



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Biotechnologies
Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Réf. : 2023-2024

Présenté et soutenu par :
Rafika LOUGHLANI , Rihab SEBAI

Le : mercredi 26 juin 2024

Synthèse : Valorisation De Déchets Des Dattes Dans La Production De Bioéthanol

Jury :

Mme. Yamina BOUATROUS	MCA	Université de Biskra	Président
M. Ali MIHI	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Mme. Hafida BELKHERCHOUCHE	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je remercie sincèrement mon directeur de recherche **Mihi Ali**, pour son encadrement, sa patience et ses précieux conseils tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et son soutien infaillible ont été des atouts majeurs dans l'accomplissement de ce projet.

Je suis également reconnaissant envers les membres du jury pour leur temps, leur expertise et les retours constructifs qu'ils ont bien voulu me fournir.

Je souhaite également remercier Madame **Hamia Hadjra** pour son soutien moral et son intérêt pour nous pour nous avoir apporté son expérience pratique

Mes pensées vont aussi à ma famille et à mes amis qui m'ont soutenu moralement et qui ont su m'encourager dans les moments difficiles. Leur amour et leur confiance ont été une source constante de motivation.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

*Je dédie ce travail à ceux qui ont donné un sens à ma quête
et à mon existence.*

*À mes parents **Hakíma** et **Lamrani** , pour leur amour
inconditionnel, leur sacrifice et leur foi inébranlable en mes
rêves, même lorsque le chemin semblait incertain.*

*À mes frères **Abd'El Nour** et **Abd'El Moumen** et ma
princesse **Mariem Chams** , pour leur soutien indéfectible et
les rires partagés qui ont allégé les moments de doute.*

*À mes amis spécialement **Rihab**, **Imène** , **Hadil** et **Ilham** ,
pour leur compréhension et leur présence réconfortante,
pour avoir été la famille que l'on choisit.*

*À mon cher **Dodo** , pour son patience, son encouragement et
la lumière qu'il apporte dans ma vie.*

*Et enfin, à tous ceux qui, par leur enseignement et leur
exemple, ont semé en moi la passion de la connaissance et le
désir de contribuer à un monde meilleur.*

*Ce mémoire est le fruit de nombreuses mains et cœurs, et à
tous, je dédie ces pages .*

Rafika

Dédicace

Je dédie ce travail :

À mes chers parents (Mehamed Taher et Maryam)

Pour leur amour inconditionnel, leur soutien sans faille et les sacrifices qu'ils ont consentis pour m'accompagner tout au long de mon parcours académique.

À toutes les mains pures qui ont enlevé les épines de l'échec de mon chemin, à ceux qui m'ont soutenu avec tout leur amour dans mes moments de faiblesse, à ceux qui ont été mes meilleurs alliés dans les moments difficiles, à mes sœurs (Zineb, Asmaa, Maria, Chaïma, Arif) et à mes frères (Dassi, Youssef, Abdelrahman, Abdullah).

À celle qui n'a pas de lien de parenté avec moi, mais dont l'amitié parfume nos vies, à mon amie sincère, à celle qui m'a encouragé et a apporté son soutien sans rien attendre en retour.

À celle qui a été audacieuse dans ces victoires, à Rafika

Et je n'oublie pas les compagnes du voyage vers le succès (Manar, Imane, Maïssa, Aya...) et ceux qui m'ont accompagné pendant mon parcours d'études et les nuits d'examens qui nous ont réunis.

Rihab

Table des matières

Liste des Tableaux.....	I
Liste des Figures	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction Générale.....	1
Chapitre 01 : Généralités sur le palmier dattier	
1.1 Taxonomie de palmier dattier	5
1.2 Nomenclature	5
1.3 Description morphologique de palmier dattier(<i>Phoenix Dactylefera</i> L)	5
1.4 Les fruits (les dattes).....	6
1.4.1 La consistance des dattes après la maturation	6
1.5 Etat de la production des dattes en Algérie.....	6
Chapitre 02 : Généralités sur le bioéthanol	
2.1 Les Biocarburants.....	7
2.2 Le Bioéthanol	7
2.2.1 Commercialisation de bioéthanol.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Utilisations de bioéthanol.....	8
2.2.3 Matière première de bioéthanol	8
Chapitre 03 : Généralités sur la fermentation	
3.1 Définition	11
3.2 La fermentation alcoolique	11
3.3 Micro organismes utilisés dans la fermentation	12
3.3.1 La levure <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	13
3.3.1.1 Origine du nom.....	13
3.3.1.2 Classification de <i>Saccaromyces cerevisiae</i>	13
3.3.3.3 Caractéristiques de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13

3.3.3.4 Utilisations de levure	13
--------------------------------------	----

PARTIE 02

Chapitre 4 : Matériels Et Méthodes

Article1 : Production de bio alcool à partir des déchets de dattes (Kaidi et al , 2001)	17
Article2 : valorisation des rebuts de dattes par la production de la levure boulangère, de l'alcool et du vinaigre (Acourene et al , 2008)	17
Article 03 :Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol (Boulal et al , 2010)	19
Article 4 : étude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (degla beida, tacherwit et hamraya) reparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (sahara septentrional est algérien) (Ouled el hadj et al ,2012)	21
Article 05 : Optimisation de l'extraction des jus de sous-produits de dattes (<i>Phoenix dactylifera</i> L.) et valorisation par production de bioéthanol (Chniti et al , 2014).....	24
Article 06 : production of bioéthanol from varieties of dates of poor quality (ousif khaled et al ,2014)	25
Article 07 : étude du pouvoir fermentaire de levures isolées naturellement à partir des dattes au sud d'Algérie (application à la fermentation de deux variétés de dattes communes de faible valeur marchande) (Boulal et al , 2016)	27
Articl08 :Production du bioéthanol a partir de Rebut de deux variétés de dattes (deglet-nour et -hamraya)(El-hadi et al , 2016)	28
Article 09: Production of Bioethanol from Spoilage Date Fruits by New Osmotolerant Yeasts (Hashem et al , 2017).....	29
Article9 : Mise en valeur des dérivés de dattes de la région d'Oued Souf pour la production de bioéthanol (Oucif khaled , 2017).....	31
Article 11: la bio-production de l'éthanol á partir de déchets de dattes : effet de l'incorporation des cendres du noyau de deglet–nour sur le rendement (CHIBI et al ,2018)	32
Article 12 : valorisation de déchets de dattes tunisiennes : production de bioéthanol.	34

Article 13: production of bioethanol from a local natural resource (Edjekouane et al ,2020).....	36
Article14 : Efficient utilization of date palm waste for the bioethanol production through Saccharomyces cerevisiaestrain (Arslan et al , 2021)	37
Article 15 : Production du bioéthanol à base de dattes de la variété Teggaza de faible valeur commerciale au Sud-ouest de l'Algérie (Boulal et al , 2023).....	39
Chapitre 05 : Résultats et discussions	
Article 01	42
Article 2	42
Article 03	43
Article 04	43
Article 05	43
Article06	44
Article 07	45
Article 08	46
Article 09	47
Article 10	48
Article 11	48
Article 12	49
Article 13	49
Article14	50
Article 15	51
Discussion générale.....	51
Conclusion.....	59
Bibliographie.....	61

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classification de le palmier dattier (<i>Phoenix Dactylifera L</i>)	5
Tableau 2 : Les adventages et les inconvenient de les levures <i>Saccharomyces cerevisiae</i> et <i>Zymomonas mobilis</i>	12
Tableau 3 : Classification de <i>Saccaromyces cerevisiae</i>	13
Tableau 4 : Les caractéristiques physiques des quatre cultivars étudiés.....	44
Tableau 5 : rendement de bioéthanol selon la variétée	45
Tableau 6 : comparaison entre les deux méthodes de prépartion de jus de dattes	Error!
Bookmark not defined.	

Liste des Figures

Figure 1 : Fermentation des substrats sucrés.....	11
Figure 2 : Rendement de bioéthanol de chaque variété de datte	52

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse De La Variance

ATP : Adénosine Triphosphate

CPG : Chromatographie En Phase Gazeuse

DAP : Phosphate D'ammonium

DMS : Différence La Moins Significative

ELPD : Extrait De Levure Peptonée Dextrose

FTIR : Spectroscopie Infrarouge A Transformé De Fourier

GDP : Gélose Dextrosée A La Pomme De Terre

GM : Gélose De Macconkey

HPLC : Chromatographie En Phase Liquide à Haute Performance

JDB : Jus De Dattes Bouilli

SA : Sulfate D'ammonium

SDB : Souche Isolée A Partir De Degla-Beida

SDN1et SDN2 : Souches Isolées A Partir De Deglet-Nour

SHW : Souche Isolée A Partir De Halwa

SKD : Souche Isolée A Partir d'El-Kaid

SSB : Souche Isolée A Partir De Tissibi.

STB : Souche Isolée A Partir De Tantboucht

STN : Souche Isolée A Partir De Tinissine

TSS : Totale Des Solides

VE : Volume d'éthanol

VF :Volume de Filtrat

VI : Volume d'Inoculum

XRF : Florescence Des Rayons X

Introduction Générale

Introduction Générale

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) est la principale ressource des populations de les régions arides et semi arides dans l'Algerie . Celui-ci s'étend sur plus de 167 663 hectares, planté d'environ 18,53 millions de pieds, tandis que les palmiers productifs sont estimés à 15,7 millions (84 %). La production de dattes est estimée à environ 10,58 millions de quintaux en 2017, avec un profit de 332,4 milliards de dinars algérienne (ministère d'agriculture , 2018).

La datte, le fruit du palmier dattier, joue un rôle économique prépondérant dans plusieurs nations du Moyen-Orient, où la culture de cet arbre s'accroît graduellement grâce à des méthodes biotechnologiques avancées. En plus de leur utilisation en tant que un aliment pour la population de Sahara, le nouvel intérêt de datte se porte sur leur utilisation dans de nouvelles recettes et produits alimentaires. Les unités de transformation exploitent la polyvalence de la datte pour créer une gamme variée de dérivés tels que la pâte, le sirop, le miel, la confiture, le vinaigre, ainsi que l'éthanol, la levure ... (Hosahalli et *al* ., 2006).

Le processus de recyclage des déchets de fruits de dattes est un processus biologique important qui vise à maintenir l'équilibre environnemental (Taghizadeh et *al*., 2019). Les déchets de dattes ainsi que les fruits de faible valeur commerciale sont riches en sucres naturels qui peuvent être transformés et convertis en matériaux à valeur ajoutée, tels que l'éthanol à usage pharmaceutique ou comme aliment pour les animaux. Le sirop de dattes contient des monosaccharides, tels que le fructose et le glucose, qui constituent plus de 80 % (poids sec) du fruit de datte mûrs (Zeinelabdeen et *al*., 2013).

Le bioéthanol, obtenu à partir de résidus organiques agricoles non alimentaires, est très apprécié pour ses qualités écologiques ; Il est considéré comme une source d'énergie alternative, renouvelable, non-polluant, et respectueuse de l'environnement et durable par rapport aux carburants fossiles traditionnels (Ahmed et *al* ,2021).

En 2016, la production de bioéthanol a dépassé le seuil des 100 milliards de litres à l'échelle mondiale. En 2024, la production atteint 134 milliards de litres, avec les États-Unis en tête de la production globale (Bušić et *al* ,2018).

Le bioéthanol est un pilier économiquement important et compte tenu de la disponibilité de l'un des principaux déchets non utilisés pour sa production, comme les déchets de dattes ou

des dattes de faible valeur commerciale, ce sujet a suscité notre curiosité sur la manière de les transformer en une matière première alternative pour l'énergie avec de nombreuses utilisations dans différents domaines.

L'objectif principal de ce travail est d'explorer le potentiel des déchets des dattes et les dattes de faible valeur économique comme substrats renouvelables pour la production de bioéthanol. Cette étude vise à rechercher les méthodes les plus durables et économiquement viables pour transformer la biomasse en bioéthanol, un biocarburant alternatif, en mettant l'accent sur les aspects suivants :

Caractérisation Physico-chimique : Étudier les caractéristiques physiques et chimiques des déchets de palmier dattier et des dattes de faible valeur pour évaluer leur aptitude à la fermentation.

Optimisation du Processus de Fermentation : Déterminer les conditions optimales de fermentation pour maximiser la production de bioéthanol à partir de ces substrats.

Et l'Analyse de la Viabilité Économique : Évaluer la rentabilité de la production de bioéthanol à partir de ces ressources, en tenant compte des coûts de production et des bénéfices potentiels.

Partie 01
Synthèse Bibliographique

Chapitre 1

Généralité Sur Le

Palmier Dattier

Chapitre 01 : Généralités sur le palmier dattier

1.1 Taxonomie de palmier dattier

Tableau 1 : Classification de le palmier dattier (*Phoenix Dactylifera L*) (munier,1973)

Règne	Plantea
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Ordre	Palmales
Famille	Palmacea
Genre	Pheonix
Espèce	<i>Phoenix Dactylifera L</i>

1.2 Nomenclature

Le palmier-dattier (ou simplement dattier) est scientifiquement appelé *Phœnix dactylifera*. Le nom "Phœnix" provient des Grecs de l'Antiquité, qui considéraient cet arbre comme l'arbre des Phéniciens. Le terme "dactylifera" vient du grec "dactylus", signifiant "doigts", en référence à la forme allongée du fruit. Voici quelques caractéristiques du palmier-dattier (Muriel et al ,2013).

1.3 Description morphologique de palmier dattier(*Phoenix Dactylefera L*)

- Il possède un stipe cylindrique pouvant atteindre 25 mètres de hauteur ou plus.

Le stipe est recouvert de la base des anciennes palmes coupées et porte un bourgeon terminal d'où émergent les nouvelles palmes.

- Les palmes sont des feuilles composées pennées qui forment une couronne. Chaque année, entre 10 et 20 (voire jusqu'à 30) nouvelles palmes peuvent apparaître, mesurant de 2 à 6 mètres de long et ayant une durée de vie de 3 à 7 ans.

Un palmier adulte peut compter entre 50 et 200 palmes environ.

- À l'aisselle de chaque palme, un bourgeon adventif peut donner naissance à une inflorescence (spathe) sous forme de grappes d'épis protégés par une bractée ligneuse close et fusiforme (Toutaine , 1996).
- Des rejets (gourmands) peuvent apparaître à la base du stipe dans la région moyenne.
- La croissance du palmier-dattier est lente, et sa durée de vie peut dépasser 100 ans.

- Il est important de noter que le palmier-dattier est une espèce dioïque, ce qui signifie qu'il existe des individus mâles et femelles distincts (Zenchi ,2015).

1.4 Les fruits (les dattes)

Les dattes sont les fruits du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L). Elles sont charnues, à graine unique, de forme rectangulaire allongée (ovale), avec une longueur variant de 20 à 110 mm et un diamètre de 8 à 30 mm. Le poids des dattes varie de 2 à 8 g, et elles peuvent être de différentes formes, poids et couleurs, allant du blanc jaunâtre au noir ou rouge, selon la variété de datte (Amellal,2008).

