

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Département de Microbiologie

قسم الميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie Fongique

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Production de bioéthanol à partir des déchets de dattes

Présenté par : **GUERN Chourouk**
AMEUR Youssra

Le 22/06/2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : LEGHLIMI Hind (MCA - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 1 : LABBANI Fatima-Zohra Kenza (MCA - E N S de Constantine)
Examineur 2 : DJAMAA Ouahiba (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire

2022 – 2023

Remerciements

Nous tenons à la fin de ce travail à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

*Tout d'abord, Ce travail n'aurait pas vu la lumière sans l'aide et l'encadrement de l'enseignante **Dr. Leghlimi hind**, MCA-Université Frères Mentouri, Constantine 1, on la remercie d'avoir consacré une partie de son temps à la direction de ce travail, pour sa patience, pour ces encouragements qu'elle n'a cessé de nous prodiguer et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions, **Mme LABBANI Fatima-Zohra Kenza**, MCA-E N S de Constantine et **Mme. DJAMAA Ouahiba**, MCB-Université Frères Mentouri, Constantine 1, pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant de juger ce travail.*

Nous saluons infiniment les chefs de départements et nous n'omettrons point de remercier le corps des enseignants de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie pour toutes leurs gentillesse et leurs disponibilités.

Nous remercions toutes nos familles et nos amis et tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.

Au terme de ce modeste travail, nous remercions tous ceux qui ont soutenu avec une idée ou un conseil, et remercie Allah que de bonnes œuvres soient accomplies.



Dédicace

Je dédie mon modeste travail :

Tout d'abord aux deux ma source de bonheur qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, sans lesquels je n'y serais jamais parvenue et qui je ne remerciais jamais assez.

*À mes très chers parents **Nadir et Fadila** Qui m'ont soutenue et encouragé durant ces années d'études.*

*À mes chères sœurs : **Anfel, Hind, Chaima et Faten.***

*À Mes chères frères : **Mouhamed, Housseem et Raouf.***

*À ma chère cousine : **Hanane.***

*À mes chères tantes : **Nadia, Souheila et Fatima.***

*À mes neveux : **Ousseid, Mouaad, Aous, Farah et Balkis.***

*À mon binôme : **Chourouk.***

*À mes amies : **Rahma, Dounia, Manar, Ikram, Soundous, Farah, Dalia et Roufeida.***

*À mon encadreur : **Leghlimi.H***

À tous mes enseignants pour le savoir et les valeurs qu'ils m'ont transmises.

À tous ceux qui m'aiment et ceux qui j'aime.



Yousra



Dédicace

Tout d'abord, louange au bon Dieu qui nous a offert la chance, la force et la santé de compléter nos études.

Je dédie ce modeste travail :

*Mon paradis, à la source de ma joie et mon bonheur, ma moitié, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, ma mère **Hanane**.*

*À ma chère sœur : **Maya**.*

*À ma précieuse grand-mère : **Arjouna**.*

*À mes chères cousines : **Lidia, Rihane, Elissa et Jihane**.*

*À mes chères tantes : **Linda, Souhila, Amira et Sabrina**.*

*À mes petites cousines : **Alaa, Malak, Milina et Anai**.*

*À mon binôme : **Youssra***

*À mes belles amies : **Zahra, Soundous, Ikram et dallai**.*

*À mon encadreur : **Leghlimi.H***

À tous ceux qui ont eu un impact magnifique sur ma vie et un soutien dans les moments difficiles.



Chourouk

Résumés

Résumé

L'industrie agro-alimentaire génère de grandes quantités de déchets, souvent responsable de la pollution de notre environnement. Le secteur phoenicicole en est un de l'activité agro-alimentaire, fournit des tonnes de déchets de dattes qui sont impropres à la consommation humaine. Ces déchets par leur richesse en sucres et leur conservation longue offrent une matière première de la fermentation pour la production de plusieurs métabolites tels que l'éthanol et les acides organiques. Ce travail de recherche s'articule sur l'utilisation du jus de dattes à pH initial 4.5, comme substrat de fermentation pour la production de bioéthanol par la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*, incubée à 32°C. Le procédé utilisé consiste à une fermentation alcoolique (en anaérobiose) réalisée par des essais de fermentations afin d'optimiser les conditions de la culture et d'améliorer d'avantage la production. L'évolution du pH, la consommation des sucres, la production de la biomasse et du bioéthanol sont suivies à 48 heures et à 72 heures. En ce sens, les résultats obtenus par la fermentation montrent que 1g/L de levure et un enrichissement du milieu par 1g/L de poudre de noyau, pendant 48 heures, donnent un rendement en éthanol suffisant avec un volume de 13.75ml et un degré d'alcool 46.34%. Un meilleur degré d'alcool à 86.71% est obtenu avec 1g/L de levure après 72 heures de fermentation. La meilleure biomasse est mesurée à 221 g/L en culture stérile et non agité. Cette étude montre que ces dattes de faible valeur commerciales peuvent donner de bon rendement en bioéthanol et en biomasse susceptible d'être incorporer dans la ration alimentaire des bétails, contribuant ainsi à diminuer la facture en devis de l'importation alimentaire.

Mots clés : Ethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, fermentation alcoolique, déchets de datte.

Abstract

The food industry generates large quantities of waste, often responsible for the pollution of our environment. The farming sector is one of the agro-food activity, providing tons of date waste that are unsuitable for human consumption. These wastes are rich in sugars and their long storage offers a raw material of fermentation for the production of several metabolites such as ethanol and organic acids. This research focuses on the use of date juice at initial pH 4.5 as a fermentation substrate for the production of bioethanol by the yeast *Saccharomyces cerevisiae* incubated at 32°C. The process consists of an alcoholic fermentation (anaerobic) carried out by fermentation tests in order to optimize the conditions of the culture and further improve the production. pH evolution, sugars consumption, production of biomass and bioethanol are followed at 48 hours and 72 hours. In this sense, the results obtained on the fermentation show that 1g/L of yeast with enrichment of the medium by 1 g/L of stone powder for 48 hours, gives a sufficient ethanol yield with a volume of 13.75ml and an alcohol degree of 46.34%. By contribution to the ethanol percentage, fermentation for 72 hours with 1g/L of yeast gives a better degree of alcohol with 86.71%. Best biomass measured at 221 g/L in sterile and non-agitated culture. This study shows that these low commercial value dates can yield good bioethanol and biomass yields, these latter can be incorporated into the feed ration of livestock, thus helping to reduce the food import bill.

Key words : Ethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, alcoholic fermentation, date waste.

المخلص

تنتج صناعة الأغذية كميات كبيرة من النفايات، وغالبًا ما تكون مسؤولة عن تلوث بيئتنا. يعتبر قطاع التمور من الأنشطة الغذائية الزراعية التي توفر أطنانًا من نفايات التمور غير الصالحة للاستهلاك الالهي. توفر هذه النفايات من خالل ثرائها بالسكريات وحفظها لفترة طويلة مادة خام للتخمير إلتاج العديد من المنتجات مثل الإيثانول والأحماض العضوية. يدور هذا البحث حول استخدام عصير التمر عند درجة حموضة أولية 4.5، كركيزة تخمير إلتاج الإيثانول الحيوي بواسطة *Saccharomyces Cerevisiae* المحتضنة عند 32 درجة مئوية. تتكون العملية المستخدمة من تخمير كحولي (الالهوائية) يتم إجراؤها بواسطة تجارب التخمير من أجل تحسين الظروف وزيادة إلتاج. يتم مراقبة تطور ألس الهيدروجيني واستهلاك السكريات وإنتاج الكتلة الحيوية والإيثانول الحيوي خالل 48 و72 ساعة. بهذا المعنى، تظهر النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق التخمير أن 1 غ/ لتر من الخميرة وإثراء الوسط بـ 1 غ/ لتر من مسحوق نواة التمر، لمدة 48 ساعة، تعطي عائدًا كافيًا من الإيثانول بحجم 13.75 مل ودرجة كحول 46.34% فيما يتعلق بنسبة الإيثانول، فإن التخمير لمدة 72 ساعة باستخدام 1 غ / لتر من الخميرة يعطي درجة أفضل من الكحول بنسبة 86.71%. أفضل كتلة حيوية تقاس بـ 221 غرام/لتر في الثقافة المعقمة و بدون تحريك. توضح هذه الدراسة أن هذه النسب ذات القيمة التجارية المنخفضة يمكن أن تعطي عائدًا جيدًا في الإيثانول الحيوي والكتلة الحيوية التي من المحتمل أن يتم دمجها في حصص الأعلاف للماشية، مما يساهم في تقليل الفاتورة في تقدير استيراد الغذاء.

