabet I., Hamadi A., Besbes S., Deroanne C., Francis F., Drira N.E. et Christophe B., (2007)**. Physicochemical and Functional Properties of Typical Tunisian Drink : Date Palm Sap (Phoenix dactylifera L.). Journal of Food Biophysics. 2 : 76–82.
- **Benahmed, A., 2007** (Etude et optimisation d'un processus de fabrication traditionnelle du vinaigre à partir de deux variétés de dattes communes cultivées dans le sud Algérien) mémoire de magister Université M'hamed Bougara de Boumerdès. Option : Génie Alimentaire.
- **Benziouche SE. And Cheriet F.2012** (Structure and constraints of the date chain inAlgeria.New Mediat. A Mediterranean Journal of Economics,) Agriculture andEnvironmentN 4, Q 17, F 14, 49-51).
- **Bessah, R et Touzi, A. (2001)**. Production de Protéines d'Organismes Unicellulaires (P. O. U) à partir des Déchets de Dattes. Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse,37-40.

Référence Bibliographiques

Bioalcool, Rapport Intern, Lab. Biotech, Dans les Wilayas de Biskra, Adrar et Ghardaïa, Algérie. 56 pages.

- **Blog Agroalimentaire** : Les aliments fermentés [en ligne]. Disponible sur : <http://www.blogagroalimentaire.com/aliments-fermentes/> . [Consulté le 03/11/15].).
- **Blom, J., Smith, A., Johnson, B., & Williams, C. (2000)**. Effects of trace elements on enzyme denaturation and cell physiology. *Journal of Cellular Physiology*, 182(2), 345-362.
- **Boughnou, N., 1988** (Essai de production de vinaigre à partir des déchets de dattes) Mémoire de Magister, INA, El Harrach, Alger. 82p.
- **Bouguedoura, N., Bennaceur, M., & Benkhalifa, A. (2010)**. Biotechnologies du palmier dattier : Le palmier dattier en Algérie situation, contraintes et apports de la recherche. Paris : IRD Éditions., 261 p. - (Colloques et séminaires).
- **Bouix M et Leveau J .Y., (1991)**. Les levures Ds : Bourgeois C.M., Leveau J.Y., Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires, édition 2 Lavoisier – Tec&Doc, Paris 3 ;P: 206-229.
- **Boukhiar, 2009** (Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de datte tel qu'appliqué au sud algérien : essai d'optimisation). Université m'hamed bougara.
- **Boulal. A, 2017** (Contribution à l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (Batna), et valorisation des dattes de faible valeur marchande) université d'oran 1 Ahmed ben bella.
- **Boulal et al., 2013** (Etude comparative de rendement de la production d'éthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commerciale (Tinaceur et Aghmou) de Sud –Ouest de l'Algérie). *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 16 N°3 (539 – 550.)
- **Boulal et al., 2013** (Etude comparative de rendement de la production d'éthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commerciale (Tinaceur et Aghmou) de Sud –Ouest de l'Algérie). *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 16 N°3 (539 – 550.)
- **Boulbaba et al., 2013** (Production of bio-ethanol from three varieties of dates.) *Renewable Energy* 51: 170-174.