1.4.1 La consistance des dattes après la maturation

- ✚ Dattes molles : Leur sucre est généralement du sucre réduit, mais certaines variétés contiennent de petites quantités de saccharose (El-jbori ., Zaiid ,2015).
- ✚ Dattes demi-sèches : elles contiennent de grandes quantités de saccharose, mais le pourcentage de sucre réducteur est prédominant
- ✚ Dattes sèches : elles contiennent des niveaux élevés de saccharose, qui peuvent parfois dépasser le sucre réducteur (Merzaia,2014).

1.5 Etat de la production des dattes en Algérie

L'Algérie possède un potentiel phoenicicole considérable, avec 18 201 640 palmiers-dattiers répartis sur une superficie totale de 163 985 hectares. Chaque année, la production atteint 7 893 570 quintaux. La variété Deglet Nour, mondialement réputée pour sa qualité, est produite grâce à 6 998 143 arbres répartis dans douze wilayas du pays (Idder-ighili et al .,2021).

D'autres variétés, telles que Ghers (dattes molles) ou Degla Beida (dattes sèches), sont également cultivées par 11 203 497 palmiers dans les wilayas phoenicicoles d'Algérie , ce potentiel agricole a toujours été une ressource inestimable pour les populations locales au fil des siècles (Sayah et al. ,2010).

Chapitre 2

Généralités Sur La

Bioéthanol

Chapitre 02 : Généralités sur le bioéthanol

2.1 Les Biocarburants

Sont des carburants liquides ou gazeux obtenus à partir de la transformation de matériaux organiques non fossiles issus de la biomasse. Cette biomasse peut être d'origine végétale, animale ou issue de déchets. Ils sont généralement incorporés dans les carburants d'origine fossile pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (Aouabed et al., 2018).

On distingue trois générations de biocarburants :

✚ Première génération :

Produits à partir de matières premières alimentaires comme la canne à sucre, les céréales et la betterave sucrière. Ils entrent en concurrence directe avec la chaîne alimentaire (Cavelius et al., 2023).

Deuxième génération

Utilisent des matières cellulosiques non alimentaires comme le bois, les feuilles, les tiges des plantes et les déchets. Ils ne sont pas en concurrence avec la production alimentaire et présentent un avantage de disponibilité supérieure (Antizar et Turrion, 2008).

✚ Troisième génération

Basés sur l'utilisation de microorganismes comme les micro algues. Ces procédés sont encore à l'étude (Anonyme, 2023).

Les biocarburants sont considérés comme une alternative aux carburants fossiles et sont développés depuis plus de 40 ans. Ils sont vus comme une solution potentielle à l'épuisement des ressources fossiles et aux problèmes environnementaux liés à leur utilisation.

2.2 Le Bioéthanol

Est un carburant renouvelable produit par la fermentation de la biomasse (Chibi et El-Hadi, 2018).

C'est un liquide incolore inflammable et volatil, reconnu pour son odeur agréable. À faible concentration dans l'eau, il présente une saveur légèrement sucrée, tandis qu'à des concentrations plus élevées, il peut provoquer une sensation de brûlure en bouche (Goullé et Guerbet, 2015).

L'éthanol, également connu sous le nom d'alcool éthylique, a pour formule chimique $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, et est parfois désigné sous le terme d'éthanol biosourcé (Wiloso et *al.*, 2012).

2.2.1 Matière première de bioéthanol

Dans le monde, on trouve une variété de biomasses utilisables comme ressources. La fermentation de toute substance sucrée peut mener à la production d'éthanol. Les matières premières pour la production d'éthanol se répartissent principalement en trois catégories (Lin et Tanaka, 2006)

- ✚ Substrats à forte teneur en sucrose et en amidon: cela inclut la canne à sucre, les betteraves, les dattes, les pommes de terre, le maïs, l'orge et le blé (Nagarajan et *al.*, 2017).
- ✚ Substrats cellulosiques : on y compte les déchets agricoles comme la paille et les tiges de maïs, les résidus forestiers, ainsi que les plantes cultivées pour leur énergie telles que le panic érigé ou les arbres à croissance rapide (Lin et Tanaka, 2006).
- ✚ Algues et micro-algues : parmi celles-ci, les micro-algues vertes (Chlorophyceae), les micro-algues dorées (Cheyosophyceae), les macro-algues brunes (Phaeophyceae) et les macro-algues rouges (Rhodophyceae) sont utilisées (Puspawati et *al.*, 2015).

2.2.2 Utilisations de bioéthanol

L'éthanol joue un rôle clé en tant qu'intermédiaire dans la fabrication de divers composés chimiques. Il est essentiel pour produire des substances telles que les halogénures d'éthyle, les esters éthyliques, les amines éthyliques, le d'éthyle et l'acide acétique, ainsi que le butadiène, bien que dans une moindre mesure (Logsdon et *al.*, 2004).

Dans le secteur médical, l'éthanol est couramment utilisé comme antiseptique, notamment dans les compresses. Il figure également dans les solutions désinfectantes hydro-alcooliques, généralement à une concentration avoisinant les 60 % en volume. Son action biocide s'explique par sa capacité à dénaturer les protéines et à dissoudre les lipides des micro-organismes, le rendant efficace contre une grande variété de bactéries, de champignons et de nombreux virus. Cependant, il ne parvient pas à éliminer les spores (McDonnell et *al.*, 1999)

Ces applications mettent en lumière la polyvalence et l'importance croissante du bioéthanol comme alternative durable aux ressources fossiles. (Xiang, 2022) .

2.2.3 Commercialisation de bioéthanol

Le bioéthanol est commercialisé sous deux formes principales :

- + Anhydre : Il s'agit d'éthanol pur à 100% en volume, souvent appelé alcool absolu.
- + Hydraté : Il est mélangé avec de l'eau à différentes concentrations, généralement à 95% et 70%, utilisé principalement pour ses propriétés antiseptiques (Walker, 2010).

Chapitre 3

Généralités Sur La Fermentation

Chapitre 03 : Généralités sur la fermentation

3.1 Définition

La fermentation est un processus métabolique où un micro-organisme spécifique est employé pour libérer l'énergie stockée dans une molécule organique, selon Gaillard et al. (1995). Ce mécanisme fonctionne sans oxygène ni chaîne de transport d'électrons, en utilisant une molécule organique comme accepteur final d'électrons. (Tortora et *al.*, 2003) notent que la fermentation peut également se dérouler en présence d'oxygène.

3.2 La fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique est un processus biochimique au cours duquel des sucres, tels que le glucose, sont convertis en éthanol au sein d'un environnement liquide anaérobie (Jean-Marie,2016).

Pour obtenir une fermentation efficace, il est essentiel d'ajuster la concentration de sucre du jus ou du sirop entre 14 % et 18 %. Ce réglage permet à la levure *Saccharomyces cerevisiae* de transformer le sucre en éthanol de manière optimale à des températures avoisinant les 33 à 35 °C. Au cours de ce processus, le sucre est métabolisé en éthanol et en dioxyde de carbone, tout en générant de la biomasse de levure. De plus, des quantités infimes de sous-produits secondaires sont également produites, tels que le glycérol, les huiles de fusel, les aldéhydes et les cétones (Almodares et *al.* , 2009).

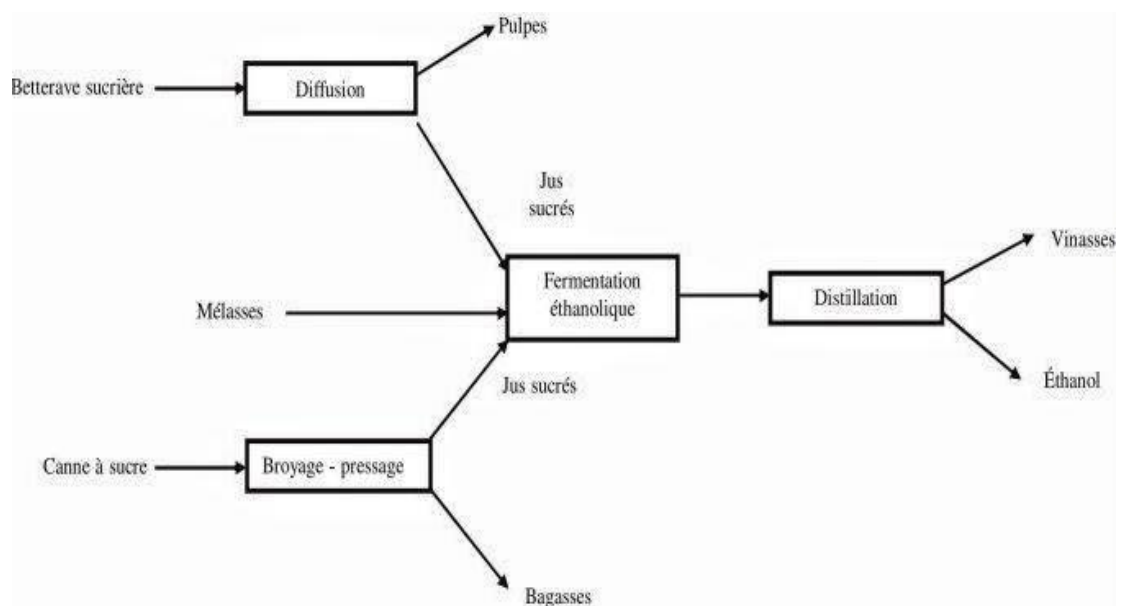


Figure 1 : Fermentation des substrats sucrés (Ballerini,2002)

3.3 Micro organismes utilisés dans la fermentation

De nombreux microorganismes sont capables de produire de l'éthanol à partir de polysaccharides. Cependant, peu d'entre eux sont réellement compétitifs en termes de rendement en éthanol par rapport au substrat consommé, de capacité fermentaire, de tolérance élevée à l'éthanol et d'adaptation aux conditions de fermentation (Cot, 2006).

Actuellement, les espèces utilisées à des fins industrielles sont *Saccharomyces cerevisiae* et *Zymomonas mobilis*. Cette dernière se révèle très efficace pour la fermentation du glucose, avec une tolérance à l'éthanol de 120 g/l. De plus, sa productivité est 2,5 fois supérieure à celle de la levure, et son rendement est plus important, atteignant 5 à 1% (Lin et Shuzo, 2006).

Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients de les levures *Saccharomyces cerevisiae* et *Zymomonas mobilis* (Ballerini, 2006)

	Avantages	Inconvénient
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Large spectre d'utilisation de substrats. • Développement et activité fermentaire à des pH acides (3-4) • Répression des contaminants • Facilement séparable du milieu de culture par centrifugation ou filtration 	<ul style="list-style-type: none"> • Moins performante avec certains types de substrats.
<i>Zymomonas mobilis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Performante avec certains substrats. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite encore la stérilisation. • Plus difficile à séparer du milieu de culture.

En résumé, *S. cerevisiae* offre une plus grande polyvalence, tandis que *Zymomonas mobilis* est plus spécifique mais nécessite plus de précautions.

3.3.1 La levure *Saccharomyces Cerevisiae*

3.3.1.1 Origine du nom

Le nom *Saccharomyces Cerevisiae* provient du mot saccharose (qui signifie sucre) et myces (qui signifie champignon), *Cerevisiae* fait référence à la « cervoise », un ancien terme pour la bière, ce champignon microscopique compose différentes sortes de levures utilisées pour la fermentation (Alix, 2016).

3.3.1.2 Classification de *Saccaromyces cerevisiae*

Tableau 3 : Classification de *Saccaromyces cerevisiae* (Boulton et Quain , 2001)

Règne	Protistes – eucaryotes
Classe	Ascomycetes
Sous-classe	Hemiascomycetes
Ordre	Endomycetes
Genre	Saccharomyces
Famille	Saccharomycetaceae
Sous-famille	Saccharomysetoideae
Espèce	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

3.3.3.3 Caractéristiques de *Saccharomyces cerevisiae*

Forme : Cellule non filamenteuse, sphérique, ovoïde ou allongée.

Taille : Variable, généralement entre 3 et 10 µm de large et 4 à 14 µm de long.

Certaines cellules peuvent être cylindriques et de grande taille jusqu'à 20 µm de long ou plus. (Bacha, 2008).

3.3.3.4 Utilisations de levure

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée à grande échelle dans divers domaines.

Productions traditionnelles

Boissons alcoolisées: La levure est essentielle dans la fermentation de la bière, du vin et d'autres boissons alcoolisées.

Pain et levure de boulangerie : Elle est utilisée pour faire lever la pâte dans la fabrication du pain et d'autres produits de boulangerie.

Bioéthanol : La levure est employée dans la production de bioéthanol, notamment à partir de matières premières renouvelables telles que la biomasse.

 Productions pharmacologiques et chimiques:

Vitamines : La levure est utilisée pour produire des vitamines, qui sont ensuite utilisées comme compléments alimentaires.

Enzymes: Elle est également utilisée pour produire des enzymes, qui ont diverses applications industrielles et médicales.

Protéines recombinantes : La levure peut être génétiquement modifiée pour produire des protéines spécifiques, telles que des médicaments ou des protéines thérapeutiques.

En raison de ses caractéristiques *Saccharomyces cerevisiae* est l'organisme le plus couramment utilisé dans la production de bioéthanol par voie biotechnologique à partir de la biomasse (Line et Tanaka, 2006).

PARTIE 02
Synthèse Des Articles

Chapitre 4

Matériels Et Méthodes

Chapitre 4 : Matériels Et Méthodes

Article 1 : Production de bio alcool à partir des déchets de dattes

(Kaidi et *al.* , 2001)

1.1 Méthode de recherche

La méthode de recherche comprend les étapes suivantes:

- ❖ Extraction du sucre stocké dans la pulpe des dattes avec de l'eau chaude.
- ❖ Ajout de levures des genres *Saccharomyces* et *Meyerozyma*.
- ❖ Utilisation d'un fermenteur.

Le processus de fermentation dépend de la stabilité de certaines mesures telles que la température (30°C), la concentration en ions hydrogène (pH 3,5) et un mélange relativement lent.

Le processus de conversion dure 72 heures en fonction de la quantité de sucre présente dans les matières premières broyées avant de terminer la distillation et la concentration de l'alcool. Un taux de 85 % d'éthanol a été obtenu, analysé par chromatographie en phase gazeuse (Figure 1 et Figure 2) après le processus de concentration.

Enfin, lors de la seconde distillation (pour la concentration), l'alcool est obtenu à un taux de 85,7 %, composé uniquement d'éthanol.

Article 2 : valorisation des rebuts de dattes par la production de la levure boulangère, de l'alcool et du vinaigre(Acourene et *al.*, 2008)

2.1 Matériel végétal

comprend des rebuts de dattes de la variété Deglet-Nour.

2.2 Matériel biologique

Pour la production de levure boulangère et d'alcool, plusieurs souches de *Saccharomyces cerevisiae* ont été utilisées, y compris la souche témoin ATCC 1102 et SDB , STB , SDN1et SDN2 , SHW , SKD , STN.

La souche SDB a été spécifiquement utilisée pour la production en Fed-Batch de levure et d'alcool.

2.2 Protocole Expérimental

2.2.3 Préparation du moût de dattes

Après avoir lavé, dénoyauté et broyé les dattes, on mélange 1 kg de dattes avec 2.5 litres d'eau. Ce mélange est ensuite chauffé à 85 °C pendant 45 minutes avec agitation continue, filtré et stérilisé à 120 °C pendant 20 minutes.