الكلمات المفتاحية: الإيثانول، التخمير الكحولي، نفايات التمر، *Saccharomyces cerevisiae*

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I Le bioéthanol et la levure *Saccharomyces cerevisiae*

1. Généralité sur le bioéthanol	3
1.1. Le bioéthanol	3
1.2. Propriétés physico-chimiques du bioéthanol	3
1.3 Générations du bioéthanol	4
1.3.1 Bioéthanol de première génération	4
1.3.2 Bioéthanol de deuxième génération	4
1.3.3 Bioéthanol de troisième génération.....	5
2. Utilisation de bioéthanol	5
3. Avantages et inconvénients du bioéthanol	6
4. Production de bioéthanol	6
4.1 L'échelle mondial	6
4.2. L'échelle national	7
5. La fermentation alcoolique	7
5.1. Les modes de culture	8
5.1.1. Le mode discontinu (mode <i>Batch</i>).....	8
5.1.2. Le mode semi-continu (mode <i>Fed-Batch</i>).....	8
5.1.3. Le mode continu	8
6. Micro-organismes producteurs d'éthanol	9
7. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	9
7.1. Généralités	9

7.2. Classification de la levure	10
7.3. Morphologie et structure cellulaire	10
7.4. Reproduction de la levure	11
7.4.1. La reproduction asexuée.....	12
7.4.2. La reproduction sexuée	12
7.5. Le métabolisme de la levure	12
7.5.1. Le métabolisme oxydatif	13
7.5.2. Métabolisme oxydo-réductif.....	13
7.5.3. Métabolisme fermentaire.....	13
7.6. Application industrielle de levure	13

Chapitre II Les dattes

1. Les palmiers dattier et la datte	15
1.1. Généralités sur le palmier dattier	15
1.2. Le palmier dattier en Algérie	15
1.3. Les dattes	16
1.3.1. Définition.....	16
1.3.2. Classification et catégories des dattes	17
1.3.3. Stades de développement de la datte.....	18
1.3.4. Les variétés des dattes en Algérie	19
1.3.5. Composition biochimique de la datte (la pulpe).....	20
1.3.6. Composition biochimique de la partie non comestible (le noyau).....	21
2. Production des dattes	21
2.1. Dans le monde	21
2.2. En Algérie	22
3. Les déchets des palmiers dattiers	23
3.1. Mise en valeur des déchets de dattes	24
3.1.1. Vinaigre de dattes.....	24

3.1.2. Alcool	24
3.1.3. Biomasse et protéine d'organismes unicellulaires	24
3.1.4. La levure de boulangerie	24
3.1.5. Les noyaux de dattes	24
3.2. Transformation technologique de la datte	25
3.2.1. Sirop de dattes.....	25
3.2.2. Aliment de bétail.....	25
3.2.3. Farine et farine enrichies	25

Matériel et méthodes

1. Substrat de fermentation (matière première).....	26
2. Matériel biologique	26
3. Étapes de la production de bioéthanol par fermentation des déchets de dattes.....	27
3.1. Préparation du moût de dattes	28
3.2. Mise en œuvre de la fermentation alcoolique	28
3.3. Méthodes analytiques.....	29
3.3.1. Mesure du pH	30
3.3.2. Teneur en biomasse active	30
3.3.3. Dosage des sucres résiduels	31
3.3.4. Détermination du taux d'alcool	31
4. Analyse statistique.....	32

Résultats

1. Les propriétés physicochimiques des jus de dattes avant fermentation	33
2. Effet des facteurs testés	34
2.1. Effet concentration de la levure (taux inoculum).....	34
2.2. Effet concentration de la poudre de noyau dans le moût	36
2.3. Effet de la stérilisation.....	37
3. Détermination du degré d'alcool	40

Discussion	42
Conclusion	45
Références bibliographiques	47
Annexes	55

Liste des abréviations

ETBE : Ethyl Tertio Butyl Ether.

S. cerevisiae : *Saccharomyces cerevisiae*.

CH₃CH₂OH : Formule chimique de bioéthanol.

HCL : chlorure d'hydrogène.

pH : potentiel d'Hydrogène.

µm : Micro-mètre

Mb : Million de bases

(qr) : Quintaux

Kg : Kilogramme

Liste des figures

Figure 01. Production de bioéthanol de première génération.....	4
Figure 02. Production de bioéthanol de deuxième génération.....	4
Figure 03. Production de bioéthanol de troisième génération.....	5
Figure 04. La production mondiale de bioéthanol en 2019	7
Figure 05. <i>S. cerevisiae</i> sous microscope électronique à balayage.....	11
Figure 06. Principales caractéristiques d'une levure de <i>S. cerevisiae</i>	11
Figure 07. Reproduction asexuée de <i>S. cerevisiae</i> par bourgeonnement.....	12
Figure 08. Représente la production sexée de la levure	12
Figure 09. Schéma représente différente utilisation de <i>S. cerevisiae</i>	14
Figure 10. Représentation schématique du palmier dattier.....	16
Figure 11. Les tissus principaux de la datte.....	17
Figure 12. Les stades de développement des dattes	18
Figure 13. Les principaux pays producteurs de datte dans le monde en 2022.	22
Figure 14. La production des dattes 1994- 2021	22
Figure 15. Variétés de dattes utilisées	26
Figure 16. Levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (saf-instant)	26
Figure 17. Schéma représente les étapes de production du bioéthanol	27
Figure 18. Préparation de moût.....	28
Figure 19. La stérilisation des erlenmeyers dans l'autoclave (A). Les erlens après stérilisation (B)	29
Figure 20. Les étapes de la fermentation : inoculation (A), incubation agité (B) et statique (C)..	29
Figure 21. Schéma représente la récupération de la biomasse.....	30
Figure 22. Schéma représente la stérilisation des erlenmeyers dans autoclave	30
Figure 23. L'appareil réfractomètre	31
Figure 24. Dispositif de la distillation	32
Figure 25. Evolution de pH et les sucres résiduels durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration de la levure.....	35
Figure 26. Evolution biomasse et l'éthanol produit durant la fermentation alcoolique en fonction de concentration de la levure	35
Figure 27. Evolution de pH et les sucres résiduels durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration de poudre de noyau.....	37

Figure 28. Evolution de biomasse et éthanol produit durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration de poudre de noyau	37
Figure 29. Evolution de pH et les sucres résiduels durant la fermentation alcoolique en fonction de la stérilisation	39
Figure 30. Evolution de biomasse et éthanol produit durant la fermentation alcoolique en fonction de la stérilisation.....	39
Figure 31. Le degré d'alcool selon les différentes conditions.....	40
Figure 32. Flamme obtenue après la combustion du bioéthanol	41

Liste des tableaux

Tableau 01. Les propriétés physico-chimiques de bioéthanol.....	3
Tableau 02. Avantages et inconvénients de bioéthanol.....	6
Tableau 03. Représente les différentes catégories des dattes.....	17
Tableau 04. Stade de maturation de datte.....	18
Tableau 05. Principales variétés de dattes.....	19
Tableau 06. La composition chimique des noyaux de dattes	21
Tableau 07. Production et rendements de dattes par rapport aux superficies et aux arbres	22
Tableau 08. Caractéristiques physico-chimiques du jus de dattes avant fermentation alcoolique	33
Tableau 09. Caractéristiques physico-chimiques du vin de dattes en fonction du taux d'inoculum	34
Tableau 10. Caractéristiques physico-chimiques du vin de dattes en fonction de la concentration de la poudre de noyau	36
Tableau 11. Caractéristiques physico-chimiques du vin de dattes en fonction de la stérilisation après culture statique	38
Tableau 12. Le degré d'alcool selon les différentes conditions	40
Tableaux 13. Le volume de bioéthanol pour 1kg des dattes.....	41

Introduction générale

Introduction générale

Le développement de la filière d'énergie renouvelable et durable est devenu nécessaire pour faire face le réchauffement climatique, la variabilité du marché du pétrole et l'augmentation de la pollution atmosphérique, dans le but d'assurer la sécurité énergétique future (**El-Hadi et al., 2016**). Les bioénergies comme le bioéthanol, le biodiesel et ainsi d'autres, considérés comme des solutions économiques prometteuses pour les énergies renouvelables, spécialement dans la situation actuelle où les énergies fossiles sont commencées à se raréfier (**SINDHU et al., 2016**).