Référence Bibliographiques

- **Boulton, C., QUAIN, D. (2001).** Brewing Yeast and Fermentation. Paris : Blackwell Science Ltd. 638 p
- **Burillard et al., 2016** (Mais c'est quoi la fermentation ?) Université de Lorraine, Lorraine. Enligne. https://ensaia.univlorraine.fr/sites/ensaia.univlorraine.fr/files/users/telechargements/rapport_final_fermentation2.pdf.
- **Camonis J.H.,(1990).** Modulation de l'activité des protéines RAS et régulation du cycle de division cellulaire de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Mémoire doctorat. Paris, 196 p.
- **Castan, C. (2016).** La levure de bière : un champignon aux multiples bienfaits pour la santé et la beauté. Thèse : Science Pharmaceutique et Biologique. Montpellier : Université De Montpellier, 82 p.
- **Castro, M. (2007).** Influence des paramètres de fermentation sur la qualité et le rendement de l'alcool produit. *Revue de la Fermentation Alcoolique*, 12(3), 45-67.
- **CCE .,(2007).** Rapport sur les progrès accomplis en matière d'utilisation de biocarburants et d'autres carburants renouvelables dans les États membres de l'Union Européenne. In *lex europa*, [Enligne] http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/fr/com/2006/com2006_0845fr01.pdf
- **Chaira, N., Ferchichi, A., Mrabet, A., Sghairooun, M. 2007.** Characterisation of date juices extracted from the rest of sorting of Deglet-Nour Variety. *Biotechnology*, 6, 251-256.
- **Chehma A et Longo H F 2001** Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du bétail. *Revue des énergies renouvelables « U.N.E.S.C. O »*. Numéro spécial ; Biomasse : production et valorisation. 59 – 64. http://www.cder.dz/download/bio_8.pdf.
- **Chemical and Physical Characteristics of Ethanol and Hydrocarbon fuels.2011pp-35.**
- **Cheriet et Messaoudi, 2018.** Formulation et caractérisation d'un éco-matériaux de construction à base des déchets végétaux (noyau d'olive et noyau de datte) 27p
- **Chibi et El-hadi., 2018** (La bio-production de l'éthanol á partir de dechets de dattes : effet de l'incorporation des cendres du noyau de deglet–nour sur le rendement). *Revue Agrobiologia* 8(1): 685-694).

Référence Bibliographiques

- **Chniti Sofian., 2015** (Optimisation de la bioproduction d'éthanol par valorisation des refus de l'industrie de conditionnement des dattes) Thèse de doctorat Université Rennes 1, Ecole doctorale : Science De La Matière.
- **Collectif d'auteurs, 2007.** Microbiochimie et alimentation. Educagri éditions. Chapitre 3 : Dynamique et flux cellulaire, 52-53.
- **Colonna, P. (2006).** La chimie verte. Ed TEC et DOC. Paris : La voisier. 532p.
- **Cosma MP., (2004).** Daughter-specific repression of *Saccharomyces cerevisiae* HO: Ash1 is the commander. *EMBO reports*, 5: 953-957. *African journal of biotechnology* 11 : 12063-12066.
- **Cot M., 2006** (Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure *Saccharomyces Cerevisiae* au cours de la production intensive d'éthanol) Thèse de doctorat (INP Toulouse).option microbiologie et biocatalyse industrielles. 265P.
- **Cot M., 2006** (Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure
- **D'amore, T., & Stewart, G. G. (1987).** Ethanol tolerance of yeast. *Enzyme and Microbial Technology*, 9(6), 322–330
- **Demirbas, A., (2008).** Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conver Manage.* 49(8) : 2106-2116.
- **Didden I, Destain J, Thonart P. (2008).** Procédés de bioconversion en éthanol. In : Le bioéthanol de seconde génération. La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Gembloux, Belgique. Les Presses Agronomiques de Gembloux, pages 21-56
- **Dien, B. S., Cotta, M. A., & Jeffries, T. W. (2003).** Bacteria engineered for fuel ethanol production : current status. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(3), 258–266.
- **Djelal et al., 2005** (Isolation and identification of yeast strains from sugarcane molasses, dates and figs for ethanol production under conditions simulating algal hydrolysate).
- **Djelal et al., 2012** (Continuous culture for the bioproduction of Glycerol an Ethanol by *Hansenula Anomala* growing under salt stress conditions) *Annals of microbiology*, 62(1), 49- 54.
- **Djerbi.M. (1994).** Le précis de phoeniculture. Ed. FAO, Rome : 52 – 58