2.2.4 Préparation de l'inoculum (Pré culture)

On place 20 ml de milieu de Carlsberg dans un Erlenmeyer de 250 ml,ensemencé avec une souche de 1 µg à partir d'un tube gélosé. Après homogénéisation, l'inoculum est incubé à 30 °C pour 24 heures sous agitation constante à 45 oscillations par minute.

2.2.5 Fermentation alcoolique

Le moût (300 ml)enrichi en protéines et sels minéraux sont inoculés avec 20 ml de suspension de levure pré-cultivée. Le pH est ajusté entre 4.3 et 4.7, et la culture est incubée à 30°C pendant 18 heures pour permettre la fermentation.

2.2.6 Culture en Fed-Batch

Durent 15 heures dans un fermenteur rempli au 2/3 de son volume. La température : 30°C et le pH est fixé à 4.5. L'agitation a 300 tours par minute et une aération fixée à 2 V.V.M. différentes sources d'azote et de vitamines sont ajoutées a le milieu de culture de *Saccharomyces cerevisiae* sont : Urée, Sulfate d'ammonium (SA), urée et sulfate d'ammonium à 50 - 50 %, Phosphate d'ammonium (DAP) et l'ammoniaque. Les vitamines utilisées sont : biotine, pantothénate de calcium et thiamine.

2.3 Production d'alcool

2.4.1 Pré-fermentation

Les souches maintenues sur un milieu gélosé incliné sont réactivées dans un milieu de Carlsberg. Dans un Erlenmeyer de 250 ml, 30 ml de milieu de Carlsberg stérilisé à 120 °C pendant 20 minutes sont inoculés avec 1 µg de la souche après refroidissement. L'incubation est réalisée à 30 °C pour 24 heures en présence d'oxygène et avec une agitation constante de 45 oscillations par minute

2.4.2 Production d'alcool proprement dite

L'inoculum, après incubation, est placé dans un fermenteur de 3 litres équipé de tous les accessoires nécessaires. Ce fermenteur est rempli aux deux tiers de moût de dattes, enrichi en phosphate d'ammonium à une concentration de 0.5 à 2.5 g/l. La fermentation se déroule sans oxygène (en anaérobiose) à une température de 30 à 32°C et dure 72 heures.

2.4 Méthodes analytiques

2.5.1 Quantité de biomasse et dosage des sucres résiduaire

Centrifugation : 100 ml de milieu de fermentation sont centrifugés à 3500 tours/minute pendant 15 minutes.

Lavage : Le culot est lavé deux fois avec de l'eau distillée stérilisée, puis centrifugé après chaque lavage.

Pesée de la biomasse : Le culot est pesé pour obtenir le poids de la biomasse en matière fraîche, puis séché à 45 °C jusqu'à atteindre un poids constant pour déterminer le poids de la biomasse en matière sèche.

Dosage des sucres : Les sucres résiduaire sont mesurés dans le surnageant en utilisant la méthode de Bertrand.

2.5.2 Degré alcoolique

Utilisation de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) pour déterminer la teneur en éthanol. Des mélanges avec des pourcentages d'éthanol de 3 à 21 % sont préparés, avec ajout de 1 ml de propan-1-ol. Après injection de 0,3 µl de chaque mélange, une courbe d'étalonnage est tracée pour mesurer l'éthanol dans le vin.

2.5.3 Rendement de métabolisation

Calculé comme le rapport entre la teneur en alcool et la quantité de sucre consommée par les levures.

Article 03 : Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol (Boulal et al , 2010)

3.1 Matière végétale

Les variétés choisies sont communes : Hmira, Tinacer ,Kaciene.

3.2 Matériel biologique

La levure de boulangerie sèche *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée pour la production d'éthanol.

3.3 Dispositifs utilisés pour la fermentation alcoolique

- Bain Marie
- Bioréacteur

3.4 Préparation du moût de dattes

- ♣ Lavage des dattes.
- ♣ Imbibition avec de l'eau chaude entre 90 et 95 °C.
- ♣ Broyage : Après le dénoyautage, les pulpes de dattes sont broyées.
- ♣ Dilution : par L'eau d'imbibition, qui est riche en sucre, à une proportion de 200 g de pulpes pour 800 ml d'eau.
- ♣ Ajustement du pH : est ajusté entre 4.3 et 4.7 par de l'acide sulfurique H₂SO₄, 1N

3.5 Le processus de fermentation alcoolique

L'ensemencement d'un milieu avec la levure *Saccharomyces cerevisiae* à une concentration de 1 g/l. Dans une température de 30 ± 2 °C dans un bain-marie.

La fermentation anaérobique se déroule et dure 72 heures , avec dégagement de CO₂ par l'agitation .

Des échantillons sont prélevés toutes les 24 heures pour des analyses physico-chimiques et pour vérifier la présence de l'odeur d'alcool dans le moût. Après 72 heures, la fermentation est interrompue.

Cette opération a été répétée trois fois pour chaque variété de dattes afin d'obtenir des valeurs moyennes fiables.

Les paramètres suivis pendant la fermentation incluent:

- ♣ L'acidité du moût mesurée par pH-mètre.
- ♣ Le taux de glucose.

- ♣ L'évolution de la couleur et de l'odeur du moût.
- ♣ Le degré alcoolique.
- ♣ La densité du milieu réactionnel;
- ♣ La quantité de cendre produite.

3.6 Distillation alcoolique

Afin d'extraire l'éthanol le vin de dattes obtenu est distillé dans une température de 78°C .

3.7 Techniques analytiques

3.7.1 Détermination du pH

S'effectue par une lecture directe à l'aide d'unpH-mètre (Marque Hanna).

3.7.2 Détermination de la densité

Déterminée par un pycnomètre de capacité 10 cm³.

3.7.3 Détermination du taux de cendres

Un étuvage à 105 °C pendant 24 heures, suivi d'une calcination à 600 °C pendant 2 heures.

3.7.4 Dosage des sucres réducteurs

En utilise la méthode de titrimétrie avec la liqueur de Fehling.

3.7.5 Dosage de l'alcool

Le jus alcoolisé a été distillé à la température ambiante durant la fermentation aréométrique et , le degré du distillat mesuré par un alcoomètre (gradué de 0 à 100°).

Article 4 : étude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (degla beida, tacherwit et hamraya) réparties dans les différentes classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (sahara septentrional est algérien) (Ouled el hadj et al ,2012)

4.1 Matériel végétal

Les variétés choisies sont: Degla Beida, Techerwit et Hamraya.

4.2 Matériel biologique

La levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae* nommée «VDH2».

4.3 Préparation du moût de datte

Les dattes sont lavé ,égoutté , séché, dénoyauté et les broyé .

Elles sont ensuite diluées avec de l'eau distillée chaude à 70°C dans un ratio de 1 kg de pulpe pour 4 litres d'eau. Cette méthode favorise l'extraction des sucres et l'utilisation complète des pulpes. Pour améliorer le milieu, les moûts sont enrichis avec les sels suivants:

Sulfate de magnésium : 0,2 g/l phosphate daïmonique : 0,5 g/l sulfate d'ammonium : 0,5 g/l ;Urée : 1 g/l

Le pH est ajusté entre 4,3 et 4,5 avec de l'acide sulfurique .

4.4 Préparation de l'inoculum

Une souche de levure, conservée sur un milieu gélosé incliné, doit être réactivée dans un milieu de pré culture qui est identique au milieu de culture utilisé pour la fermentation. Pour ce faire, on prélève une quantité de levure avec une anse stérile, puis on l'ensemence dans un erlenmeyer d'un litre contenant 300 ml de moût. Cette pré culture est maintenue pendant 18 heures à une température de 30±2°C, conditions similaires à celles de la fermentation.

4.5 Fermentation

La culture est stérilisée par tyndallisation, puis inoculée avec 250 ml de pré culture pour 4 litres de moût. La fermentation se déroule à 30±2°C dans un fermenteur de 4,5 litres, avec agitation magnétique, en anaérobiose pendant 72 heures. Le remontage aère le moût, favorisant la croissance de la levure. En aérobie, une molécule de glucose produit 18 ATP, contre 2 ATP pour l'éthanol en anaérobiose. Des échantillons de 300 ml sont prélevés toutes les 24 heures pour analyser la biomasse, les sucres, l'alcool et le pH.

4.6 Conduite de la culture

La culture est stérilisée par tyndallisation, puis inoculée avec 250 ml de pré culture pour 4 litres de moût. La fermentation se déroule à 30±2°C dans un fermenteur de 4,5 litres, avec agitation magnétique, en anaérobiose pendant 72 heures. Le remontage aère le moût, favorisant la croissance de la levure. En aérobie, une molécule de glucose produit 18 ATP, contre 2 ATP pour l'éthanol en anaérobiose. Des échantillons de 300 ml sont prélevés toutes les 24 heures pour analyser la biomasse, les sucres, l'alcool et le pH.

4.7 Détermination de la biomasse

Suivie par comptage hématimétrique (cellule de Malassez) de la population microbienne sous microscope (grossissement x 10) .

4.8 Techniques analytiques

4.8.1 Dosage des sucres dans les moûts

- Sucres réducteurs.

Les sucres réducteurs sont quantifiés par titrimétrie avec la liqueur de Fehling. La méthode implique la réaction d'un excès de solution cupro-alcaline avec les sucres, qui sont ensuite séparés par décantation de l'oxyde cuivreux. Ces derniers sont traités avec une solution de sulfate ferrique et la titration est réalisée avec du permanganate de potassium à 0,1 N.

- Sucres totaux

Après hydrolyse acide à l'aide de l'acide chlorhydrique concentré pendant 12 minutes au bain-Marie à 70°C, le dosage des sucres est effectué par la méthode de Bertrand.

- Saccharose

Après le dosage des sucres totaux, le taux de saccharose est déduit suivant la formule:

$$\text{Saccharose} = (\text{sucres totaux} - \text{sucres réducteurs}) \times 0,95$$

4.8.2 Dosage de l'alcool brut

par aérométrie. La méthode consiste à distiller le jus alcoolisé puis à mesurer la densité du distillat à l'aide d'un alcoomètre à la température ambiante .

4.8.3 Détermination du pH

La détermination du pH s'effectue par une lecture directe à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné.

4.8.4 Dosage des protéines des moûts

La teneur en azote total du moût est déterminée par la méthode de Kjeldahl.

4.8.5 Détermination des cendres des moûts

Les cendres totales sont déterminées par incinération. Un étuvage à 105°C pendant 24 heures des échantillons, est suivi par une calcination au four à moufle (1 heure à 600°C environ).

Article 05 : Optimisation de l'extraction des jus de sous-produits de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) et valorisation par production de bioéthanol (Chniti et al , 2014)

5.1 Matériel végétale

Déchets de dattes Deglet-nour variété tunisienne répandue sont récupérés après triage et conservés à 4 °C.

5.2 L'extraction du jus de dattes

les dattes lavées et dénoyautées sont coupées en morceaux de 0.5 à 1 cm et mélangées à l'eau selon des ratios définis. Le mélange est ensuite chauffé dans un bain-marie agitateur pour une durée prédéterminée, filtré et conservé pour des analyses ultérieures.

5.3 Microorganismes et mode de conservation

Les souches de *Saccharomyces cerevisiae* 522D, *Zygosaccharomyces rouxii* IP 2021.92 et *Candida pelliculosa* IP 820.63 sont conservées à 4 °C sur gélose inclinée. Pour la gélose de Sabouraud, on utilise par litre : 10 g de peptone, 10 g d'extrait de levure, 20 g de glucose, 15 g d'agar-agar dans de l'eau osmosée. Pour une conservation à long terme, les souches sont cultivées en milieu liquide Sabouraud, mélangées avec du glycérol pour obtenir une suspension à 25 % de glycérol, puis congelées à -20 °C dans des tubes stériles de 1 ml.

5.3.1 Milieux de culture

Pour la préparation du milieu de fermentation pour la production d'éthanol, le sirop de datte est dilué à 17.4°Brix ou 35.8°Brix, centrifugé à 5000 rpm pendant 30 min pour éliminer les débris cellulotiques. Le surnageant est ensuite utilisé comme source de carbone. Le milieu est stérilisé à 120 °C pendant 20 min après ajout de sels minéraux.

5.4 Le processus de fermentation

Est effectué en dupliquant les pré-cultures de levures dans des flacons de 500 ml avec 300 ml de volume utile , fermés par des bouchons à vis. La fermentation se déroule à 28°C et sous agitation à 180 rpm dans un shaker (New Brunswick, Innova 40, USA).

Le suivi de la fermentation se fait par prélèvements de 5 ml à des intervalles spécifiques (0, 18, 24, 48, 66, 72 heures). Les concentrations de glucose, fructose, saccharose, éthanol et glycérol sont mesurées par HPLC.

La concentration en NH_4Cl est également déterminée pendant la fermentation.

Article 06 : production of bioéthanol from varieties of dates of poor quality (Ousif khaled et al, 2014)

6.1 Matériel végétale

Le choix des variétés :les quatre variétés suivantes ont été choisies : Ghars, Tinissine, Taquermeste et Boucheire. pour deux raisons: Leur abondance et leur disponibilité en quantités considérables dans la région d'El Oued.

6.2 Analyse physique

- La consistance : au toucher
- La couleur a été appréciée visuellement;
- Les poids sont déterminés directement à l'aide d'une balance analytique.
- La taille est déterminée à l'aide d'un calibre à vernier;

6.3 Analyse chimique

6.3.1 Détermination des sucres totaux

Un milieu acide permet l'hydrolyse du saccharose en sucres réducteurs, l'analyse est plus aisée (la détermination des sucres réducteurs). Le résultat obtenu représente la quantité de sucres réducteurs déjà présents ainsi que les sucres obtenus par hydrolyse du saccharose, nous pouvons donc connaître la quantité de sucres totaux (Audigie et al., 1983).

6.3.2 Détermination des sucres réducteurs

Par la méthode du phénol / acide sulfurique : Les glucides en milieu acide sulfurique et à chaud sont déshydratés en dérivés du furfural qui se combinent facilement avec le phénol et donnent une couleur rose saumon . L'absorbance est lue à une longueur d'onde de 490 nm. La couleur est permanente (Dobois et al., 1956 ; Audigie et al., 1983).

6.3.3 Teneur en saccharose

Est obtenue par la différence entre la teneur en sucres totaux et la teneur en sucres réducteurs présents dans l'échantillon.

6.3.4 La production d'éthanol par fermentation des dattes

- La production d'éthanol à partir de dattes repose sur les étapes suivantes :
- La préparation du moût de dattes,
- Le processus de fermentation alcoolique,
- La distillation et la rectification.

6.4 Préparation du moût

Le moût est un liquide sucré extrait des dattes préparées qui doivent être lavées pour éliminer la poussière et réduire leur charge microbienne, puis elles sont dénoyautées.

Ensuite, font la macération de dattes dans de l'eau chaude à 70-80°C.

La quantité est 1000 g de dattes dénoyautées pour chaque 3000 ml d'eau distillée avec un brassage continu du mélange pendant 5 heures pour éviter la sédimentation des dattes et maintenir l'homogénéité du mélange en tout point.

Enfin, la filtration du solution à travers un tissu de fibres pour la séparation des déchets du moût .

6.5 Processus de fermentation alcoolique

Le moût utilisé pour la fermentation anaérobie avec la levure de boulanger *Saccharomyces cerevisiae* développée dans un milieu enrichi en sels inorganiques (sulfate d'ammonium, phosphate d'ammonium).