La biomasse forme des différents types d'écosystème, est l'une des ressources renouvelables la plus abondante dans la planète et certainement une des moins coûteuses. Cette dernière est définie comme étant l'ensemble de la fraction biodégradable des produits, des résidus et des déchets. Elle inclut : la biomasse agricole, la biomasse lignocellulosique et la biomasse issue des micro-organismes (**COT, 2006**).

L'Algérie est l'un des plus importants pays producteurs de dattes au monde où elle se classait au quatrième rang mondial, exploité environ 167 279 hectares de sa superficie totale, ce qui équivaut à produire 10 255 000 quintaux de dattes (100 variétés) (**MADR, 2021**). La datte est un élément important de l'alimentation tant pour les humains que pour les animaux. Ce fruit de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) contient une teneur élevée en sucre (73% à 83%) tel que le fructose, le saccharose et le glucose, et contient également des lipides, des éléments minéraux, des protéines et des vitamines. Le secteur phoenicicole Algérien constitue un pôle attractif, et fourni en plus des dattes, une biomasse importante constituée par les déchets de dattes, les pédicelles de dattes et les palmes sèches. Ces sous-produits sont pratiquement utilisés dans l'alimentation animale (**BOULAL, 2017**).

En effet, les dattes communes de faible valeur marchande par leur richesse en sucres fermentescibles (jusqu'à 65%), trouvent d'autres débouchés pour les améliorer par des transformations technologiques et biotechnologiques, afin d'obtenir de nouveaux produits à forte valeur ajoutée, entre autres : sirops, confitures, farines, levures, vinaigres, alcools... (**TOUZI, 1997**)

Ce dernier représente la substance énergétique de base pour de nombreuses industries. Dans cette préoccupation, il est jugé utile d'utiliser les dattes de faible valeur commerciale comme substrat de fermentation pour la production du bioéthanol par la levure boulangère.

La levure *S. cerevisiae* est le microorganisme modèle de la fermentation alcoolique, elle tolère de fortes concentrations en éthanol, mais elle est sensible au taux élevé en glucose (effet glucose). La fermentation alcoolique est un procédé biologique consiste à transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose, en alcool, CO₂ et énergie. En outre, la levure boulangère a la propriété de se sédimenter dans le milieu à la fin de la culture, ce phénomène de floculation constitue l'avantage pour une bonne séparation des levures (**KAIDI et TOUZI, 2001**).

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

A la lumière de tous cela, ce travail se focalise sur l'exploitation des dattes de faible valeur marchande et inesthétique, pour obtenir des rendements intéressants en bioéthanol. Notre étude s'insère dans cette optique et consiste à développer un procédé biotechnologique de production par fermentation du bioéthanol.

Le travail est présenté selon le plan suivant qui comprend la première partie relative à l'étude bibliographique. Cette partie est divisée en deux chapitres :

- ✓ Chapitre 01 : Le bioéthanol et la levure *Saccharomyces cerevisiae*.
- ✓ Chapitre 02 : Les palmiers dattiers et les déchets de dattes.

_ La deuxième partie présente le protocole expérimental, avec une explication des méthodes et des techniques analytiques utilisées.

_ La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus, accompagnés d'explications et de discussions.

_ Dans la conclusion générale, les principaux résultats de l'étude sont résumés, ainsi que les perspectives attendues de ce travail.

Chapitre I

Le bioéthanol et la levure *Saccharomyces cerevisiae*

1. Généralité sur le bioéthanol

1.1. Le bioéthanol

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

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

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

1.2. Propriétés physico-chimiques du bioéthanol

Les propriétés physico-chimiques du bioéthanol sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 01. Les propriétés physico-chimiques du bioéthanol (source : INRS) (MERTENS et ROIZ, 2010).

Formule chimique	CH ₃ CH ₂ OH
Masse molaire	46.07 g/mol
Point de fusion	-114 °C
Point d'ébullition	78.5 °C
Densité	0.789
Densité de vapeur (air = 1)	1,59
Coefficient de partage octanol/eau	-0,31
Points d'éclair (Coupelle fermée)	12.8 °C
Points d'éclair (Coupelle Ouverte)	16 °C
Type de moteur	A combustion

1.3. Générations du bioéthanol

Selon les matières premières utilisées, il existe plusieurs générations de bioéthanol :

1.3.1 Bioéthanol de première génération

Le bioéthanol est le produit de la fermentation des sucres fermentescibles (hexoses – sucres à six carbones) vient des plantes sucrières comme la betterave, la canne à sucre (Figure 01), ou certains fruits comme la datte, la pomme, les pêches... Les sucres sont présents sous forme d'un polymère ou d'amidon, ce dernier est hydrolysé par voie chimique et enzymatique en monomères sucrés avant d'être transformé en éthanol. Le bioéthanol produit à partir de ces matières premières est dit de première génération (ATIYEH, 2015).

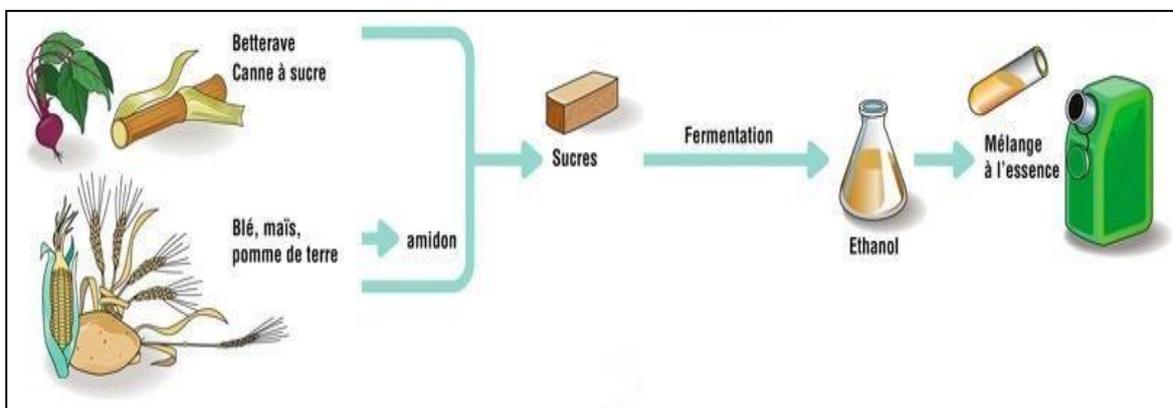


Figure 01. Production de bioéthanol de première génération (ALIO, 2020).

1.3.2 Bioéthanol de deuxième génération

Bioéthanol issus des ressources lignocellulosiques, les matières premières non alimentaires utilisées pour la production de bioéthanol de deuxième génération comprennent la biomasse cellulosique, telles que des résidus agricoles (paille) et forestiers (bois) ou des sous-produits de transformation du bois tels que des cultures dédiées (taillis à croissance rapide) (Figure 02) (O'DONOHUE et DEBEIRE, 2006).