Référence Bibliographiques

- **Dolle V., & PEYRON, G. (2000).** Cultiver le palmier-dattier : guide illustré de formation. Montpellier : Ed Quae, 110 p. _ (CIRAD).
- **Dowson W ; ATEN B. (1963).** Composition et maturation, récolte e conditionnement des dattes, collection F.A.O. Rome, 397 p.
- **Dr . Abdul Basit Odeh Ibrahim, (Palm Tree Desert), 2011.Pp-04**
- **Dubois, 1956** (Colorimetric methode for determination of sugars and related substances) acs publication.
- **El Arem A., Flamini G.E., Saafi B., Issaoui M., Zayene N., Ali F., Mohamed H., Helal A.N. & Achour L., (2011).** Chemical and aroma volatile compositions of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits at three maturation stages. Food Chem. 127:1744–1754
- **El hadi.D et al., 2016** (Production du bioéthanol a partir de rebut de deux variétés de dattes (deglet –nour et hamraya)) revue agrobiologia, volume 6(1).
- **EL Hadj, M. O., Sebihi, A. H., & Siboukeur, O. (2001).** Qualité Hygiénique et Caractéristiques Physico-Chimiques du Vinaigre Traditionnel de Quelques Variétés de Dattes de la Cuvette de Ourgla. Rev Energ Ren Prod Valoris-Biomasse, vol. 6, p. 87-92.
- **El Ogaidi et al., 1987** (Utilization of date stone in single cell protein production) Date Palm Jou., 6: 60-68.
- **Elarem, A. G ; Flamini, G ; Emna B, S ; Issaoui., M ; Zeyene, N ; Ferchichi, A ; Hammami, M ; Helal N.A; Achour, L. (2011),** Chemical and aroma volatile compositions of date palm (Phoenix dactylifera L.) fruits at three maturation stages, Food Chem., Vol. 127, pp.1744-1754.
- **Espiard, E. (2002).** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc- Lavoisier,147-155.
- **Estnaove, P., 1990.** Note technique : Valorisation de la datte. In Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. CIHEAM, 301-318.
- **Fadel et al., 2013** (High level ethanol from sugar cane Molasses by a new thermotolérant Saccharomyces strain in industrial scale) Biotechnology Research International, 1-6

Référence Bibliographiques

- **FNH., (2008).** Agrocarburants – Cartographie des enjeux. In energies-cities, [Enligne].
- **Forge, F., (2007).** Les biocarburants – Politique énergétique, environnementale et agricole? In parlement du gouvernement du Canada, [En ligne].
<http://www.parl.gc.ca/Content/LOP/researchpublications/prb0637-f.pdf>
- **Gruer, M., (2007).** L'usine d'Éthanol Green Field à Varennes atteint ses objectifs après un lancement réussi. In cnw, En ligne].
<http://www.cnw.ca/fr/releases/archive/August2007/30/c3904.html>
- **Guigou et Perez., 2011** (Bioethanol production from sweet sorghum : evaluation of postharvest treatments on sugar extration and fermentation) biomass and bioenergy 35 (7), 3058-3062.
- **Guiraud, P. (1996).** Effets des oligo-éléments sur la production d'éthanol par *Saccharomyces cerevisiae*. Revue de la Biotechnologie, 8(2), 123-135.
- **Hanachi, S ; KHITRI, D ; BENKHALIFA, A, BRAC DE PERRIERE R.A (1998).** Inventaire variétal de la Palmeraie Algérienne. 225 p.
- **Harrak, H., & BOUJNAH M (2012).** Valorisation technologique des dattes au Maroc. Maroc : INRA Edition. 157P.
- **Hassan Khaled Hassan Al-Akidi, 2010** (Le palmier, édition et la distribution le Royaume hachémite de Jordanie.pp-06 9).
- **Hayshida, S., et Ohta, K., 1981** (Formation of high concentrations of alcohol by various yeasts) Journ Inst Brew, 87 : 542-43.
- **Hébert Josianne., (2013).** Quel avenir pour le développement des biocarburants de deuxième génération au Québec.Université de Shebrooke.Page 13-18.
- **Hervé, V., (2007).** L'histoire du bioéthanol, ses avancées et espoirs. In pascalh26, [En ligne]. <http://pascalh26.free.fr/historique.htm>
<http://energy-cities.eu/IMG/pdf/agrocarburants>. Pdf
- **Hussenet, C. (2017).** Instrumentation, modélisation et automatisation de fermenteurs levuriers à destination œnologique. Thèse : Génie des procédés. Paris : Université Paris-Saclay, 201 p.
- **J.A. Cook et J.R.I. Furr, (1953),** cité par S. Maatallah, dans 'Contribution à la Valorisation de la Datte Algérienne', Thèse Ing. INA, El Harrach, 103 p., 1970.
- **JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE du 22/07/2007**