- Le moût et la levure sont mis dans le fermenteur. À une température constante 32°C,
- Le fermenteur est immergé dans un bain d'eau, avec un ph ajusté entre 4,2 et 5,4 .
- La quantité de levure utilisée est de 3 g pour 3 L de moût, la fermentation dure 72 heures.

6.6 Distillation et rectification

À la fin de la fermentation . Pour extraire l'éthanol, le vin filtré est distillé à une température d'environ 79°C pour La rectification de l'alcool brut font une seconde distillation de l'ordre de 78°C a été faite avec un montage simple.

Article 07 : Etude du pouvoir fermentaire de levures isolées naturellement à partir des dattes au sud d'Algérie (application à la fermentation de deux variétés de dattes communes de faible valeur marchande) (Boulal et *al* , 2016)

7.1 Fermentation et isolement des souches

des dattes (1kg) ont été collectées aseptiquement et conservées à 4°C avant d'être transportées au laboratoire pour analyse.

Le jus extrait est fermenté à 20°C dans des contenants de 500 ml, avec agitation à 20 tr/min. La fermentation est suivie par la mesure de la perte de masse, et une fois une réduction de 70 g/L de sucre atteinte, les échantillons sont dilués et ensemencés sur des milieux Sabouraud avec Gentamicine pour inhiber les bactéries. L'incubation se fait à 30°C pour 24 à 72 heures.

7.2 Purification des souches de levure

La purification des souches de levure implique leur culture sur milieu Sabouraud et la répétition des stries pour obtenir des colonies pures.

7.2.1 Conservation

Pour la conservation, les souches sont cultivées sur gélose GDP ou GM , incubées 3-5 jours puis stockées à 4°C.

7.3 Préparation de moût et de la fermentation alcoolique

En fermentation, deux variétés de dattes, Hmira et Tinaceur, sont choisies pour leur disponibilité, teneur en sucre et faible coût. La variété retenue Mech-Degla, commune dans le Sud-Est, est utilisée pour sa richesse en sucre.

Le processus de fermentation décrit pour la production de bioéthanol à partir de déchets de dattes comprend plusieurs étapes clés et analyses physico-chimiques pour assurer le suivi et l'efficacité de la fermentation.

7.4 Étapes de Fermentation

.1Préparation des Levures : Les souches de levure *Saccharomyces cerevisiae* sont cultivées dans un milieu enrichi en sucre pendant 24 heures à 25°C.

.2Préparation du Moût : Les dattes des variétés Hmira et Tinaceur sont préparées et stérilisées à 110°C pendant 20 minutes. Ensuite, 9 ml de suspension de levure sont ajoutés à chaque flacon, qui est placé dans un bain-marie à 30°C avec agitation.

7.5 de la Fermentation

-Des échantillons sont prélevés toutes les 24 heures pour des analyses physico-chimiques.

-La fermentation est arrêtée après 72 heures.

-L'opération est répétée trois fois pour chaque variété de dattes pour obtenir des valeurs moyennes fiables.

7.6 Analyses Physico-Chimiques:

pH : Mesuré selon la méthode AFNOR, basée sur la différence de potentiel entre deux électrodes.

-Sucres Totaux : Quantifiés pour évaluer la consommation de sucre par les levures.

-Densité : Mesurée avec un densimètre Fisher à 2g/cm³ à 20°C.

-TSS : Le total des solides solubles est mesuré avec un réfractomètre.

Degré Alcoolique : Déterminé pour évaluer la quantité d'alcool produite.

Ce protocole permet de contrôler avec précision le processus de fermentation et d'assurer une conversion efficace des sucres en éthanol.

Article 08 :Production du bioéthanol a partir de Rebut de deux variétés de dattes (deglet-nour et -hamraya)(El-hadi et *al*, 2016)

8.1 Matériel végétale

Dattes de deux variétés: deglet nour et hamraya

8.2 Matériel Biologique

Le levure *S. cerevisiae*

8.3 Préparation du mout

Les dattes passent à les étapes:

Lavage, dénoyautage, égouttage, séchage, broyage, hydratation, filtration, stérilisation.

8.4 Analyses effectuées

A-teneur en eau: par dessiccation de broyat des dattes.

B-pH, lecture direct par pH-mètre.

C-Acidité titrable du broyat de dattes dissent dans l'eau.

D-Taux de cendres : en broyant la pulpe de dattes dans un four à moffle.

E-Teneur en sucres réducteur +en sucres totaux et en saccharose: par rapport à la matière fraîche.

8.5 Mise en œuvre de la fermentation alcoolique

Réalisé par la levure *S. cerevisiae* (1g/l) dans un ballon tricol de 1l rempli au 3/4 de scapassiez et plonge dans un bain massée $T=30^{\circ}\text{C}+_{-2}$.

Fermentation anaérobique durant 72h +agitation par barreau magnétique de 2,5cm.

Des prélèvement sont fait chaque 24h pour analyse les caractères physico-chimique et l'odeur de l'alcool.

La fermentation à été répété 3fois pour chaque starietes .

8.6 Distillation

Levin est distillée dans température ne dépase par 78°C , pendant 40min 2fois poure l'obtention d'un alcool pur.

8.7 La déshydratation

Par la technique de Tanis moléculaire.

Article 09: Production of Bioethanol from Spoilage Date Fruits by New Osmotolerant Yeasts (Hashem et al , 2017)

9.1 Matériels végétale

Des dattes gâtées des cultivars Arihy et Nabt Ali ont été utilisées pour créer un jus destiné à la fermentation .

9.2 Isolement de souches et identification génétique

Trois souches de levures, *Hanseniaspora uvarum* KKUY-0078, *H. opuntiae* KKUY-0152 et *Pichia kudriavzevii* KKUY-0034, ont été isolées et identifiées génétiquement comme les plus efficaces pour fermenter ce jus. L'ADN a été extrait, amplifié, purifié et séquencé pour confirmer l'identification des souches.

9.3 Production primaire d'éthanol

Les souches de levure sélectionnées ont été évaluées pour la production d'éthanol selon Hashem et *al.*, (2014).

9.4 Estimation quantitative d'éthanol et de glucose

Les concentrations ont été déterminées par des kits enzymatiques (K620-100 pour l'éthanol, K606-100 pour le glucose)

9.5 Effet de la température

La production d'éthanol par les levures a été testée à 25, 30 et 35°C dans du jus de datte à 20%, avec un pH de 4,5 et une agitation de 150 rpm pendant 72 h.

9.6 Effet du pH

L'impact de différents niveaux de pH (4 à 8) a été étudié sur la production d'éthanol à 30°C, avec une agitation de 150 rpm pendant 72 h, ajustant le pH avec HCl ou NaOH.

9.7 Effet de la période de fermentation

Les levures ont été cultivées dans du jus de datte à 20% à 30°C et 150 rpm pour des périodes de 24 à 96 h, avec un pH initial de 4, et l'éthanol mesuré à la fin de chaque période.

9.8 Effet de la concentration en sucre

Trois levures ont été cultivées dans différentes concentrations de JDP (10, 15, 20 et 25%) et incubées à 30°C et 150 rpm pendant 72 heures. Le pH a été ajusté à 4 avant l'inoculation. La concentration d'éthanol a été mesurée à la fin de la période de fermentation.

9.9 de l'ajout de métaux

Différents métaux (Zn, Mn, Co, Mg) ont été ajoutés séparément au milieu de culture des levures (20 % de JDP). La fermentation a été réalisée à 150 rpm, 30°C et pH 4 pendant 72 heures. La concentration d'éthanol a été mesurée à la fin. Des concentrations différentes de Mn et Mg, jugés les plus efficaces, ont été testées dans une autre série d'expériences.

9.10 Effet des sources d'azote

Différentes sources d'azote disponibles (extrait de levure, extrait de malt, tryptone, nitrate d'ammonium et phosphate d'ammonium dihydrogène) ont été ajoutées séparément au milieu de culture des levures (20 % de JDP). La fermentation a été réalisée à 150 rpm, 30°C et pH 4 pendant 72 heures. La concentration d'éthanol a été mesurée à la fin. Différentes concentrations de phosphate d'ammonium dihydrogène, la source d'azote la plus efficace, ont été testées dans une autre série d'expériences.

9.11 Test pilote

La fermentation a été réalisée dans un fermenteur BioFlo/CelliGen 115 avec tous les contrôles nécessaires. Le réacteur avait une capacité de 7 L et un volume de travail de 3 L. Après stérilisation, le milieu stérilisé contenant l'inoculum a été transféré dans le fermenteur. La culture de départ a été cultivée à 25°C pendant 24 heures. La température de fermentation a été maintenue à $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et le pH à 4,5. La vitesse de l'agitateur a été maintenue constante à 200 rpm. Le réacteur a été maintenu en conditions anaérobies. Des échantillons ont été prélevés pour surveiller les concentrations d'éthanol.

9.12 Analyse statistique

Toutes les expériences ont été répétées deux fois. Les données ont été analysées par ANOVA et les différences significatives entre les traitements ont été déterminées selon la méthode DMS à :

$$P < 0,05$$

Article 10 : Mise en valeur des dérivés de dattes de la région d'Oued Souf pour la production de bioéthanol (Oucif khaled , 2017)

10.1 Préparation du moût

Les dattes sont lavées, dénoyautées, puis macérées dans l'eau chaude à 70-80°C avec agitation pour obtenir le moût. Après 5 heures, le mélange est filtré pour séparer les fibres.

10.2 Fermentation alcoolique

Le moût est fermenté anaérobiquement avec la levure *Saccharomyces cerevisiae* enrichie en sels minéraux. La température est maintenue à 32°C et le pH entre 4.2 et 5.4, avec 3g de levure pour 3L de moût pendant 72 heures.

10.3 Distillation et rectification

Le vin de dattes issu de la fermentation est filtré puis distillé à 79°C, suivi d'une rectification à 78°C pour obtenir de l'alcool à 95°. Une déshydratation supplémentaire est nécessaire pour une pureté accrue.

10.4 Analyse du Bioéthanol

10.4.1 Degré d'alcool

Mesuré avec un alcoomètre 'Al-Ambik®', fonctionnant sur le principe d'Archimède.

10.4.2 Indice de réfraction

Évalué avec un réfractomètre Abbe Model 2WAJ.

10.4.3 Inflammabilité

Testée en approchant une flamme du bioéthanol.

10.4.4 Modélisation du Rendement en Bioéthanol

-Utilisation de l'extension XLSTAT sur Excel pour sélectionner l'équation de modélisation à partir de 25 essais d'optimisation.

-Développement d'un programme en Fortran pour calculer le rendement en introduisant les paramètres de fermentation.

Article 11: La bio-production de l'éthanol à partir de déchets de dattes : effet de l'incorporation des cendres du noyau de deglet–nour sur le rendement

(CHIBI et al .,2018)

11.1 Matériel végétal

Trios variétés de déchets de datte : Degla-Beida, Kentichi et Hamraya

11.2 Matériel biologique

La souche de *Saccharomyces cerevisiae* peu sensible à l'éthanol, a été inoculée dans le moût à 3×10^6 CFU/ml et conservée sur gélose LB à 4°C. Des repiquages mensuels ont été réalisés pour maintenir la vitalité de la levure.

11.3 Préparation et caractérisation de jus de dattes

Le jus de dattes est préparé par trempage à 65°C pendant 2 heures avec des dattes Kentichi, Hamraya et Degla-Beida. Après nettoyage et découpe, on ajoute 3 litres d'eau

distillée par kg de dattes. Le mélange est agité et chauffé au bain-marie, puis centrifugé à 5000 tours/min pour 30 minutes pour éliminer les débris. Le surnageant est ensuite stérilisé à 120°C pour 20 minutes et utilisé pour la production d'éthanol.

11.4 de cendres de noyaux de dattes de deglet nour

Les noyaux de dattes Deglet-Nour sont nettoyés, macérés, rincés et séchés. Ils sont ensuite broyés et incinérés à 900°C jusqu'à élimination totale de la matière organique, pour obtenir des cendres fines.

11.5 Mise en évidence du pouvoir fermentaire de la souche sélectionnée

La préparation de l'inoculum pour la fermentation alcoolique avec *S. cerevisiae* comprend trois étapes de 24 heures : réactivation dans le milieu YEPD, transfert dans un erlenmeyer avec incubation à 30°C et agitation, puis ensemencement du milieu d'étude à 3×10^6 UFC/ml.

11.6 Préparation de l'inoculum

11.6.1 Culture en mode Batch

La fermentation batch est effectuée dans des erlenmeyers de 1L avec 300mL de milieu, inoculés avec une pré-culture (3×10^6 UFC/ml). Les conditions sont : agitation à 250 rpm, température de 30°C, et pH 4,5 ajusté avec du jus de citron. Le CO₂ est évacué par des tuyaux plongés dans l'eau. Pour chaque variété de dattes, trois expériences sont menées pour suivre la fermentation jusqu'à épuisement des sucres ou arrêt de la fermentation, avec trois prélèvements quotidiens pour contrôler la croissance de la levure.

11.7 Les analyses physico-chimiques

Ont été effectuées sur le broyat de datte incluent la mesure du pH, la détermination de la teneur en eau par dessiccation à 103°C, l'évaluation de la teneur en cendres après calcination à 550°C, et l'analyse des sucres totaux et réducteurs. Le titrage de l'acidité utilise du NaOH 0,1N avec phénolphtaléine, et la teneur en azote est mesurée par la méthode de Kjeldahl. Enfin, l'analyse XRF sert à identifier les éléments minéraux dans les sirops de dattes et les cendres de noyau de Deglet-Nour.

11.8 Analyses de l'éthanol

Pour l'analyse de l'éthanol, la chromatographie en phase gazeuse (CPG) est utilisée. Des solutions étalons d'éthanol sont préparées avec différentes concentrations et du dioxanne

comme référence. Après agitation, elles sont analysées par CPG. Le rapport des aires de pics entre l'éthanol et le dioxine permet de créer une droite d'étalonnage pour déterminer la concentration d'éthanol dans les échantillons.

Article 12 : Valorisation de déchets de dattes tunisiennes : production de bioéthanol

(Chniti et al., 2020)

12.1 Matériel végétale

Le déchet de dattes (Deglet-Nour) les fruits utilisés sont des déchets de triage (fruits avec défauts de texture, fruits très humides, fruits altérés par les microorganismes et les insectes) sont conservés à 4°C avant d'extraire le jus.

12.2 Caractéristiques physico-chimiques

12.2.1 Teneur en eau

Déterminez la teneur en eau en séchant 2 grammes de pulpe ou de sirop à 105°C jusqu'à obtenir un poids constant.

12.2.2 Taux de protéine

Utilisez la méthode de Lowry et al, 1951 pour déterminer le taux de protéines.

12.2.3 Taux de matière grasse

Effectuez une extraction au soxhlet avec un solvant organique (comme l'oxane) pour mesurer le taux de matière grasse.

12.2.4 Taux de cendres

Une quantité de substrat a été détruite (pulpe ou sirop) à 550°C.

La cendre obtenue a été traitée à l'acide nitrique concentré.