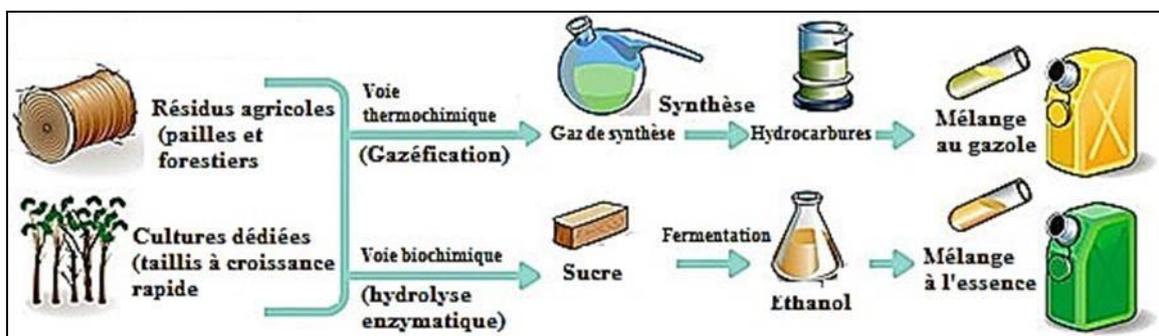


Figure 02. Production de bioéthanol de deuxième génération (BOULAL, 2017).

1.3.3 Bioéthanol de troisième génération

Dans cette génération le biocarburant est obtenu à partir de la production des lipides ou d'hydrogène par des micro-organismes (DRAGONE *et al.*, 2011), comme *Chlamydomonas*, *Dunaliella*, *Scenedesmus* et *Tetraselmis* qui accumulent une large quantité de glucides (> 40% du poids sec) (Figure 03), aussi connues par leur importante quantité d'amidon et glycogène, ces algues et ces micro algues sont des candidats idéaux pour la production de bioéthanol (HO *et al.*, 2012).

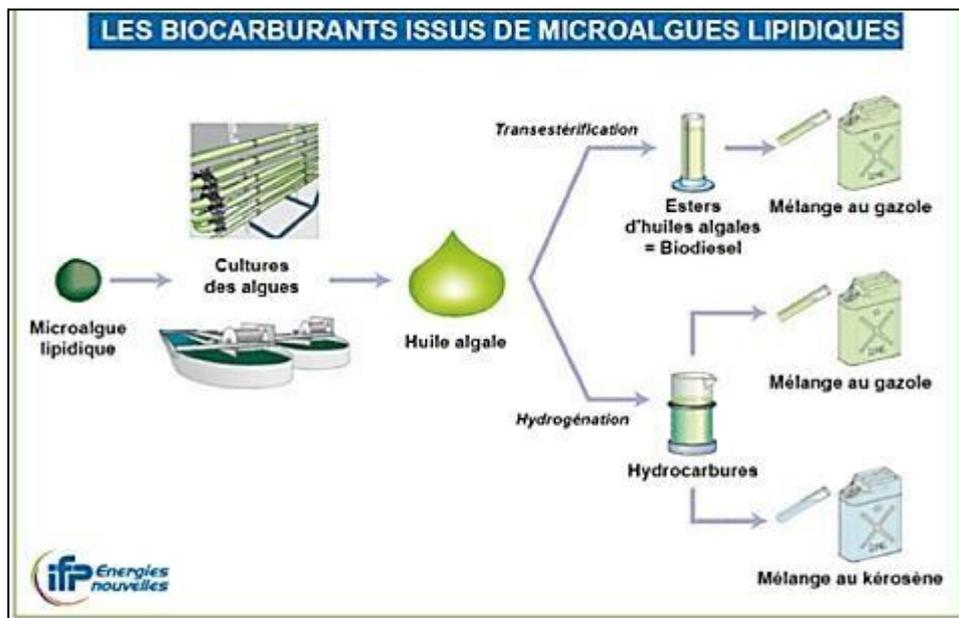


Figure 03. Production de bioéthanol de troisième génération (VAITILINGOM *et al.*, 2021).

2. Utilisation de bioéthanol

✓ Il constitue le principe actif de base des boissons alcoolisées, et entre dans la synthèse de produits chimiques tels que les peintures, les encres, les matières plastiques, les cosmétiques..., il est également utilisé comme matière première pour la synthèse de solutions d'insecticides (KACIMI, 2008).

✓ Le bioéthanol est utilisé en mélange dans les essences à des niveaux de concentration variable : soit dans les supercarburants (manière systématique) ou dans le carburant super éthanol (haute teneur), ce carburant est destiné à des véhicules dédiés (véhicules à carburant modulable) (CLOONA, 2006).

✓ Le bioéthanol peut être également utilisé sous forme d'ETBE (Ethyl Tertio Butyl Ether) qui est un dérivé pouvant être mélangé à l'essence classique avec une proportion de 15%, ce dérivé utilise actuellement la plus grande partie de production de bioéthanol (CLOONA, 2006).

3. Avantages et inconvénients du bioéthanol

Le tableau 02 représente plusieurs avantages et inconvénients du bioéthanol.

Tableau02. Avantages et inconvénients du bioéthanol (OESTLING, 2001).

Avantages	Inconvénients
1/ Moins d'émissions de particules et de dioxyde de carbone CO ₂ .	1/ La production d'éthanol nécessite l'utilisation massive d'eau, de fertilisants, et de pesticides et contribue également à la déforestation.
2/ Le risque de formation d'ozone moins élevé que l'essence et le diesel.	2/ La flamme invisible de l'éthanol pur peut provoquer des problèmes de sécurité.
3/ Un coût relativement réduit et Rendement a indice d'octane élevé.	3/ L'augmentation de la consommation volumique de carbone.
4/ Diminution de la dépendance énergétique envers le pétrole.	4/ Concurrence entre l'alimentation et l'énergie.

4. Production de Bioéthanol

4.1. L'échelle mondiale

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

Les Etats-Unis, le Brésil et l'union Européenne sont les plus grands producteurs mondiaux de bioéthanol, ces trois régions produisent, à elles seules, plus de 86% de la production mondiale des biocarburants (DIDDEREN *et al.*, 2008). Jusqu'à 2019, les Etats- Unis (54%) et le Brésil (30% avec 32 000 millions de litres), maintient toujours les premières places, ensuite l'Union Européenne avec 5443 millions de litres (5%) (Figure 04). A travers le monde, il existe environ 700 installations industrielles pour la fabrication de l'éthanol par fermentation. Aux Etats Unis, ils commercialisent depuis 1975, de l'essence contenant 10% d'éthanol sous le nom de Gasohol.

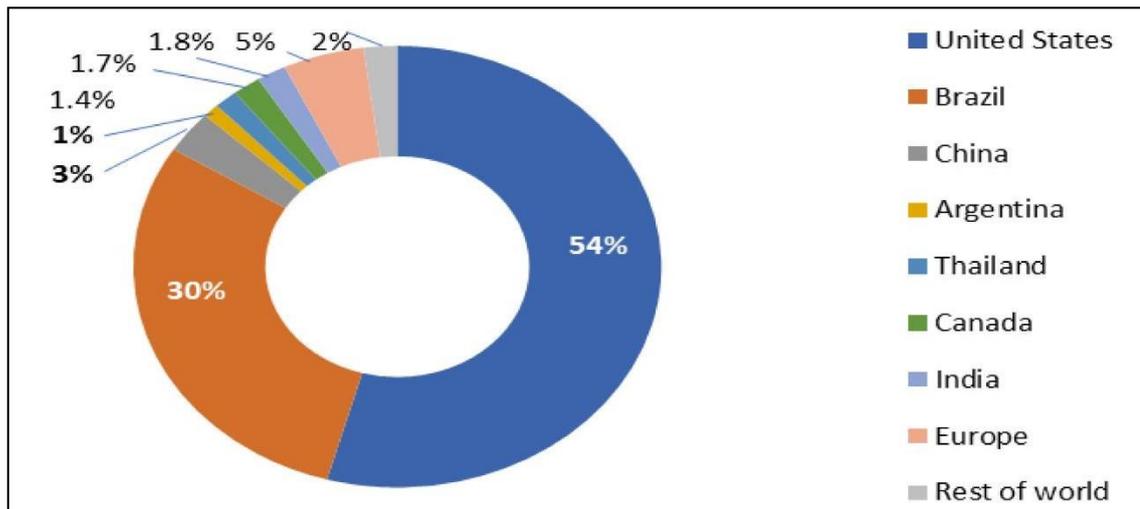


Figure 04. La production mondiale de bioéthanol en 2019 (SUSMOZAS *et al.*, 2020).