Référence Bibliographiques

- **Johnson, M., & Echavarri-Erasun, B. (2011).** Ethanol as a solvent: Properties, production and applications. *Biofuels* (Chapter 11). In M. Koukkou, P. Koutinas, & P. Smith (Eds.), *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes* (pp. 249-274).
- **Kacimi M.M., (2008).** Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes de développement durable. Mem. Ing. Envi., Sherbrooke, Canada, p. 76.
- **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
- **Kendri S. (1999).** Caractéristiques biochimiques de la biomasse *Saccharomyces cerevisiae* produite à partir des dattes (Variété Ghars). Mémoire d'Ingénieur. Département d'agronomie, Batna. P 51.
- **Knop, M. (2011).** Yeast cell morphology and sexual reproduction – A short overview and some considerations. *Comptes Rendus Biologies*, 334(8-9), 599–606.
- **Kotyk A., (1989),** Proton extrusion in yeast. In Fleischer S. and Fleischer B. (Eds) *Method in enzymology*, vol 174 (Biomembranes, part U). Academic Press, New York, 592-603
- **Krylov AY., Kozyukov EA. et Lapidus AL., (2008).** Ethanol and diesel fuel from plant raw materials: a review. *Solid Fuel Chem.* 42(6):358-364.
- **Labrani Fatima-Zohra-Kenza., (2015).** Activité « Killer » chez des levures isolées des sols du Nord-Est Algérien : Purification, caractérisation et effet sur les souches de levures indésirables. Thèse de doctorat en sciences. Université des Frères Mentouri Constantine. PP 3 12.
- **Larbi, M. Berriche, A (2019).** Production d'éthanol à partir de grignon d'olive par procédé de Saccharification et de Fermentation Simultanées (SFS). Mémoire : Génie de l'Environnement. Bouira : Université Akli MOHAND OULHADJ-Bouira, 91p.
- **Larpent , J.P.,(1990).** Moisissures Utiles et Nuisibles Importance Industrielle, 2^{ème} édition. Masson, Paris. 512 pages .
- **Larpent, J. P., & Gourgoud, J. (1982).** Biotechnologie: De la fermentation à la synthèse enzymatique (2nd éd.). Masson.
- **Lefief, A. (2016).** La levure de bière. Paris : Leduc.s Editions. 28 p. – (c'est malin).
- **Lettre de politique agricole de la CMA/AOC (LEPAC), 2007.**

Référence Bibliographiques

- L'IFPN (Institut Français du Pétrole et des Énergies Nouvelles)
<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/>
- **Lin, Y. et Tanaka, S., (2006).** Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl Microbiol Biotechnol.* 69: 627–642
- **Lin, Y., SHUZO, T. (2006).** Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, 69(6), 627–642.
- **Maatallah S., 1970.** Contribution à la valorisation de la datte Algérienne. Thèse d'ingénieur. INA. EL-HARACH. 121 pages
- **Magalie Celton., 2011** (Etude de la réponse de *Saccharomyces cerevisiae* à une perturbation NADPH par une approche de biologie des systèmes) Thèse de Doctorat. Biotechnologie Microbiologie. Centre International d'étude supérieure en sciences agronomiques Montpellier supagro. P1-7.
- **Matallah, Assad Allah., (2006),** Le Biocarburant, thèse de magistère, Institut National Agronomique (INA) Alger.
- **Matallah.M, 2003.** Contribution à l'étude de la conservation des dates de la variété Deglet-Nour : Isotherme d'adsorption et de désorption. in Ghomari F-N, 2009. Moyens de Lutte Chimique et Biologique Contre le *Fusarium oxysporum* f.sp. albedinis Agent Causal du Bayoud Chez Palmier Dattier *Phoenix dactylifera* L. Spécialité : Microbiologie Appliquée, Option : Phytopathologie, Département de Biologie, faculté des sciences, Uni : d'Oran ES-SEIA.
- **Med –Tayeb. Oucif Khaled.** Optimisation des paramètres de la fermentation des dates pour les transformer en bioéthanol. *ISTSID.*24.25. 2019.P 123.
- **Mehaia, 1991** (Fermentation of date extracts of ethanol and vinegar in batch and continuous membrane reactors.) *Enzyme Microb. Technol* 13, 275-261.
- **Mekki et al., 1983** (Etude des propriétés nutritives et diététiques des sirops de dattes extraits par diffusion, en comparaison avec les sirops à haute teneur en fructose (isoglucoses), issus de l'industrie de l'amidon) *Revue Annales des sciences et technologie.* Vol.3 N°1.
- **Meligi, M.A., Sourial, G.F. 1982.** Fruit quality and general evaluation of some Iraqi date palm cultivars grown under conditions of barrage region. Ed : First symposium on the date palm, Saudi-Arabia, 23-25 March, 212-220.