Les éléments suivants ont été analysés par spectroscopie d'absorption atomique (type Nova400)

Calcium (Ca); Magnésium (Mg) ; Fer (Fe) ; Zinc (Zn)

12.2.5 Taux de Sodium (Na) et de Potassium (K)

- Utilisez un photomètre à flamme (type Scherwood 410) pour mesurer les taux de sodium et de potassium.

12.3 Le microorganisme et mode de conservation :

La levure *Saccharomyces cerevisiae* 522D, commercialisée par l'Institut Pasteur en France, est utilisée dans cette étude. Elle est conservée à 4°C sur un milieu incliné de gélose de Sabouraud. La composition de ce milieu pour 1 litre est:

-Peptone : 10 g; Extrait de levure : 10 g ;Glucose : 20 g Agar-agar : 15 g

Eau osmosée (MILLIPORE) : jusqu'à 1000 ml

Pour une conservation à long terme, les souches sont maintenues dans un milieu contenant du glycérol .

- Milieux synthétiques : Composés de glucose, fructose et saccharose, similaires au sirop de dattes.
- Milieux à base de déchets de dattes : Utilisent l'extrait de jus de la variété de datte tunisienne « Deglet-Nour », traité et concentré.

Préparation : Les dattes sont lavées, dénoyautées, coupées, mélangées avec de l'eau, chauffées, filtrées et concentrées.

Stérilisation : Le moût est dilué, centrifugé pour éliminer les débris, et stérilisé avec des sels minéraux.

Enrichissement post-stérilisation : Ajout de NH₄Cl (10 mM) et ajustement du pH à 6 avec KOH 1M.

12.4 Cultures

Les fermentations sont dupliquées dans des flacons de 500 ml fermés par des bouchons à vis, contenant 300 ml de milieu, à 28°C sous agitation (180 rpm), dans un Shaker (Brunswik, Innova 40). Les différents milieux de cultures sont inoculés selon le protocole de Djelal et al 2005 .

12.5 Techniques analytiques

Le suivi de la fermentation est réalisé en effectuant des prélèvements de 5 ml à 0h, 18h, 24h, 48h, 66h et 72h de culture. Le dosage des sucres et des métabolites est effectué par HPLC selon la méthode décrite par Djelal et al 2005 , afin de quantifier les concentrations en glucose, fructose, saccharose et autres métabolites tels que l'éthanol, l'acide acétique et le

glycérol excrétés au cours des cultures. La concentration en NH₄Cl dans les milieux au cours de la fermentation a été déterminée par une réaction colorimétrique développée par Mann.

12.6 Evaluation de la fermentation

12.6.1 Equivalent glucose

Les sucres totaux sont exprimés en équivalents glucose, calculés comme la somme de glucose, fructose et 1,05 fois le saccharose.

- Le °Brix des milieux à base de sirop de dattes est mesuré à l'aide d'un réfractomètre manuel (ZUZI) avec une précision de 0,2 °Brix.

12.6.2 Efficacité de la fermentation

- Pendant la fermentation alcoolique, les sucres fermentescibles présents dans le grain sont convertis en éthanol (alcool éthylique) et en dioxyde de carbone par l'action des microorganismes, principalement des levures.

Une mole de glucose serait convertie par la levure en deux moles d'éthanol et deux moles de CO₂.

- L'efficacité de la fermentation est évaluée en fonction du rendement de production d'éthanol (g.g⁻¹) et du taux de conversion TC EtOH, qui représente le rapport entre l'éthanol produit et l'éthanol théorique qui aurait dû être produit.

- La formule pour le taux de conversion est donnée par:

$$TC \text{ et } OH = \frac{\text{Ethanol produit (g)}}{\text{Ethanol théorique (g)}} \times 100$$

Article 13: production of bioethanol from a local natural resource (Edjekouane et al .,2020)

13.1 Matériel végétal

Dans le cadre de cette étude, un substrat a été collecté à l'Université d'Adrar durant novembre-décembre 2019,

13.2 Analyses

Trié par maturité et conservé à 4 °C. Les analyses ont permis de déterminer le pH, la teneur en matière sèche, en cendres et en matière organique. Le pH a été mesuré avec un pH-

mètre et la matière sèche selon la norme AFNOR NF U 44-171, avec séchage à 105 °C pendant 24 h. L'ajustement du pH s'est fait avec H₂SO₄ et NaOH, tous deux à 0,1N.

13.3 La procédure expérimentale pour la production de bioéthanol

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée dans un milieu synthétique avec sucre pour l'inoculation. Deux méthodes préparent le jus de substrat : l'une avec mixeur pour un moût riche en pulpe, l'autre pour extraire les sucres sans putting. Après préparation, le moût à 100 g/l est inoculé et acidifié pour atteindre un pH optimal pour la levure. La fermentation se déroule ensuite en anaérobie pendant 72 heures à 30 °C. Finalement, le bioéthanol est extrait par distillation du moût à 78,5 °C.

Article 14 : Efficient utilization of date palm waste for the bioethanol production through *Saccharomyces cerevisiae* strain (Arslan et al ., 2021)

14.1 Collecte et préparation des échantillons

L'échantillon de palmier dattier cv. Dhakki a été collecté à la Sous-station de recherche sur les palmiers dattiers, Jhang, Pakistan .

14.2 La détermination de la composition proximale

Des dattes a été réalisée par la spectroscopie dans le proche infrarouge (SPI). Pour le but d analyser la teneur en eau, les cendres, la matière grasse brute, l'amidon, les protéines et les fibres,

On utilisant de 250 g de dattes et les séché et broyé à l'aide d'un moulin électrique pour transférer les fruits a une poudre fine, ensuite ,l'échantillon a été disposé dans un plateau et soumis à l'analyse SPI.

14.3 Milieu de production d'éthanol

Les échantillons de déchets de fruits ont été lavés et rincés à l'eau .

Ensuite, le dénoyautage a été effectué pour séparer les graines de la pulpe, et le broyage et la dilution ont été réalisés en ajoutant de l'eau distillée .

En assure que le pH= 4 par l'ajoute d1 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄).

La levure *S. cerevisiae* a été utilisé dans le processus de fermentation des dattes a cause de son coût modique, de sa productivité et de sa tolérance .

14.3.1 Préparation du milieu

Pour la croissance de *S. Cerevisiae*, peptone Bacto et le d-glucose (ELPD) sont utilisés et contiennent de l'eau distillée.

En utilisant de l'extrait de levure Bacto (10 g/L), du peptone Bacto (20 g/L) et du d-glucose (20 g/L) et *S. cerevisiae* (2 g/l) la préparation du milieu

- ✚ L'eau distillée : 900 ml
- ✚ Source nutritive de la cellule de levure : l'extrait de levure:(10 g).
- ✚ Source d'azote pour la levure :peptone (20 g) .

Sont mettre dans une bouteille de réactif de 1 L qui a le col scellé avec du papier d'aluminium et du coton ;

Ensuite, autoclave la solution (121°C) et Le refroidisse après l'ajout de 100 ml de glucose stérilisé.

Après l'inoculation des milieux ELPD, la solution a été conservée dans un incubateur agitant pendant 24 heures, à 120 rpm et à 30°

Différentes concentrations d'inoculum ont ensuite été ajoutées au substrat de dattier, allant de 5% à 50%.

la conservation des échantillons été fait dans un incubateur pendant 5 jours à 30°C. Enfin, les échantillons ont été traités dans un évaporateur rotatif à 115 rpm et 78°C, et la valeur de chaque inoculum a été mesurée à l'aide d'un alcoomètre .

14.3.2 La concentration de l'inoculum de *S . cerevisiae*

A été réalisée en utilisant des milieux ELPD et diluée à différents volumes pour obtenir diverses concentrations d'inoculum telles que 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 %, 40 %, 45 % et 50 % .

14.4 Test de conformation de la présence de l'éthanol

Indiquée par le changement de couleur de l'échantillon lorsqu'il a été soumis à différents réactifs chimiques.

Un alcoomètre est utilisé pour déterminer la concentration d'alcool dans le liquide donné à une température spécifique, la température à laquelle l'alcoomètre a donné les meilleures lectures était de 15 à 20°C.

L'alcool qui a été préparé en laboratoire ainsi que distillé par évaporateur rotatif a donné une lecture de 80% par alcoomètre .

14.5 Évaluation du groupe fonctionnel de l'éthanol

L'évaluation du groupe fonctionnel a été déterminée par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).

14.6 Analyse statistique

Les données ont été soumises à un plan randomisé complet avec trois répétitions, et les moyennes ont été comparées à l'aide du test DMS à un niveau de signification de 5 %.

Article 15 : Production du bioéthanol à base de dattes de la variété Teggaza de faible valeur commerciale au Sud-ouest de l'Algérie (Boulal et al , 2023)

15.1 Matériel végétal

De dattes Teggaza (1 kg) a été conservé au sec jusqu'à mars, puis lavé à l'eau du robinet. Pour faciliter l'extraction des noyaux et le broyage, les dattes ont été imbibées dans de l'eau chaude entre 90 et 95 °C.

15.2 Matériel biologique

La levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae*, qui est idéale pour la production d'éthanol, a été utilisée et stockée dans un lieu frais et sec.

15.3 Procédé de production de bioéthanol

15.3.1 La fermentation

Un bioréacteur est utilisé, placé dans un bain-marie maintenu à une température constante de $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Le moût de dattes, avec un pH de 4,3 à 4,7, est fermenté en utilisant la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Cette étape dure 72 heures et s'effectue sous agitation continue pour assurer une fermentation homogène.

15.3.2 Distillation

Après la fermentation, le moût est transféré dans un distillateur à colonne fractionnée. Une étape supplémentaire de rectification est réalisée pour purifier davantage le bioéthanol produit, augmentant ainsi sa qualité et sa concentration.

15.4 Techniques analytiques

15.4.1 pH

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre de type Hanna 210 AOAC, 98, 1.12.

15.4.2 Densité

La densité est définie comme le rapport entre le poids d'un volume donné d'une substance et le poids du même volume d'eau pure, mesurés dans les mêmes conditions de température.

15.4.3 Taux de cendres

Le taux de cendres est obtenu après incinération des échantillons à 105 °C pendant 24 heures, suivie d'une calcination à 600 °C pendant 2 heures.

15.4.4 Sucres réducteurs

Les sucres réducteurs sont mesurés par titrimétrie en utilisant la liqueur de Fehling. La réaction se produit entre un excès de solution cupro-alcaline et les sucres, qui sont ensuite séparés et titrés avec une solution de permanganate de potassium.

15.4.5 Taux d'alcool

Le taux d'alcool produit pendant la fermentation est mesuré par aérométrie, en distillant le jus alcoolisé et en mesurant le degré d'alcool du distillat avec un alcoomètre.

15.4.6 Teneur en protéines

La teneur en protéines est déterminée en utilisant la méthode de Kjeldahl, qui implique la digestion des protéines pour libérer l'azote, qui est ensuite quantifié.

Chapitre 5

Résultats Et Discussions

Chapitre 05 : Résultats et discussions

Article 01

Pendant le processus de fermentation la quantité de sucres présents 25 % est rapidement digérée par la levure dans les premières heures. Après 48 heures, elle disparaît complètement. Pendant ce temps, la matière sèche augmente progressivement pour atteindre sa valeur la plus élevée 7 mm/litre, puis diminue légèrement après 72 heures. Durant cette période, le pH diminue pour se situer entre 3,5 et 4,0. Quant au pourcentage d'alcool, il augmente progressivement pour se stabiliser à 60 % (après distillation) après 72 heures

Article 02

2.1 Culture de la levure boulangère en Fedbatch

La production de biomasse par différentes souches de *Saccharomyces cerevisiae* varie significativement. Les souches STB et SDB sont plus performantes, produisant entre 31.5 et 32.9 g/l de biomasse, surpassant la souche témoin qui produit 30.7 g/l. En revanche, la souche SDN1 est moins efficace, avec seulement 16.3 g/l. Concernant la capacité de fermentation, la souche SDBa a généré le plus de CO₂, avec 1444.0 ml, tandis que la souche SDN1 a produit le moins, avec 752 ml.

2.2 Production d'alcool

La teneur en sucres résiduels diminue progressivement pendant la fermentation, passant à 0.51 % après 72 heures

-La production d'alcool augmente au cours de la fermentation, atteignant 6.2° en 24 heures, 9.9° en 48 heures, et se stabilise à 11.8° après 72 heures.

-Ces niveaux d'alcool sont supérieurs à ceux rapportés dans d'autres études, qui varient entre 8.5° et 10.0°

-Les souches SDB et SHW de *Saccharomyces cerevisiae* produisent des vins avec des teneurs en alcool élevées, allant de 11.75° à 13.2°, comparables ou supérieures à la souche témoin qui produit 12.0°.

-La souche SDB se distingue particulièrement avec un degré alcoolique de 13.2° et un rendement de métabolisation de 76.0 %, surpassant la souche témoin.

Ces résultats suggèrent que la souche SDB pourrait être particulièrement efficace pour la production d'alcool par fermentation

Article 03

La variété Hmira a montré une meilleure croissance et production d'alcool comparée aux variétés Tinaceur et Kaciene, produisant respectivement 22°, 19° et 18° d'alcool.

La quantité d'alcool produite est directement liée à la teneur en sucre des différentes variétés de dattes.

Volatil, inflammable, limpide et possédant une odeur piquante sont les caractéristiques de L'alcool produit au niveau du laboratoire.

La formation de l'alcool cause une diminution du pH pour les trois variétés

La diminution remarquable de la densité pour les trois variétés

Constante de la cendre a une valeur moyenne de 0.05 g pour les trois variétés

Article 04

Après 72 heures, la fermentation dégrade presque tous les sucres, surtout dans les premières 24 heures pour la variété Degla Beida, où plus de 5% des sucres sont convertis. Le temps de fermentation varie selon les sources, mais il est généralement compris entre 36 et 72 heures. La variété Degla Beida produit un alcool plus élevé (9,5°) que les autres variétés (moins de 8,1°). Des concentrations plus élevées de sucres dans les moûts peuvent conduire à des degrés alcooliques plus élevés, allant jusqu'à 15°.

Les taux de conversion en alcool brut des sucres consommés sont de 81,82% pour Degla Beida, 71,30% pour Tacherwit, et 70,90% pour Hamraya, dépassant les résultats antérieurs d'environ 55%. La souche de levure utilisée est plus efficace, et sa capacité à fermenter les sucres même en déclin contribue à ces rendements élevés.

Article 05**5.1 La fermentation alcoolique des sirops de dattes concentrés**

Dans le processus de fermentation alcoolique des sirops de dattes, la levure *Z. rouxii* augmente la production de glycérol de 54% entre deux milieux de culture différents ; *Z. rouxii* peut continuer à produire de l'éthanol, atteignant 55 g/l dans le milieu 2.

5.2 Produits de la fermentation alcoolique des sirops de dattes concentrés

Les résultats indiquent que la capacité de fermentation alcoolique des levures *S. cerevisiae* et *C. pelliculosa* est limitée par leur sensibilité à la pression osmotique élevée due à une forte concentration de substrat. En revanche, la levure *Z. rouxii* montre une meilleure adaptation et croissance dans ces conditions.