4.2. L'échelle national

L'Algérie, possède un potentiel considérable en déchets et sous-produits de dattes ce qui pourrait lancer un pareil programme. En effet, la production d'éthanol à partir des déchets de dattes constitue une solution intéressante sur le plan économique. Cet alcool peut remplacer avantageusement celui obtenu par voie chimique à partir des produits pétroliers et peut remplacer le pétrole léger comme carburant (TOUZI et AZBBES, 1988).

Enfin, il est utile de signaler, selon la Régie des Alcools, que notre pays importe entre 30 000 à 50 000 hectolitres d'alcool éthylique par an afin de couvrir ses différents besoins (BOULAL *et al.*, 2013).

5. La fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique est un procédé biologique qui transforme les sucres complexes en sucres simples puis en éthanol, dans des conditions d'anaérobiose par des levures notamment la levure *S. cerevisiae* qui généralement, tolère de fortes concentrations en éthanol mais sensible au taux élevé en glucose. Les produits de ce procédé sont éthanol, CO₂ et l'énergie, selon la réaction suivante :



Lors de la fermentation alcoolique, plusieurs changements peuvent apparaître : un dégagement de gaz carbonique, un changement d'odeur et de saveur, une diminution de la densité (transformation du sucre en alcool), augmentation de couleur, de température et du volume (KAIDI et TOUZI, 2001).

5.1. Les modes de culture

Il y a trois modes de culture qui peuvent être utilisés pour la production de l'alcool. En effet, la production d'éthanol est le plus souvent réalisé à l'aide de procédé discontinu dans des bioréacteurs à grands volumes pouvant aller jusqu'à 500 m³. Aux Etats Unis, l'éthanol est obtenu par fermentation aux levures, à partir de l'amidon de maïs, selon un procédé en apport continu. Au Brésil, ils fabriquent l'éthanol depuis la création du programme Proalcool en 1975, par la fermentation des mélasses de canne à sucres, selon un procédé simple (fermentation en vrac suivi d'une distillation).

5.1.1. Le mode discontinu (mode *Batch*)

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

5.1.2. Le mode semi-continu (mode *Fed-Batch*)

Le mode *Fed- Batch* (de l'anglais *to feed*, pour alimenter), où les substrats sont ajoutés dans des conditions stériles, c'est un système semi-ouvert et le volume de culture liquide dans le bioréacteur augmente avec l'ajout aseptiquement de la culture. Les cultures *Fed-batch* sont les plus utilisées industriellement et les plus productives, ces cultures offrent de meilleurs rendements. Le milieu de culture est habituellement récolté uniquement à la fin de la période d'exploitation, soit intégralement ou partiellement (le reste étant utilisé comme inoculum pour la prochaine production) (HUSSENET, 2017).

5.1.3. Le mode continu

Ces cultures sont cultivées dans des réacteurs de type Chémostat pour les plus simples en régime stationnaire (où l'entrée est égale à la sortie par unité de temps).

La fermentation continue est un système de fonctionnement ouvert avec ajout et décharge continus de la solution dans le système. Les micro-organismes et les substrats sont ajoutés de manière homogène et stérile au bioréacteur (HUSSENET, 2017).

6. Micro-organismes producteurs d'éthanol

La matière première de composés complexes est convertie par des micro-organismes en composés simples, par fermentation alcoolique dans des conditions anaérobies pour produire l'éthanol et le CO₂.

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

✚ **Bactéries** : certaines bactéries sont capables de réaliser les fermentations alcooliques, entre autres : *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca* et *Zymomonas mobilis* (DIEN *et al.*, 2003).

✚ **Champignons** : en raison de leur capacité à sécréter des enzymes extracellulaires qui peuvent dégrader les structures des parois végétales, les champignons de la pourriture blanche ont un intérêt dans la production d'éthanol comme : *Trichoderma reesei* et *Aspergillus spp* (LARBI et BERRICHE, 2019).

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

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

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

7. *Saccharomyces cerevisiae*

7.1. Généralités

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

La levure *S. cerevisiae* divisé en deux parties, *Saccharomyces* vient du mot saccharose qui signifie « sucre » et myces qui signifie « champignon ». Tandis que *cerevisiae* indique « cervoise », c'est le terme scientifique qui désigne le champignon le plus important dans l'industrie de l'éthanol appelé aussi levure de boulanger ou de bière (**LARPENT et GOURGOUD, 1982**). C'est un champignon unicellulaire eucaryote avec un ADN de 12068 kilobases (kb) organisés en 16 chromosomes, elle est utilisée comme organisme-modèle en raison des avantages qu'elle offre, elle est facile à manipuler, son temps de génération rapide par rapport aux autres champignons et elle permet la fermentation alcoolique de certains sucres comme le saccharose (**PARAPOULI et al., 2020**).

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

7.2. Classification de la levure

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

- **Règne** : Protiste-Eucaryote
- **Classe** : Ascomycetes
- **Sous-classe** : Hemiascomycetes
- **Ordre** : Endomycetales
- **Famille** : Saccharomycetaceae
- **Sous-famille** : Saccharomycetoideae
- **Genre** : *Saccharomyces*
- **Espèce** : *Saccharomyces cerevisiae*

7.3. Morphologie et structure cellulaire

La levure se caractérise par une forme ovoïde, allongée ou sphérique de taille variable entre 1 à 10 µm (**NGUYEN, 2016**) (Figure 05).

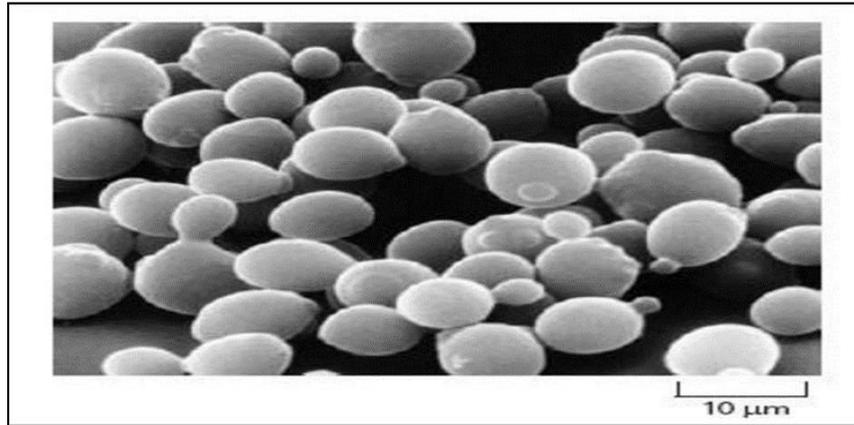


Figure 05. *S. cerevisiae* sous microscope électronique à balayage (AKSIT, 2012).

Cette levure eucaryote à une structure cellulaire un peu compliquée, composée d'un cytoplasme enveloppé et entouré d'une membrane plasmique et d'une enveloppe périphérique. Elle contient des organites tels que le noyau, les mitochondries, l'appareil de Golgi, le réticulum endoplasmique et les vacuoles s'organisent grâce au cytosquelette (Figure 06). Le noyau de *S. cerevisiae* contient un génome 12 à 14 Mb, séparés en 16 chromosomes linéaires portant 6000 gènes dont 5000 sont individuellement non essentiels (PRETORIUS, 2016).

Les cellules de la levure *S. cerevisiae* ont une division rapide, une fois toutes les 90 minutes dans des conditions optimales par un processus de bourgeonnement dans lequel des cellules filles plus petites bourgeonnent hors de la cellule mère (DUINA *et al.*, 2014).