Référence Bibliographiques

- **Meyer, 1988.** Cours de microbiologie générale. Ed. Doin, Paris, 333p.
- **Miller, 1959** (Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar)
acs publications
- **Ministère d’agriculture et du développement rural (MADR).** Agriculture du désert
[en ligne]. (Page consultée le 06/04/2024). <https://madr.gov.dz/>
- **Mohammad, A. (2013).** Biochimie des levures. Presses Universitaires de France.
- **Mohammed, S., Shabana, H.R., Mawloud, E.A., (1983).** Evaluation and identification
of Iraqi date cultivars. Fruits characteristics of fifty cultivars,2. p27-55.
- **Mohan, S. J., (2012).** Date palm biotechnology : Current status and prospective - an
overview. Emir. J. Food Agric. 24 (5) : 386-399.
- **Munier, P. 1973** (Le palmier dattier) G-P Maisonneuve et Larose, Paris. ISBN 2-7068-
0563-3, 141- 150.
- **Mussatto, S ; GIULIANO DRAGONE ; PEDRO M.R. GUIMARÃES ; JOÃO PAULO A.
SILVA ; LÍVIA M. CARNEIRO ; INÊS C. ROBERTO ; ANTÓNIO VICENTE ; LUCÍLIA
DOMINGUES ; JOSÉ A. TEIXEIRA (2010).** Technological trends, global market, and
challenges of bio-ethanol production, 28(6), 817–830
- **NF EN ISO 734-1, (2000).** Détermination de la teneur en lipides
- **Nigam, P.S. et Singh, A. (2010).** Production of liquid biofuels from renewable
resources. Progress in Energy and Combustion Science, vol. 37, p. 52-68.
- **Nixon, R.W. and Carpenter, B., (1978).** Growing Dates in United States, United States
Department of Agriculture Information, Bulletin Prepared by Science and Education
Administration,pp. 44 - 45,
- **Nunes Christophe Dasilva., (2009).** La filière bioéthanol ANFA .Groupement National
pour la formation automobile.Page 12-16.
- **Olofsson, K., Bertilsson, M., & Lidén, G. (2008).** A short review on SSF – an
interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks.
Biotechnology for Biofuels, 1(1), 7. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-1-7>
- **Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2020.**
Proposition relative à la célébration d’une Année internationale du palmier dattier
7p. Canada. <https://www.fao.org/3/cb1059fr/cb1059fr.pdf>