Dans un milieu moins sucré, les rendements en éthanol sont respectivement de 38%, 29% et 34% pour *S. cerevisiae*, *Z. rouxii* et *C. pelliculosa*. Cependant, à 36°Brix, seules les levures *Z. rouxii* maintiennent leur production d'éthanol. La levure *Z. rouxii*, en particulier, augmente la production de glycérol

Article06

6.1 Analyses physiques

Tableau 4 : Les caractéristiques physiques des quatre cultivars étudiés (Ousif khaled et al.,2014)

Paramère	Ghars	Tinissine	Taquermeste	Bouchiere
Couleur	Brun	Noir	Noir	Ambre noir
Consistance	Molle	Molle	Molle	Demi-molle
PD (g)	12.68	8.18	12.48	8.27
PP(g)	11.6	6.75	11.25	6.44
RP/D(%)	91.48	82.52	90.14	77.87
PN (g)	1.08	1.43	1.23	1.83
LGD(cm)	4.45	3.7	2.4	3.85
LD (cm)	2	1.55	2.5	1.2

6.2 Analyse chimique

Des niveaux élevés de sucres facilitent la fermentation des moûts de dattes et aident ainsi à obtenir du bioéthanol.

Les dattes de la variété Ghars est plus sucrée avec un contenu total en sucre de 88,52%.

Les autres variétés ont des niveaux de sucres réducteurs proches,

Les variétés Boucheire et Ghars sont riches en saccharose 5,13% et 5,04%. Cependant, les deux autres variétés Tinissine et Taquermeste ont des niveaux de saccharose faibles, de 0,85 à 1,14%.

6.3 Rendement du bioéthanol

Après distillation et rectification, une production d'alcool éthylique en laboratoire avec un rendement de 87%.

Tableau 5 : Rendement de bioéthanol selon la variété(Ousif khaled et al .,2014)

Variété	Ghars	Tinissine	Taquermeste	Bouchiere
VE (ml/kg)	624	242	333	475

La variété de dattes Ghars est largement consommable. Son prix sur le marché algérien est compris entre 50 et 100 DA ou entre 0,47 et 0,95 €.

Le coût par kilogramme de dattes (électricité, réactifs, matières premières, main-d'œuvre, etc.) est de 0,57 €.

Le rendement moyen des trois variétés Tinissine, Taquermeste et Boucheire est de 350 ml d'éthanol par kilogramme de ces variétés.

Le prix de l'éthanol à 95° sur le marché mondial est de 10,6 € (1113 DA) . Ainsi, le prix d'un kilogramme de ces dattes, une fois transformé en bioéthanol, est d'environ 3,71 € au lieu de 0,23 € sans transformation.

Cela signifie un profit d'environ 2,91 € par kilogramme pour cette variété de dattes.

Article 07

La recherche sur les levures isolées des dattes dans le Sahara algérien révèle que ces micro-organismes présentent une bonne résistance aux conditions arides et peuvent se développer dans une large gamme de températures, de 0°C à 45°C. Les colonies de levures, de couleur blanche à crème, sont généralement sphériques ou ovoïdes. Le pH cytoplasmique, essentiel à la survie des levures, varie entre 2,4 et 8,6, avec un pH optimal de 4,4 à 6,5.

7.1 La densité

La densité de la fermentation diminue significativement

7.2 La teneur en sucre total

diminue considérablement, passant de 63.81% à 38.49% pour la souche S1, à 34.77% pour la souche S2, et à 30.44% pour la souche S3. Pour la souche T, cette teneur chute à environ 17.05%

Cette bioconversion est particulièrement active durant les premières 48 heures de traitement pour toutes les souches étudiées.

On observe une augmentation de la biomasse et une assimilation efficace des sucres par les souches pendant cette période.

En bref, les résultats indiquent que la souche S3 est la plus efficace pour dégrader les sucres, ce qui est crucial pour la production de bioéthanol à partir de déchets de dattes. La phase initiale de 48 heures est déterminante pour la bioconversion des sucres en biomasse et en produits finaux comme l'éthanol.

L'étude indique que la souche S3 a une meilleure capacité fermentaire que les souches S1 et S2, et surtout par rapport à la souche T. Les levures isolées semblent moins efficaces, mais elles maintiennent la fermentation des sucres même en déclin, ce qui améliore le rendement.

Article 08

Le bioéthanol issu des dattes Ghars atteint un degré d'alcool de 95°, conforme aux normes, avec un indice de réfraction de 1.360, proche de l'éthanol commercial. La production est économiquement viable : coûtant 0.57€ par kg de dattes, elle génère un bioéthanol vendu 3.71€ sur le marché mondial, soit un bénéfice net de 2.91€ par kg. Cette valorisation transforme le prix initial de 0.23€ pour les variétés Tinissine, Taquermeste et Boucheire en un produit plus rentable grâce à sa conversion en bioéthanol.

8.1 Effet de la température

La régulation de la température est essentielle dans la production de bioéthanol par fermentation, un processus qui libère 23,4 kcal/mole de sucre. Les rendements les plus élevés sont obtenus entre 30 et 32°C. Des températures supérieures à 35°C nuisent au métabolisme des levures et réduisent la production d'éthanol, tandis que des températures inférieures ralentissent leur croissance et prolongent la durée de fermentation.

Ces observations sont soutenues par des études sur différentes souches de *Saccharomyces*.

8.2 Effet de la concentration en levure

L'impact de la concentration en levure sur la fermentation est significatif. Bien que la fermentation puisse se produire en l'absence de levure, le rendement en éthanol est considérablement réduit. Une quantité optimale de 4 grammes de levure pour 3 litres de moût semble favoriser un rendement élevé. Cependant, un surplus de levure peut entraîner une consommation accrue des sucres fermentescibles, réduisant ainsi le rendement final en éthanol. Il est donc crucial de doser la levure avec précision pour maximiser l'efficacité de la production d'éthanol.

8.3 Effet de la durée de fermentation

L'impact de la durée de fermentation sur la production d'éthanol est notable. Initialement, l'éthanol commence à être produit après 24 heures de fermentation. La quantité d'éthanol produite s'accroît de manière significative entre 36 et 48 heures de réaction. Cette tendance à l'augmentation se maintient jusqu'à atteindre un pic à 72 heures de fermentation, période après laquelle le rendement en éthanol se stabilise.

Article 09

Les traitements préalables du jus de datte sucré (SDJ) n'ont pas significativement affecté la concentration en sucres. Les levures KKUY-0078, KKUY-0034 et KKUY-0152 ont produit jusqu'à 43,70 g/L d'éthanol à partir du SDJ, consommant plus de 78% des sucres disponibles.

La température optimale pour la production d'éthanol était de 30°C, avec une diminution de la production au-dessus de cette température. Le pH idéal était entre 4 et 5, et la concentration optimale du SDJ était de 20%. La production maximale d'éthanol a été atteinte à 60 heures.

L'ajout de Zn et Mg à faible concentration augmente la production d'éthanol, avec une efficacité particulière pour *H. opuntiae* KKUY-0152. Des concentrations plus élevées réduisent cette productivité.

L'ajout de phosphate d'ammonium dihydrogène a significativement augmenté la production d'éthanol par les levures, avec *H. opuntiae* KKUY-0152 atteignant la plus haute concentration. La productivité a culminé à 60 heures en fermenteur, surpassant celle en flacons agités.

Article 10

L'assimilation de sucres et la production d'alcool sont les deux paramètres qui renseignent l'évolution de la fermentation

La dégradation élevée du glucose est observée après 72 h de la fermentation pour les deux variétés mais la vitesse et l'intensité de dégradation des sucres réducteurs dans le moût de la variété Hamraya est supérieure que dans la variété DEGLET-NOUR (2.77% MF pour Hamraya et 1.57 % MF pour DEGLET-NOUR)

Pendant la fermentation le pH diminue pour les deux variétés (après 24 h) et atteint 3.9 pour Hamraya et 3.84 pour DEGLET-NOUR.

Les résultats montrent une augmentation dans la production de bioéthanol : après 48 h de fermentation . il a été observé que la production pour la variété Hamraya (18°) est meilleure que la production de la variété DEGLET-NOUR (14°)

L'alcool produit au niveau de laboratoire est : volatil avec une odeur piquante et limpide

Article 11

La recherche montre que la production de bioéthanol à partir de trois variétés de dattes varie en fonction de la quantité de cendres ajoutée au milieu de culture. La concentration finale de bioéthanol est influencée par ce facteur. Durant la fermentation, les micro-organismes consomment les sucres présents dans les substrats pour produire de la biomasse, du bioéthanol et de la chaleur. Ce processus est essentiel pour transformer les sucres totaux des dattes en bioéthanol.

Les dattes sèches étudiées ont une faible teneur en eau, favorisant une longue conservation. Les variétés Hamraya et Degla-Beida ont les plus hautes teneurs en matière sèche. Les sucres, principaux constituants des dattes, varient entre 60-80 %, avec la pulpe plus riche que le moût. La variété Degla-Beida est la plus sucrée. Les cendres, importantes pour la levure, sont inférieures aux besoins, nécessitant un enrichissement minéral. Les protéines sont basses, d'où l'ajout d'urée est nécessaire. Le pH légèrement acide favorise la flore fongique mais pas la levure, qui requiert un ajustement avec H₂SO₄

L'enrichissement des moûts de dattes avec des cendres augmente la biomasse et la production d'éthanol, surtout avec le moût de Kentichi. Après 72 heures, la fermentation réduit les sucres

et augmente l'éthanol, confirmé par des analyses spectrales montrant que le bioéthanol est similaire à l'éthanol standard et peut le remplacer

Article 12

12.1 Des substrats et des produits de fermentation (Ethanol et glycérol)

La fermentation du sirop de dattes entraîne une faible production de bioéthanol et de glycérol au début, mais une consommation rapide de NH_4Cl . Le glucose et le fructose sont bien dégradés par les levures, tandis que les diholosides nécessitent une perméase spécifique pour

entrer dans la cellule. Après 24 heures, le saccharose est hydrolysé, et tous les sucres sont consommés jusqu'à épuisement. Sur milieu synthétique, la consommation de sucres et la production de métabolites sont plus faibles, avec une corrélation entre la baisse d'ammonium et la consommation de sucres observée le troisième jour.

12.2 Efficacité fermentaire

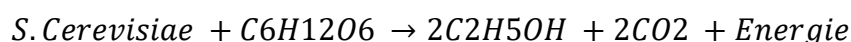
L'efficacité de la fermentation pour la production d'éthanol à partir de déchets de dattes a été évaluée en comparant les rendements réels et théoriques d'éthanol. Les résultats montrent que le sirop de dattes, riche en minéraux et oligo-éléments, favorise un taux de conversion élevé de 88,8%, contrairement au milieu synthétique qui n'atteint que 15,8%.

Cette efficacité accrue est attribuée à la richesse du sirop de dattes en potassium, calcium et sodium, essentiels à la croissance des levures et à leur résistance aux hautes concentrations de sucre et d'éthanol.

Article 13

La micro-organisme *S. cerevisiae* possède une respiration anaérobie facultative dans le processus de bioconversion alcoolique. En phase anaérobie, le glucose est transformé en éthanol par effet de fermentation.

La transformation théorique du saccharose en alcool est décrite par la réaction chimique suivante :



Les résultats indiquent que la première méthode donne de meilleurs résultats en termes de bioéthanol par rapport à la seconde méthode utilisée par M.A. Mazmanci.

La comparaison entre les deux méthodes est illustrée dans le tableau.

Tableau 6 : Comparaison entre les deux méthodes de préparation de jus de dattes (Kaidi et al., 2001)

	Première méthode	Deuxième méthode
Substrat utilisé	100	100
VI (ml)	100	100
VF (ml)	1000	700
VB (ml)	35	11

Pour le test de l'inflammabilité du bioéthanol produit, l'utilisation d'une petite quantité (30 ml) de bioéthanol dans un creuset et son allumage avec une allumette a donné une flamme bleue. Ainsi, le test d'inflammabilité est positif selon ce résultat.

Article14

14.1 L'effet de l'utilisation du pourcentage d'inoculum sur production d'éthanol

les résultats montres que les conditions suivants sont favorisée pour une production maximale d'éthanol

- durée de fermentation : (36 à 72 heures),
- concentration en sucre (38 g/100 g)
- taille de l'inoculum (25 %) .

14.2L'effet de la température

La production d'éthanol est affectée par la température. À des températures basses, la production est faible (5,5 ml). Cependant, une température de 30°C augmente significativement la production, atteignant un rendement maximal. C'est conforme à la plage idéale de température pour la fermentation de la mélasse (28-32°C). À des températures plus élevées, 35 et 40°C, le rendement diminue légèrement à 6,1 et 3,3 ml respectivement

14.3 L'effet de sucres la production d'éthanol

Les résultats indiquent que l'ajout de 25% d'inoculum de levure a entraîné la consommation maximale de sucres et la production la plus élevée d'éthanol, comparativement à d'autres concentrations testées (15%, 20%, 30%, et 35%). La fermentation était active pendant les premières 72 heures, après quoi aucune consommation supplémentaire de sucre par la levure n'a été observée.

14.4 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier de l'éthanol

L'analyse FTIR (Spectroscopie infrarouge à transformateur de Fourier) de l'éthanol a confirmé la présence du groupe éthanol (C₂H₅OH).

Article 15

Les analyses physico-chimiques indiquent que l'éthanol issu des dattes de la variété Teggaza présente des propriétés similaires à celles de l'éthanol pur.

L'éthanol produit en laboratoire à partir de la variété Teggaza affiche une densité de 0,834, se rapprochant de celle de l'éthanol pur référencée à 0,789 selon l'INRS. Cet éthanol distillé présente un indice de réfraction de 1,3679, légèrement supérieur à celui de l'éthanol pur qui est de 1,3594. Après la première distillation, le degré alcoolique atteint 50°, et il s'élève à 88° suite à la rectification.

Ces résultats démontrent que l'éthanol de Teggaza partage plusieurs caractéristiques avec l'éthanol pur, notamment en termes de volatilité, inflammabilité, clarté et d'une odeur caractéristique piquante.

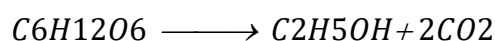
Discussion générale

1. Le principe de la fermentation alcoolique

Depuis longtemps la fermentation utilisée pour la production des boissons alcoolisées (Açrourene, 2012).

Est un processus biochimique qui se déroule dans le cytoplasme, grâce à l'action d'enzymes microbiennes. (Riees, 2012).

Elle permet de libérer l'énergie d'un substrat organique selon l'équation formulée en 1815 par Joseph Louis Gay-Lussac :



2. L'effet de la nature de la matière première

Pour la fermentation anaérobique de déchets des dattes plusieurs variétés sont utilisés tandis que:

Ghars : sont des dattes molles fibreuses, de la couleur marron foncé et a un goût parfumé très riche en sucre (Acroune et Tama , 1997).

Deglet-nour : dattes demi-molles fibreuses, de la couleur marron foncé très répandus en Algérie (Sayah ,2010) .

Degla baida: dattes sèche ,blanche et riches en saccharose

Mech degla :l'une des variétés de dattes algériennes, riche en valeur nutritive et énergétique, mais souvent sous-valorisé

Hmira: dattes rougeâtre, leur consistance est molle ,de forme allongée et volumineux.

Tinaceur : dattes sèches ,beige de forme ovoïde (Belguedj , 2002).