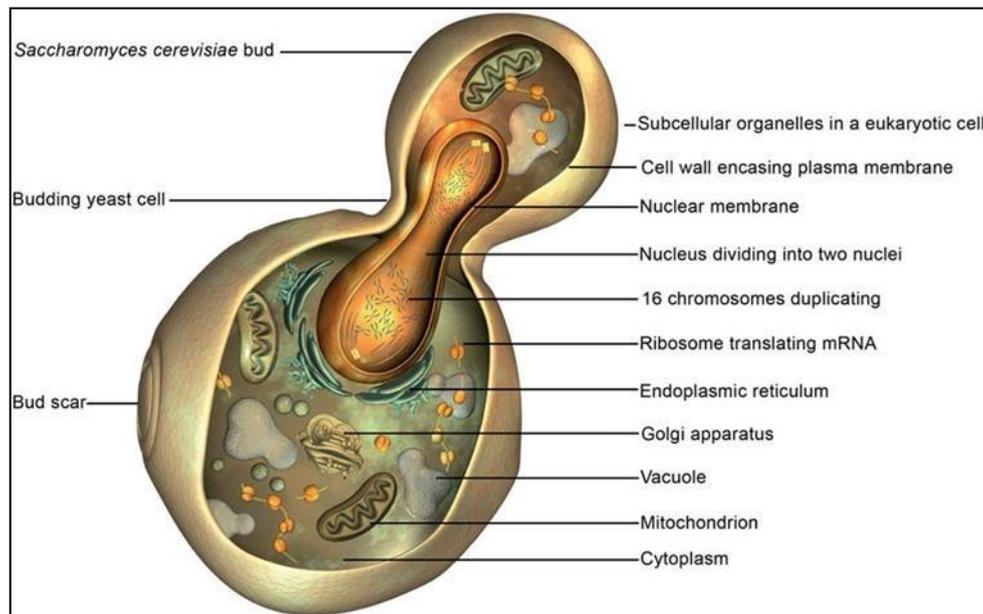


Figure 06. Principales caractéristiques d'une levure de *S. cerevisiae* (PRETORIUS, 2016).

7.4. Reproduction de la levure

Les levures dépendent la plupart du temps de la reproduction asexuée, mais *S. cerevisiae*

a la capacité de se reproduire par voie sexuée et asexuée en fonction du milieu. Si le milieu est riche en sucres et en minéraux, elles se reproduisent par bourgeonnement, tandis que, si le milieu est défavorable (manque des sucres et des minéraux, elles sporulent) (THURIAUX, 2004).

7.4.1. La reproduction asexuée : la cellule mère donne deux cellules filles par bourgeonnement (Figure 07), ce dernier commence par la saillie d'une petite masse à la surface de la cellule mère et s'en sépare lorsqu'elle atteint la même taille (identique), le noyau migre vers la paroi de la cellule mère pour qu'une partie s'infilte dans le bourgeon, il suffit quatre-vingt-six minutes pour la reproduction asexuée (CASTAN, 2016).

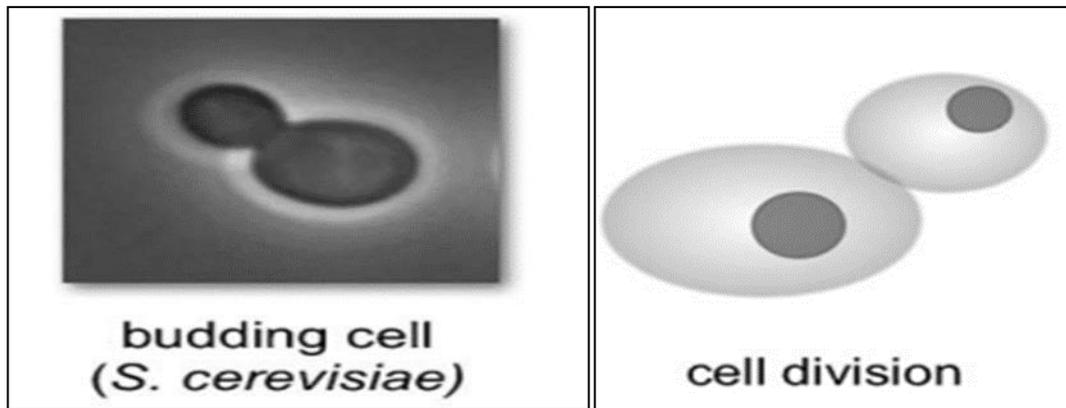


Figure 07. Reproduction asexuée de *S. cerevisiae* par bourgeonnement (KNOP, 2011)

7.4.2. La reproduction sexuée : c'est la fusion de deux cellules préexistantes lorsque le milieu de culture est défavorable, la levure est une cellule diploïde donne par méiose, des cellules haploïdes (4 spores) (Figure 08), qui sont enfermées dans un sac appelé asque (CASTAN, 2016).

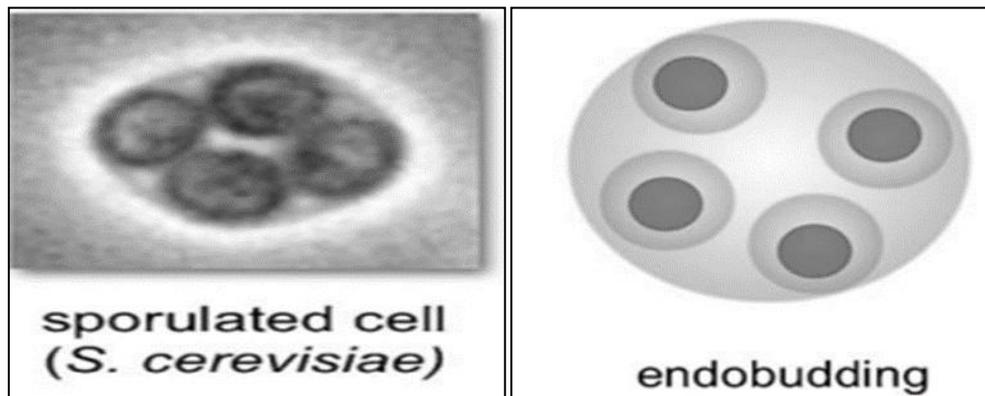


Figure 08. Représente la production sexuée de la levure (KNOP, 2011).

7.5. Le métabolisme de la levure

La levure *S. cerevisiae* dégrade le substrat en raison de la production et de la consommation de l'énergie nécessaire à leur développement (CASTAN, 2016). Pour produire de bioéthanol, la levure utilise les sucres comme source de carbone, le glucose c'est la source de carbone préférée pour *S. cerevisiae*. Il existe trois types de métabolisme : le métabolisme oxydatif, le métabolisme fermentaire et le métabolisme oxydo-réductif (CELTON, 2011).

7.5.1. Le métabolisme oxydatif : ce type de métabolisme est mis en place en la présence d'oxygène (aérobiose) où l'oxydation du glucose est complète tandis que l'enzyme de la respiration de ce métabolisme est situé dans les mitochondries (CASTAN, 2016). L'oxygène est le seul accepteur final d'électrons. Lorsque la levure consomme le glucose en présence d'oxygène, la biomasse, le dioxyde de carbone et l'eau sont les seuls produits obtenus selon l'équation suivante (RICHARD, 2014) :



7.5.2. Métabolisme oxydo-réductif : ce métabolisme est effectué en présence d'oxygène (en aérobiose) et le milieu présente une forte concentration en substrat, cette condition conduit à la production d'éthanol et l'inhibition de la respiration par l'activité glycolytique, le rendement en biomasse est inférieur à celui observé en métabolisme oxydatif (RICHARD, 2014).

Selon (ALEXANDER et JEFFRIES, 1990), le métabolisme oxydo-réductif appelé aussi le phénomène de l'effet Crabtree.

7.5.3. Métabolisme fermentaire : en anaérobiose, l'oxydation du glucose dans ce métabolisme est incomplète. Le CO₂ et l'alcool sont les produits issus de la consommation de glucose en absence d'oxygène. L'alcool est estimé à 95% et tandis que les 5% restant destiné à la formation de produits secondaires. Ce métabolisme est moins énergétique que le métabolisme oxydatif. L'enzyme responsable de la fermentation alcoolique est située dans le cytoplasme (CASTAN, 2016).