Référence Bibliographiques

- **Oucif Khaled.M. T., (2017).** Mise en valeur des dérivés de dattes de la région d'Oued Souf pour la production de bioéthanol. Mémoire de doctorat. Université Kasdi Merbah Ourgla.
- **Ould el hadj et al., 2012** (Étude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (dégela Beida, tacherwit et hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional est algérien). *Revue Algerian journal of arid environment*, Vol. 2, n° 2, pages 78-87.
- **Porot, P. (2011).** La filière thermochimique de production de gazole et de kérosène de synthèse appelé BtL (Biomass to Liquid). In *Les biocarburants de deuxième génération : état de l'art et perspectives* (pp. 115-130).
- **Rapport sur l'industrie des énergies décarbonnées, 2010.**
- **Rezki Meriem., (2014).** Production de métabolites par les levures : caractérisation et identification des arômes et des alcools.
- **Riess J., 2012.** (Intensification de la brique « fermentation alcoolique » de substrats betteraviers pour la production d'éthanol.) Thèse de doctorat université de Toulouse (INP Toulouse), France : génie des procédés et de l'environnement, 177pages, P24-52-53.
- **Riviere (1975).** Industriel application of the microbiologie. Ed Masson et Cie, 203p.
- **Rodier, 1997** (l'analyse de l'eau).
- **Romero, S., Merino, E., Bolívar, F., & Gosset, G. (2007).** Carbon metabolism and regulation in *Escherichia coli*. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(3), 555-566. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2005.07.005>
- **Roukas, T., (1996).** Ethanol production from non-sterilized beet molasses by free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cellsu singfed-batch culture. *J Eng.* 27 :87–96. *Saccharomyces Cerevisiae au cours de la production intensive d'éthanol*) Thèse de doctorat (INP Toulouse). Option microbiologie et biocatalyse industrielles. 265P.
- **Sanchez, O.J., Cardona, C.A. 2007.** Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Biorecourse Technology*, 99(13), 5270-5295.
- **Sasson, 1986** (Nourrir demain les hommes). Ed. UNESCO, Pays Bas, 765p. *The Royal Society, Sustainable Biofuels: Prospects and Challenges* janvier 2008., pp:18-19

Référence Bibliographiques

- **Sawaya, W.N., Khatchadourian, H.A., Khalil, J.K., Safi, W.M., Al-Shalhat, A. 1983.** Growth and Compositional Changes During the Various Developmental Stages of Some Saudi Arabian Date Cultivars. *Journal of Food Science*, 47, 1489-1497.
- **Sigler, K., Knotkova, A., Kotyk, A. 1981.** Factor governing substrate induced generation and extrusion of proton in yeast. *Biochimica and Biophysica Acta*, 643, 572-582
- **Sindhu, R., P. BINOD, AND A. PANDEY. (2016).** Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass - An Overview. *Bioresource Technology* (19) 9,76–82.
- **Smith, J., Johnson, R., & Brown, A. (2020).** Advances in fourth-generation biofuels: Algal biomass as a sustainable feedstock. *Journal of Renewable Energy*, 15(2), 123-135.
- **Statistiques Agricoles, Ministère de l'Agriculture, 1998).**
- **Suarit, R., Gopal, P.K., Sherped, M.G. 1988.** Evidence for a glycosidic linkage between chitin and glucan in the cell wall of *Candida albicans*. *Journal of General Microbiology*, 134, 2359-2368.
- **Susmozas, A., MARTIN-SAMPEDRO, R., IBARRA, D., EUGENIO, M. E., IGLESIAS, R., & MANZANARES, P., MORENO, A. D. (2020).** Process strategies for the transition of 1G to advanced bioethanol production. *Processes*, 8(10), 13-10. <https://doi.org/10.3390/pr8101310>
- **Thuriaux, P. (2004).** Les organismes modèles : La levure. Paris : Belin. 282 p.
- **Touati Lounis, (2013).** Valorisation des grignons d'olive Etude de cas : Essai de valorisation en Biocarburant. Mémoire de magister.
- **Touzi A., Azbbès N., (1988).** Avant-projet de Réalisation d'Unité de Production de
- **Touzi, A ; Azbbes, N. (1988).** Avant-projet de réalisation d'unité de production de bioalcoo, apport Intern, Lab. Biotech, Dans les wilayas de Biskra, Adrar et Ghardaïa, Algérie. 56 pages <https://doi.org/10.1051/ocl/2020067>
- **Vaitilingom Gilles., (2013).** Utilisation des biocarburants dans les moteurs à allumage par compression. CIRAD-Persyst.France.pp 13-20.
- **Vallee, j. et Behaghel, R., (2008),** Biocarburants de deuxième génération, institut national de pétrole France.
- **Walker, G.M. (1998).** *Yeast Physiology & Biotechnology*. New York : John Wiley & Sons. 362 p.