Kentichi: dattes sèches ,gros et riches en saccharose mais pauvre en sucres simple (glucose, fructose...) (Hannachi et Kaidi,1993) .

Des autres variétés sont aussi concernant comme : Kacienne , Hamraya, Arihy ,Nabt AliTeggaza Et Techerwit .

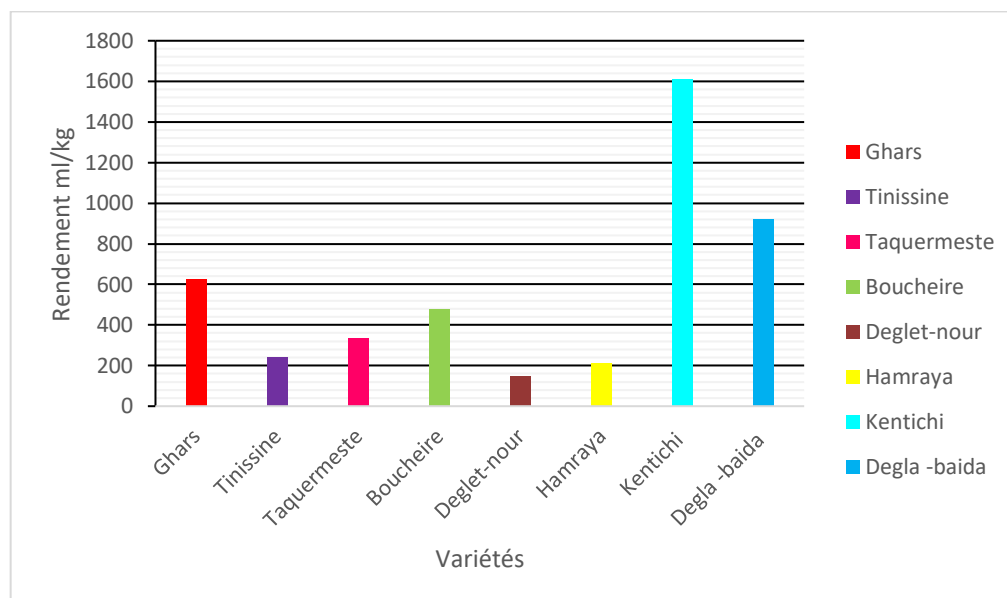


Figure 2 : Rendement de bioéthanol de chaque variété de datte

Le rendement en bioéthanol peut varier selon le type de dattes utilisées, qu'elles soient sèches, molles ou demi-molles. Les facteurs qui influencent le rendement incluent la teneur en sucres, la composition chimique et la facilité de fermentation des sucres par les levures.

Selon une étude, les moûts issus de dattes de variétés comme Kentichi, Hamraya et Degla-Beida ont montré des rendements en bioéthanol intéressants. Par exemple, le moût de la variété Kentichi enrichi en urée et en cendre de noyau a permis d'obtenir un volume d'éthanol de 1610 ml/kg, suivi par Hamraya et Degla Beida avec des volumes d'éthanol de 1340,21 ml/kg et 921,42 ml/kg respectivement . Ces résultats indiquent que les dattes riches en sucres réducteurs, même celles de faible valeur marchande, peuvent être valorisées pour la production de bioéthanol (Chibi et El-hadi , 2018).

D'autre part , des autres études ont montré que les variétés humides et semi-humides comme Tinissine, Takermest, Ghars, Boucheire et Deglet Nour ont produit de faibles taux de bioéthanol comparativement aux variétés sèches (Boulal et *al.*, 2016).

Il est important de noter que les dattes sèches ont généralement une teneur en sucre plus élevée que les dattes molles ou demi-molles, ce qui pourrait théoriquement conduire à un meilleur rendement en bioéthanol. Cependant, la teneur en eau et la texture des dattes peuvent également affecter l'efficacité de la fermentation. Des expériences spécifiques avec chaque type de datte sont nécessaires pour déterminer le rendement exact en bioéthanol (Brown et Lee ,2017).

Adaptation des levures

La pression osmotique élevée due à la forte concentration en sucres dans certaines variétés peut inhiber la croissance de levures comme *Saccharomyces cerevisiae*. Des levures osmotolérantes comme *Zygosaccharomyces rouxii* et *Candida Pelliculosa* peuvent être utilisées pour améliorer la fermentation dans ces conditions (Lesafre ,2020).

3. L'effet de l'addition des différents métaux

L'ajout de Zn (0,5 g/l) et de Mg (0,5 g/l) a contribué à augmenter la production d'alcool, car le zinc est un minéral essentiel dans la vie de tous les organismes vivants, intervenant dans leur croissance et leur métabolisme. Le zinc a amélioré la production d'éthanol en favorisant l'accumulation de tréhalose et d'ergostérol dans les cellules de la levure. En revanche, l'ajout de Mn et de Co a entraîné une toxicité pour les cellules de la levure, entraînant une

diminution de la production d'éthanol. (Shobayashi et al., 2005; Tosun and Ergun, 2007; Zhao et al., 2009).

Dans d'autres études, Thanonkeno et al. (2007) ont constaté que l'ajout de magnésium entraînait une inhibition de la production d'éthanol par la levure *Zymomonas mobilis*. Cela pourrait être lié à sa toxicité à des concentrations élevées ou à son interaction avec un autre élément comme le calcium. (Okon et Nwabueze, 2010).

L'ajout de différents composés azotés a montré une augmentation significative dans la production d'éthanol par les levures de laboratoire. Le phosphate d'ammonium a montré la plus forte augmentation de productivité parmi toutes les sources. (Grahovac et al. , 2012)

4. Effet de pH

L'intervalle optimum de croissance des levures : 3,5-5 (Schmid Rolf, 2005).

Au cours des deux premiers jours de la fermentation , on observe une diminution significative du pH. Cette baisse du pH est attribuable à plusieurs facteurs:

4.1 Diffusion des acides contenus dans la datte

Les acides présents dans les dattes se diffusent dans le moût, contribuant ainsi à l'acidification, ces acides naturels, tels que l'acide citrique et l'acide malique, sont libérés lors de la macération des dattes(Castillo et al. ,2023).

4.2 Métabolisme des microorganismes (levures)

Les levures présentes dans le moût métabolisent également des acides et des alcools.

- En particulier, les acides gras, comme l'acide octanoïque et l'acide décanoïque, sont produits lors de la fermentation , ces métabolites acides contribuent à l'acidification du milieu (Tan ,2020).

4.3 Dissolution du dioxyde de carbone (CO₂)

- Une partie du CO₂ produit pendant la fermentation se dissout dans le moût , cette dissolution du CO₂ contribue également à l'abaissement du pH

(Mazoud ,2015).

Le pH a un impact significatif sur la fermentation, car il affecte la croissance des levures, les taux de fermentation et la formation de sous-produits. Par conséquent, le maintien d'un pH constant pendant la fermentation est très important pour les processus.

Selon Albertin et *al.*, (2016), les résultats concordent avec ceux de Pramanik (2003) qui a rapporté que la concentration maximale d'éthanol produite par *S. cerevisiae* était atteinte à un pH de 4,25 à 5,0.

Russell, (2003) a noté que la levure préfère un pH acide et que son pH optimal est de 5,0 à 5,2, mais que les souches de brassage et de distillation sont capables d'une bonne croissance dans une plage de pH d'environ 3,5 à 6,0.

Il a également rapporté que pendant toute fermentation, les ions H⁺ sont excrétés par la levure, ce qui entraîne une baisse du pH dans le milieu.

De plus, il a indiqué que dans les processus de brassage ou de distillation avec une culture pure de levure ayant un pH initial de 5,2 à 5,5, la valeur finale du pH diminuait à environ 3,8.

Narendranath et Power, (2005) ont trouvé que le pH optimal pour la croissance des levures et la production d'éthanol par *S. cerevisiae* était de 4,9. (Limtong et *al.*, 2007) ont rapporté que *K. marxianus* DMKU 3-1042 a produit la plus haute concentration d'éthanol (8,7 %) et un rendement (77,5 % du rendement théorique) dans un milieu de jus de canne à sucre avec 22 % de sucre à un pH de 5,0.

5 Effet de la température

En peut dire que la température est un de les plus importants facteurs qui influencent la production (Lin et et Tanaka, 2006).

La température idéale de la fermentation du moût est entre 28° et 32° C, et la production maximale d'éthanol a été dans la température 30°C (Azhar et *al.*, 2017).

Le rendement du bioéthanol a diminué de manière significative à 6,1 et 3,3 ml lorsque la température a été augmentée à 35 et 40°C, Ainsi, la production d'éthanol a diminué avec l'augmentation de la température (40°C), car une température plus élevée peut tuer la majorité des cellules de levure et restreindre le processus de fermentation (Fakruddin et *al.*, 2013 ; El-Hussieny et *al.*, 2020). qui ont déclaré que *S. cerevisiae* et *S. unisporous* fonctionnaient mieux et produisaient le maximum d'éthanol à 30°C.

6 Effet de sucres

La levure utilise séquentiellement les sucres fermentescibles présents dans le sirop de dattes, le saccharose est hydrolysé en glucose et en fructose par une enzyme située sur la

surface externe de la levure. Ces sucres sont simultanément consommés et convertis en biomasse, éthanol et CO₂ (Hariri et al., 2016).

Les sucres réducteurs

Dans le contexte de la production de bioéthanol, les sucres réducteurs sont essentiels car ils servent de substrat principal pour la levure pendant la fermentation (Jahangeer et al., 2023).

Concentration optimale

La concentration de sucres réducteurs a un impact significatif sur l'efficacité de la bioconversion, la meilleure concentration est 6g/L car il fournit un substrat adéquat pour le métabolisme de la levure sans provoquer d'inhibition(Smith et al., 2019).

Des concentrations plus élevées peuvent entraîner un stress osmotique ou une toxicité, affectant la croissance de la levure et la production d'éthanol (Ghosh et al., 2012).

7. Souches de levures utilisées dans la fermentation alcoolique

La production de bioéthanol à partir de déchets de dattes implique l'utilisation de différentes souches de levures, chacune ayant des caractéristiques spécifiques qui peuvent influencer le rendement(Hebbale et al., 2019).

Saccharomyces cerevisiae

C'est une levure traditionnellement utilisée dans la production de bioéthanol. Elle est connue pour sa capacité à fermenter rapidement les sucres simples et a été utilisée avec succès pour fermenter le moût issu des déchets de dattes (Bouaziz et al., 2020).

Zygosaccharomyces rouxii

Cette levure est capable de produire du bioéthanol et du glycérol à partir d'un milieu de culture à base de sirop de dattes très concentré en sucres. Elle a montré un bon rendement en bioéthanol (55 g/L) dans des conditions optimales(Chniti, 2015).

Levures locales isolées

Des études ont montré que des souches locales isolées à partir des dattes peuvent être utilisées pour la production de bioéthanol. Par exemple, des souches isolées à partir des variétés « Degla-Beida » et « Tantboucht » ont donné des rendements en biomasse élevés, ce qui est prometteur pour la production de bioéthanol(Kechkar et al., 2024).

Il est important de noter que le choix de la levure peut dépendre de plusieurs facteurs, y compris la composition chimique des déchets de dattes, la concentration en sucres, et la tolérance de la levure à des conditions telles que la température et la pression osmotique (Castillo et *al.* ,2023).

Conclusion

Conclusion

Avec l'augmentation de la demande mondiale pour des sources d'énergie alternatives, il est nécessaire de développer et de diversifier les ressources primaires.

Au fil du temps, la fermentation a été utilisée uniquement pour fabriquer des boissons alcoolisées, mais avec l'importance croissante du bioéthanol dans divers domaines et l'augmentation de la demande, il a été tenté d'exploiter l'un des principaux produits agricoles en Algérie, en particulier les dattes de faible valeur marchande et les résidus de dattes qui étaient auparavant jetés, pour produire cette substance importante.

Plusieurs études antérieures ont conclu que les conditions idéales pour la production de bioéthanol par fermentation anaérobie à l'aide d'un ensemble de levures, notamment *Saccharomyces cerevisiae*, sont les suivantes : une température de 30 ± 2 °C à un pH de 3.5-5 sur une période de 72 heures. Cette technique a prouvé son efficacité dans la production d'un rendement considérable de bioéthanol à faible coût, où la marge de profit nette a atteint 2,91 € pour chaque 1 kg de dattes.

Cela nécessite que les autorités locales encouragent les agriculteurs et les entreprises productrices à investir dans ce domaine. En considérant que l'Algérie est l'un des principaux producteurs et exportateurs de dattes dans le monde.

Bibliographie

Bibliographie

Références

Acourene, S., & Tama, M. (1997). Caractérisation physico-chimique des principaux cultivars de dattes de la région des Zibans. *Recherche Agronomique*, 1(1), 59-66. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/92247>

Ahmad, Arslan & Naqvi, Summar & Jaskani, Muhammad & Waseem, Muhammad & Ali, Ehsan & Khan, Iqrar & Manzoor, Muhammad & Siddeeg, Azhari. (2021). Efficient Utilization Of Date Palm Waste For The Bioethanol Production Through *Saccharomyces Cerevisiae* Strain. *Food Science & Nutrition*. 1-9. 10.1002/Fsn3.2175.

Albertin, W. Setati, M.E. Miot-Sertier, C. Mostert, T.T. Colonna-Ceccaldi, B. Coulon, J. Girard, P. Moine, V. Pillet, M. Salin, F. Pillet, F. Salin, M. Bely, B. Divol and I. Masneuf-Pomarede, (2016). *Hanseniaspora* varum from winemaking environments show spatial and temporal genetic clustering. *Front Microbiol.*, 6: 1569

Alix Lefief-Delcourt, *La levure de bière*, Leduc.s Editions, 2016, p. 22.

Almodares, A et Hadi, M. R . 2009. Production of bioethanol from sweetsorghum: A review. *African journal of agricultural research*, 4(9), 772-780.

Amellal., 2008-Thèse de doctorat. Aptitudes technologique de quelque variété de dates: formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Université-Bomerdès

Anonyme, "Advancements in Third-Generation Biofuels." *Journal of Sustainable Energy*, vol. 42, no. 3, 2023, pp. 123-135.

Antizar-Ladislao, B., & Turrion-Gomez, J. L. (2008). Second-generation biofuels and local bioenergy systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2(5), 455-469. <https://doi.org/10.1002/bbb.97>

Aouabed, M., Boukroufa, M., & Zitouni, A. (2018). La bio-production de l'éthanol à partir de déchets de dattes : effet de l'incorporation des cendres du noyau de Deglet-Nour sur le rendement. *Journal of Renewable Energy and Environment*, 5(1), 12-20.

Baca, A., 2008. Production et étude de l'activité de l'invertase produite par la levure *saccharomyces cerevisiae* sur substrat à base de datte. Thèse de Magister Université Elhadj Lakhdar-Batnz option Qualité et sécurité Alimentaire. 75p.

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

Ballerini, D., 2006. Les biocarburants état des lieux, perspectives et en jeux du développement. Editions technip, Paris.348p.

Belguedj A., 2002 : Les Ressources Génétiques Du Palmier Dattier : Caractéristiques Des Cultivars De Dattiers Dans Les Palmeraies Du Sud-Est Algérien, Dossier-Document, Débat 3d N° 1, Inra. Alger-Algérie.