Le bilan énergétique de métabolisme fermentaire est donné par l'équation suivante : (RICHARD, 2014) :



7.6. Application industrielle de levure

De l'antiquité à nos jours, les levures sont considérées comme les plus importants en biotechnologie (alimentaires, agricoles et médicales) (Figure 09). La levure *S. cerevisiae* est caractérisée par sa physiologie qui joue un rôle important dans de nombreux procédés et fermentations alimentaires, ce qui en fait la levure la plus utilisée dans le domaine de l'industrie (JOHNSON et ECHAVARRI-ERASUN, 2011).

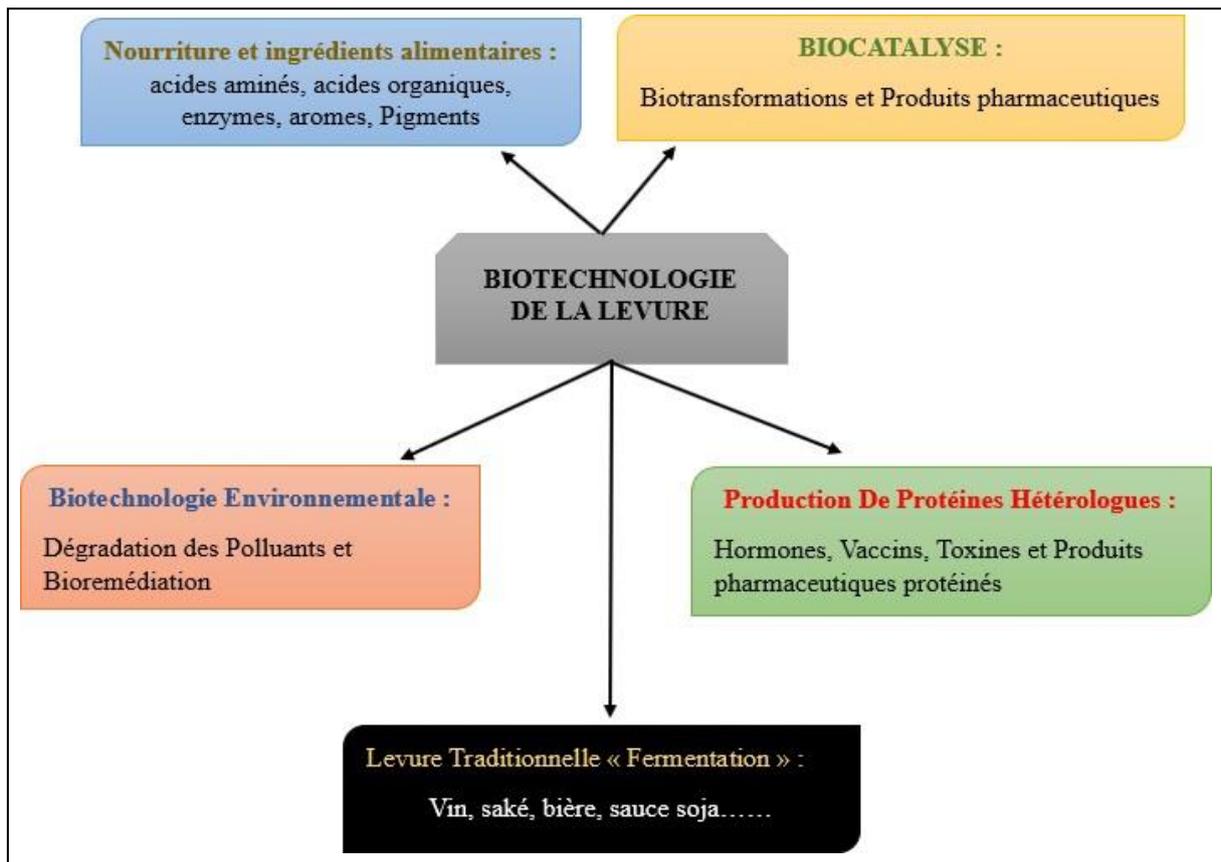


Figure 09. Schéma représente les différentes utilisations de la levure *S. cerevisiae* (JOHNSON et ECHAVARRI-ERASUN, 2011).

CHAPITRE II

Les dattes

1. Les palmiers dattier et la datte

1.1. Généralités sur le palmier dattier

Phoenix dactylifera c'est le nom scientifique du palmier dattier qu'il a nommé LINNE en 1734, provient du mot phénicien « *phoenix* » qui signifie palmier (l'arbre), ou bien *nakhil* en arabe ou *palm* en anglais, alors que « *dactyliserai* » signifie le doigt, qui illustre la forme en doigt des dattes, dérivé du mot grec « *dactylose* » (MUNIER, 1973).

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

Il contribue à rendre le climat local au sein des oasis égal, c'est ce qu'on appelle l'arbre de vie, et aussi considéré comme l'un des arbres les plus anciens, sa durée de vie est de 70 à 100 ans et sa hauteur est supérieure à 20 mètres (MOHAN, 2012).

Le palmier dattier est une plante monocotylédone arborescente à tronc monopodique, diploïde ($2n = 36$) de la famille des palmacées. Il possède trois parties (Figure10) (MUNIER, 1973).

- **Un système racinaire** : ce sont plusieurs types d'attaches racinaires qui ont partiellement émergé dans le sol. Les racines du palmier dattier s'étendent jusqu'à 25 mètres sur la longueur latérale de l'arbre et à plus de six mètres de profondeur, et ce système comporte quatre zones racinaires.

- **L'appareil végétatif** : composé de trois parties : le tronc, les bourgeons et les palmes (les feuilles).

- **L'appareil de reproduction** : ce sont les fleurs et les fruits.

- ✓ **Les fleurs** : les fleurs sont mono sexuelles disposées dans un spadice, ce dernier étant enfermé dans une enveloppe rigide appelée la spathe. Elles sont petites, blanches et parfumées.

- ✓ **Les fruits** : le développement des fleurs donne un fruit appelé « datte ».

1.2. Le palmier dattier en Algérie

Les palmiers du désert Algérien représentent une source de revenus pour plus de 100 000 familles du Sud d'Algérie (BOUGUEDOURA *et al.*, 2010). Parmi les pays producteurs de dattes dans le monde, l'Algérie occupe une place importante avec 12% de la production mondiale.