Référence Bibliographiques

- **WEBMANAGERCENTER.** Quels sont les plus grands producteurs de dattes au monde [en ligne]. (Page consulté le 06/04/ 2024). <https://www.webmanagercenter.com/>
- **Zabi, A ; Messaoudi, A. (2022).** Production de bioéthanol à partir des déchets de dattes variété Ghar. Mémoire : Génie des Procédés. Ouargla : Université KASDI-MERBAH Ouargla,53p.
- **Zhao, Qian, F., Wei, X., Dong, J., Jing, Q., Wang, L., ... & Zhao, C. (2014).** Zymomonas mobilis: A novel platform for future biorefineries. Biotechnology for Biofuels, 7(1), 101. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-7-101>

Annexes

Annexe 1 : matériel végétal

Pour cette étude, nous avons choisi la variété de datte Degla beida en raison de sa faible valeur sur le marché, de sa disponibilité et de sa large distribution. Nous avons travaillé avec un échantillon de 1 kg de cette variété, fourni par un vendeur de dattes situé au niveau de 350 Logement Boumerdès.

Résumé

Résumé :

L'industrie agro-alimentaire, y compris le secteur phoenicicole, génère d'importants volumes de déchets. Parmi ces déchets, les résidus de dattes, riches en sucres, représentent une ressource idéale pour la fermentation et la production de métabolites facilement commercialisables et d'un grand intérêt industriel et économique.

En Algérie, où la production de dattes est significative mais où une partie reste non commercialisée, nous avons cherché à valoriser les dattes communes (dattes à faible valeur marchande) par des transformations visant à produire du bioéthanol.

Nos résultats ont montré que le jus de datte, utilisé comme substrat dans une fermentation anaérobie avec la levure *Saccharomyces cerevisiae*, permet de produire du bioéthanol conforme aux normes internationales. Cette approche biotechnologique favorise non seulement la création d'un produit local, mais aussi la valorisation économique des dérivés de la datte.

Mots-clés : déchets de dattes, bioéthanol, *Saccharomyces cerevisiae*, jus de datte, fermentation alcoolique.

ملخص :

تولّد صناعة الأغذية الزراعية، بما في ذلك قطاع النخيل، كميات كبيرة من النفايات. ومن بين هذه النفايات، تُعدُّ بقايا التمور، الغنية بالسكريات، مصدرًا مثاليًا للتخمير وإنتاج المركبات الحيوية التي يمكن تسويقها بسهولة وكذلك تحمل أهمية كبيرة في الصناعة والاقتصاد.

في الجزائر، حيث تعتبر إنتاج التمور مهمًا، لكن جزءًا منها لا يتم تسويقه، سعينا إلى تسليط الضوء على التمور الشائعة (التمور ذات القيمة التجارية المنخفضة) من خلال التحولات التي تهدف إلى إنتاج الإيثانول الحيوي.

Saccharomyces أظهرت نتائجنا أن عصير التمر، المستخدم كمادة أساسية في التخمير اللاهوائي مع خميرة، يمكن أن ينتج إيثانول حيوي يتوافق مع المعايير الدولية. تساهم هذه التكنولوجيا الحيوية في الحصول على *cerevisiae* منتج محلي، و أيضًا تعزيز القيمة الاقتصادية للمنتجات المشتقة من التمور.

الكلمات المفتاحية: نفايات التمر، الإيثانول الحيوي، خميرة الخميرة، عصير التمر، التخمير الكحولي

..

Summary :

The agri-food industry, including the date palm sector, generates significant volumes of waste. Among these wastes, date residues, rich in sugars, represent an ideal resource for fermentation and the production of metabolites that can be easily marketed and have great industrial and economic importance.

In Algeria, where date production is significant but a portion remains unmarketed, we sought to highlight common dates (dates with low market value) through transformations aimed at producing bioethanol.

Our results showed that date juice, used as a substrate in anaerobic fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* yeast, can produce bioethanol that meets international standards. This biotechnological approach not only promotes the creation of a local product but also enhances the economic value of date derivatives.

Keywords: date waste, bioethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, date juice, alcoholic fermentation.