Bessaoud, O., Pellissier, J.-P., Rolland, J.-P. And Khechimi, W. (2019) Rapport De Synthèse Sur L'agriculture En Algérie. [Rapport De Recherche] Ciheam-Iamm, Montpellier, 82.

Bouaziz F, Abdeddayem AB, Koubaa M, Barba FJ, Jeddou KB, Kacem I, Ghorbel RE, Chaabouni SE. Bioethanol Production from Date Seed Cellulosic Fraction Using *Saccharomyces cerevisiae*. *Separations*. 2020; 7(4):67. <https://doi.org/10.3390/separations7040067>

Boulal, Ahmed & Moulai, M & Touzi, Abdelkader & P, B & Reggane, Route & Adrar, Algérie. (2010). Transformation Des Déchets De Dattes De La Région D'adrar En Bioéthanol. *Revue Des Energies Renouvelables*. 13. 455-463.

Boulal, Ahmed & Benbrahim, Z & Segni, Ladjel. (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'algerie. *Revue Des Energies Renouvelables*. 16. 539-550.

Boulal, Ahmed & Rahmani, Saliha. (2023). Production Du Bioéthanol A Base De Dattes De La Variété Teggaza De Faible Valeur Commerciale Au Sud-Ouest De L'algerie. 5. 7-17.

Brown, A., & Lee, S. (2017). Production de sucre liquide à partir des dérivées de dattes. *Journal of Biomass Conversion*, 8(1), 75-90.

Castillo, A. B., Cortes, D. J. D., Sorino, C. F., Soriño, C. K. P., El-Naas, M. H., & Ahmed, T. (2023). Bioethanol Production from Waste and Nonsalable Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruits : Potentials and Challenges. *Sustainability*, 15(4), 2937. DOI : 10.3390/su15042937

Cavelius P, Engelhart-Straub S, Mehlmer N, Lercher J, Awad D, Brück T (2023) The potential of biofuels from first to fourth generation. PLoS Biol 21(3) : e3002063. Doi :10.1371/journal.pbio.3002063

Chibi ,S et El Hadi ,D. 2018. La Bioproduction de l'éthanol à partir de déchets de dattes :effet de l'incorporation des cendres du noyau de Deglet-Nour sur le rendement. Revue agrobiologie,8(1) , 685-694.

Chniti, Sofien et Amrane, Abdeltif et Lelievre, Yvane et Chaabane, Hedia & Hassouna, Mnasser et Djelal, Hayet et Résumé,. (2012). VALORISATION DE DECHETS DE DATTES TUNISIENNES : PRODUCTION DE BIOETHANOL.

Chniti, S., Djelal, H., Bentahar, I., Hassouna, M., & Amrane, A. (2014). Optimisation De L'extraction Des Jus De Sous-Produits De Dattes (Phoenix Dactilyphera L.) Et Valorisation Par Production De Bioéthanol. Revue Des Energies Renouvelables, 17(4), 529-540.

Cot M, 2006. 'Etudes Physiologiques de l'Adaptation et de la Résistance de la Levure Saccharomyces Cerevisiae au Cours de la Production Intensive d'Ethanol',Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 256 p.

Edjekouane, M., Lansari, F., Khelifi, O., Boukheteche, I., & Laksaci, H. (2020). Production Of Bioethanol From A Local Natural Resource . Algerian Journal Of Renewable Energy And Sustainable Development, 2(01), 56-59. Retrieved From [https://Ajresd.Univ-Adrar.Edu.Dz/Index.Php?Journal=Ajresd&Page=Article&Op=View&Path\[\]=65](https://Ajresd.Univ-Adrar.Edu.Dz/Index.Php?Journal=Ajresd&Page=Article&Op=View&Path[]=65)

El-Hadi, D., Korteby, S. And Chibi, S. (2016) Production Du Bioéthanol A Partir De Rebut De Deux Variétés De Dattes (Deglet-Nour Et Hamraya). Revue Agrobiologia, 6,111-120.[Http://Agrobiologia.Net/Online/Production-Du-Bioethanol-A-Partir-De-Rebut-De-Deux-Varietes-De-Dattes-Deglet-Nour-Et-Hamraya](http://Agrobiologia.Net/Online/Production-Du-Bioethanol-A-Partir-De-Rebut-De-Deux-Varietes-De-Dattes-Deglet-Nour-Et-Hamraya)

Gaillard J.L., Leclerc H., Simonet M.. (1985). Elément de microbiologie. Ed. Herman. Paris,p.464

Ghosh S., Chakraborty R., Raychaudhuri U., Int Food Res J. 19 (4) (2012) 1633-1639.

Goullé, Jean-Pierre & Guerbet, Michel. (2015). Éthanol : pharmacocinétique, métabolisme et méthodes analytiques. Annales Pharmaceutiques Françaises. 73. 10.1016/j.pharma.2015.03.003.

Hannachi S. Et Khitri D. , (1993) : Inventaire Variétal De La Palmeraie Algérienne, Biskra, 24- 25 Novembre (C.D.R.A.S) .

Hariri A, Ouis N., Bouhadi D.,(ISBN 978-0 471238966.DOI10.1002/0471238961.0520080112150719.a01.pub2, lire enligne [archive]), « Ethanol ». 12 (2) (2016) 103-109.

Hashem, M. & Hesham, Abd El-Latif & Alrumman, Sulaiman & Alamri, Saad. (2017). Production Of Bioethanol From Spoilage Date Fruits By New Osmotolerant Yeasts. International Journal Of Agriculture And Biology. 19. 825-833. 10.17957/Ijab/15.0368.

Hebbale, D., Mishra, R. S., & Ramachandra, T. V. (2019). Prioritizing Wild Yeast Strains for Macroalgal Bioethanol Production. Frontiers in Energy Research, 7, 1-10.

Houria Zenchi et Fatiha Abdoun, « Palmier-dattier : Botanique et écologie », Encyclopédie berbère [En ligne], 37 | 2015, document P05, mis en ligne le 25 janvier 2024, consulté le 17 mai 2024. URL:<http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/3343> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/encyclopedieberbere.3343>

IDDER-IGHILI, H., DADAMOUSA, M. L., BELAROUSSI, M. E. H., BOUMADDA, A., & IDDER, M. A. (2021). La préservation des cultivars de palmiers dattiers source de durabilité du système phœnicicole : cas de la région de Ouargla. Revue des BioRessources, 11(1), 63-73.

Jahangeer, M., Rehman, M.U., Nelofer, R. et al. Biotransformation of Lignocellulosic Biomass to Value-Added Bioproducts: Insights into Bio-Saccharification Strategies and Potential Concerns. Top Catal (2024). <https://doi.org/10.1007/s11244-024-01941-9>

Jean-Marie Sablayrolles. La fermentation alcoolique en œnologie : mieux la comprendre pour mieux la maîtriser. Ecole thématique Ingénierie des biosystèmes : de la cellule au procédé, Mar 2016, Saint-Nazaire, France. Ffhal-01837786ff

Kaidi, F. And Touzi, A. (2001) Production De Bioalcool A Partir Des Déchets DeDattes 2001. In: Review Energy Renewable: Production Et Valorisation—Biomasse,75-78. Http://Www.Cder.Edu.Dz/Download/Bio_11.Pd

Kechkar, M., Aziza, M., Bessah, R. et al. Optimization and kinetic study of the bioethanol production by a locally isolated strain using response surface methodology. Biomass Conv. Bioref. (2024). <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05807-8>

Lesaffre.(2020).“L’Hirondelle Pâtes Sucrées : A High Osmotolerant Yeast for Sweet Dough Fermentation. *Journal of Baking Science*, vol. 42(3), pp. 123-138

Limtong, S., C. Sringiew and W. Yongmanitchai, 2007. Production of fuelethanol at high temperature from sugar cane juice by a newlyisolated *Kluyveromyces marixianus*. *Biores. Technol.*, 98: 3367–3374

Lin, Y et Tanaka, S. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, 69, 627-642.

Logsdon,2004. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley et Sons, *Sustainable Energy Reviews*, 77, 182-192.

Mcdonnell eT Russell, *Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance*, *Clin. Microbiol. Rev.*, vol. 12, no1, 1999, p. 147–179 (ISSN 0893-8512, PMID PMC88911, lire enligne [archive] [PDF])

Mélissa Tan. *Caractérisation et valorisation de la production d’arômes par la levure non Conventionnelle Saprochaete suaveolens : analyse métabolique de souches sauvages et mutantes et Application biotechnologique dans le domaine brassicole*. *Biochimie [q-bio.BM]*. Université de la Réu-Nion, 2020. Français. ffNNT : 2020LARE0032ff. fftel-04416377ff

Merzaia, Aicha. (2014). Dix sept wilayas productrices de datte , une richesse inépuisable pour l’Algérie. *Le Monde des Dattes*. N° 1. 14-15.

Munier, P. 1973: *Le Palmier – dattier – Techniques agricoles et productions tropicales*: Maison Neuve et Larose, 217 pp. Paris.

Muriel Gros-Balthazard, Claire Newton, Sarah Ivorra, MargaretaTengberg, Jean-Christophe Pintaud et Jean-Frédéric Terral, « Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) », *Revue d’ethnoécologie [En ligne]*, 4 | 2013, mis en ligne le 31 décembre 2013, consulté le 09 juin 2024.

Nagarajan, S., Skillen, N. C., Irvine, J. T., Lawton, L. A et Robertson, P. K. 2017. Cellulose II as bioethanol feedstock and its advantages over native cellulose. *Renewable and*

Narendranath, N.V. and R. Power, 2005. Relationship between pH andmedium dissolved soids in terms of growth and metabolism of *Lactobacilli* and *Saccharomyces cerevisiae* during ethanolproduction. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71: 2239–2243

Oucif Khaled, Mohammed Tayeb & Segni, Ladjel. (2014). Production Of Bioethanol From Varieties Of Dates Of Poor Quality. African Journal Of Agricultural Research. 9. 2814-2818. [10.5897/Ajar2014.8765](https://doi.org/10.5897/Ajar2014.8765)

Ould El Hadj, M. D., Ould El Hadj, M. D., Cheick, M., Hamdi, W., Hamdi, W., Sayah, Z., & Bouaziz, S. (2012). Etude Comparative De La Production De bioéthanol Brut à Partir De Trois variétés De Dattes Communes (Degla Beida, Tacherwit Et Hamraya) Réparties Dans Les différentes Classes De Dattes (Molle, Demi-Molle Et Sâche) De La Cuvette De Ouargla (Sahara Septentrional Est Algérien). Algerian Journal Of Arid Environment *A&E*, 2(2), 78-87. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/348>

Pramanik, K., 2003. Parametric Studies on Batch Alcohol Fermentation Using Saccharomyces Yeast Extracted from Toddy. J. Chin. Inst. Chem. Engrs., 34: 487–492

Puspawati, S., Ainuri, M et Nugraha, D. A. 2015. The production of bioethanol fermentation substrate from *Eucheuma cottonii* seaweed through hydrolysis by cellulose enzyme. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 3, 200-205.

Russell, I., 2003. Understanding yeast fundamentals. In: The Alcohol Textbook-a Reference for the Beverage, Fuel and Industrial Alcohol Industries, pp: 85–119. Jacques, K.A., T.P. Lyons and D.R. Kelsall (eds.). UK: Nottingham

Siti Hajar Mohd Azhar, Rahmath Abdulla, Siti Azmah Jambo, Hartinie Marbawi, Jualang Azlan Gansau, Ainol Azifa Mohd Faik, Kenneth Francis Rodrigues, Yeasts in sustainable bioethanol production: A review, Biochemistry and Biophysics Reports, Volume 10, 2017, Pages 52-61, ISSN 2405-5808, <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003>.

Sofien Chniti. Optimisation de la bioproduction d'éthanol par valorisation des refus de l'industrie de conditionnement des dattes. Autre. Université de Rennes, 2015. Français.

Tortora G., Funke B.R., Case C.L., Martin L.. (2003). Introduction à la microbiologie. Ed. ERPI. Paris, p. 4-869

Toutain, G. (1996) Rapport De Synthèse De L'atelier "Techniques Culturelles Du Palmier Dattier. In: Ferry, M. And Greiner, D., Eds., Le Palmier Dattier Dans L'agriculture D'oasi Des Pays Méditerranéen, Options Méditerranéennes, Ed (Iam), Zaragoza, 201-205. <https://om.ciheam.org/om/pdf/A28/96605890>

Walker, G. M. 2010. Bioethanol: Science and technology of fuel alcohol. Bookboon, 116.

Wiloso, E. I., Heijungs, R et De Snoo, G. R. 2012. LCA of second generation bioethanol: a review and some issues to be resolved for good LCA practice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5295-5308.In

Xiang, H., Xin, R., Prasongthum, N., Natewong, P., Sooknoi, T., Wang, J., ... et Fan,X2022. Catalytic conversion of bioethanol to value-added chemicals and fuels: A review.*Resources Chemicals and Materials*, 1(1), 47-68.

المراجع

الجبوري ج ح ،. زايد ع و.،. 2015 - تكنولوجيا زراعة وإنتاج نخيل التمر.

Résumés

الملخص

التخمير الكحولي هو عملية كيميائية يتم فيها تحويل السكر (C6H12O6) الى كحول حيوي (C5H5O6) باستعمال خمائر ابرزها *Saccaromyces cerevisiae* في هذا العمل قمنا بدراسة وتحليل 15 بحث علمي في مجال تخمير بقايا التمور لانتاج الكحول الحيوي حيث توصلنا الى ان الشروط المثالية لهذه العملية هي درجة حرارة 2 ± 30 ودرجة 5-3.5 pH ومدة تخمير 72 ساعة ، و يصل الربح الصافي لتحويل واحد كيلو غرام من التمور ذات القيمة التسويقية المنخفضة وبقايا التمور الى 2.91 €.

الكلمات المفتاحية : كحول ، تخمير ، انتاج ، تنمين ، تمور ، بقايا ، ربح ، حيوي .

Résumé

La fermentation alcoolique est un processus chimique dans lequel le sucre (C6H12O6) est transformé en bioéthanol (C5H5O6) à l'aide de levures, notamment *Saccaromyces cerevisiae*. Dans ce travail, nous avons étudié et analysé 15 recherches scientifiques dans le domaine de la fermentation des déchets de dattes pour produire le bioéthanol où nous avons conclu que les conditions idéales pour ce processus sont : La température est de 30 ± 2 , le pH = 3,5 -5 et la période de fermentation est de 72 heures. Le bénéfice net pour la conversion d'un kilogramme de dattes de faible valeur marchande et. Les dattes restantes s'élèvent à 2,91 €.

Mots clés : Alcool, Fermentation, production, valorisation, dattes, déchets bénéfice, bio.

Abstract

Alcoholic fermentation is a chemical process in which sugar (C6H12O6) is converted into bio-alcohol (C5H5O6) using yeasts, most notably *Saccharomyces cerevisiae*. In this work, we studied and analyzed 15 scientific research in the field of fermentation of date residues to produce bio-alcohol, where we concluded that the ideal conditions for this process are The temperature is 30 ± 2 , pH=3.5 -5, and the fermentation period is 72 hours. The net profit for converting one kilogram of dates with low market value and leftover dates amounts to 2.91 €.

Keywords : Alcool, Fermentation, production, valorisation, dates, wastes, profit, bio.