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

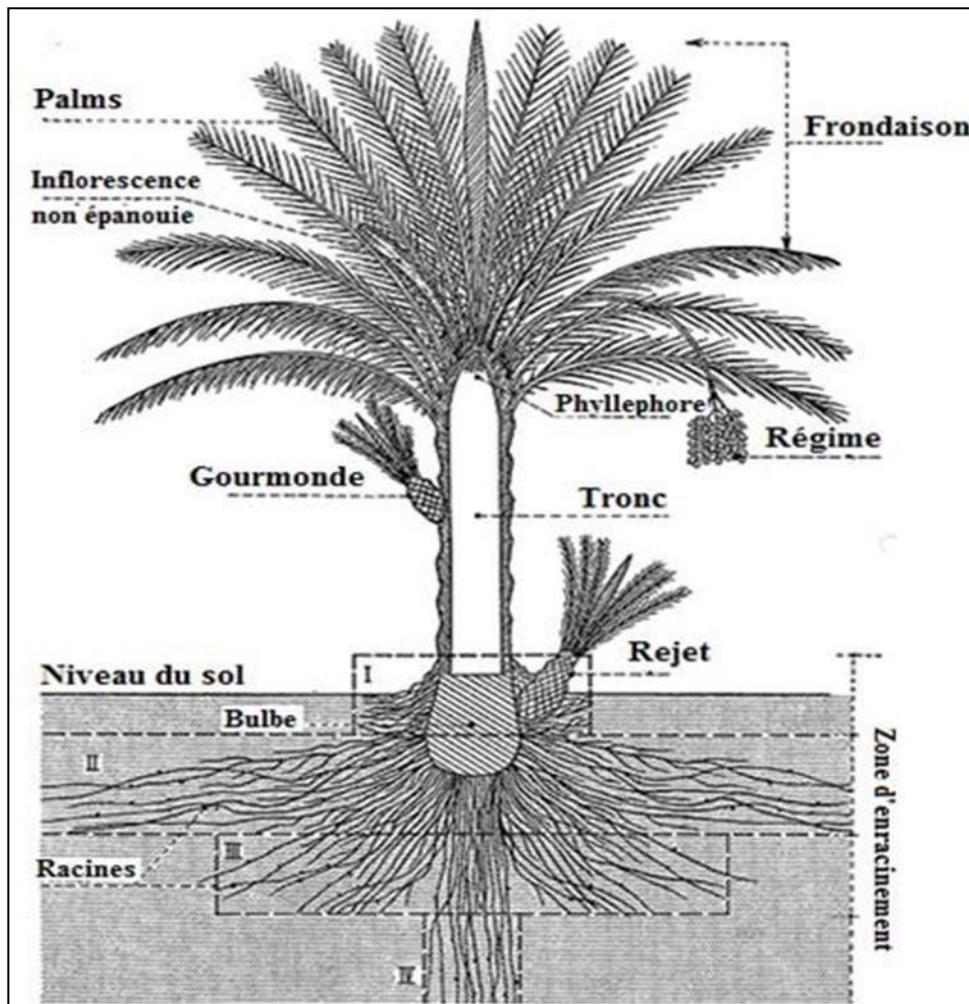


Figure 10. Représentation schématique du palmier dattier (MUNIER, 1973).

1.3. Les dattes

1.3.1. Définition

La datte considérée comme un élément important de l'alimentation, grâce à sa grande valeur nutritive et énergétique, expliquée par sa richesse en sucre et en élément minéraux. C'est un fruit de forme allongée, constitue d'une partie charnue (la chair : partie comestible de la datte) et d'un noyau. Sa couleur change du jaune doré au noir selon le stade de maturation, son goût et ses formes sont également variables (DOWSON et ATEN, 1963).

Selon les variétés des dattes, elle comporte trois tissus (Figure11) :

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

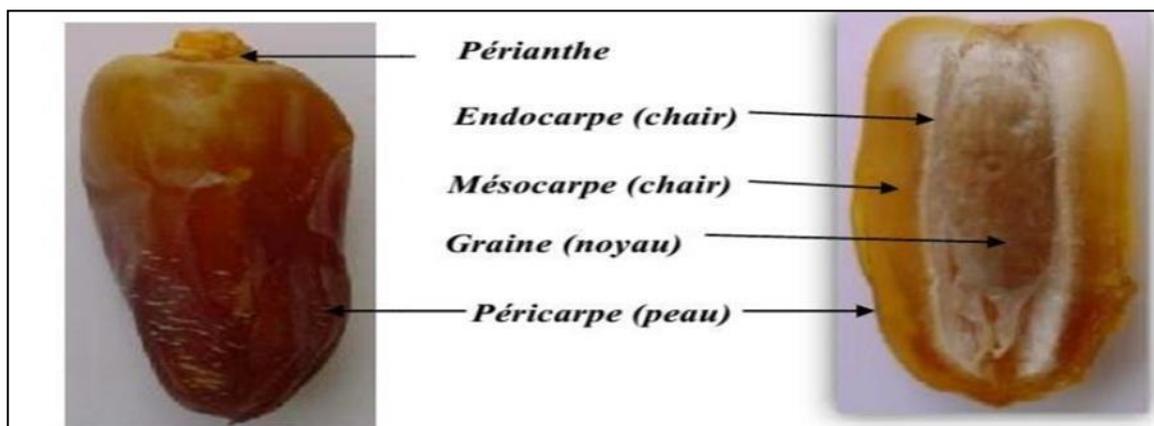


Figure 11. Les tissus principaux de la datte (BOULAL, 2017).

1.3.2. Classifications et catégories des dattes

Il existe trois catégories de dattes qui sont distinguées selon leur teneur en eau, on les différencie également selon leur teneur en glucose, saccharose et fructose (BOOIJ *et al.*, 1992)

Le tableau (03) représente les différentes catégories des dattes.

Tableau 03. Les catégories des dattes (BOOIJ *et al.*, 1992)

Dattes sèches	Dattes molles	Dattes semi molles
Teneur en eau est moins de 20%	Teneur en eau est supérieure à 30%	Teneur en eau est entre 20 et 30 %
Riche en saccharose Exemple : Degla Baida	Composé de fructose et de glucose Exemple : Hmira	Composé de fructose et de glucose Exemple : Ghars

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

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

1.3.3. Stade de développement de la datte

Après la fécondation, les dattes se développent en cinq stades et à chaque stade ça change leur couleur, consistance et aspect jusqu'au dernier stade « Tmar » (Figure 12) (HARRAK et BOUJNAH, 2012).

Le tableau (04) représente les stades de maturation de datte.

Tableau 04. Stade de maturation des dattes (HARRAK et BOUJNAH, 2012).

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

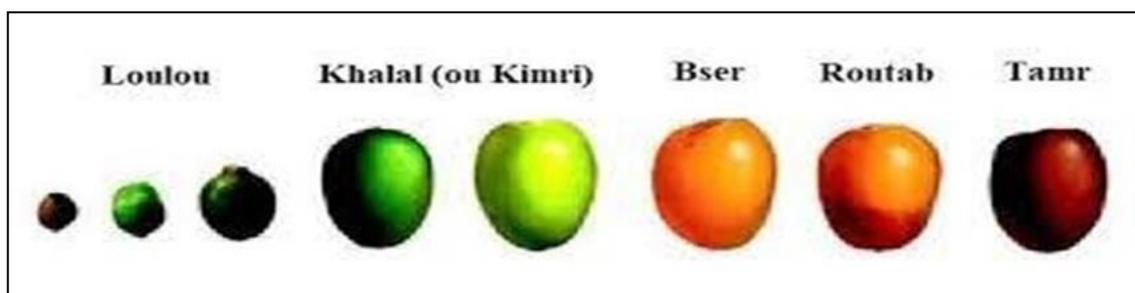


Figure 12. Les stades de développement des dattes (DOLLE et PEYRON, 2000).

1.3.4. Les variétés des dattes en Algérie

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

Le tableau (05) représente les principales variétés des dattes.

Tableau 05. Principales variétés des dattes.

Variétés	Propriétés
Ghars	Pâteux et collant, datte en termes de tartinade, sèche à demi- sèche, a une bonne aptitude de conservation notamment écrasée sous forme de b'tana en sacs. De couleur ambrée, mûre au mois d'octobre (BELGUEDJ, 2002).
Hmira	Une datte molle à demi- molle, de couleur marron rougeâtre, mûre en mois d'octobre et septembre, c'est une bonne datte conservée de façon écrasée ou sacs avec un important degré de commercialisation (HANACHI et al., 1998).
Deglet Talmine	C'est une datte beige à marron foncé, plastifiante, légèrement acide. Elle consomme fraîche en l'état ou conservée se forme piler et en poudre. Cette variété très demandée notamment par les pays du Sahel (BELGUEDJ, 2002).
Mech-Degla (MD)	Est un fruit de couleur beige clair teintée, qui se détériore après une longue période de temps grâce à sa texture fibreuse et sa consistance sèche. Ainsi qu'elle est classée parmi les dattes communes comparativement à Deglet-Nour (BUELGUEDJ, 2002).
Deglet Nour	Est une variété de dattes originaire d'Algérie. Elle est principalement cultivée dans le Bas Sahara, en Algérie. La deglet nour est particulièrement riche en apports énergétiques, composée de 70% d'eau, de sucres (38% de saccharose), de vitamine C et de nombreux minéraux. Cette variété est extra-moelleuse, charnue et sa peau est très fine, sa couleur est claire, dorée et translucide, conservée pour une longue période de 6 à 12 mois dans l'emballage approprié et peut être conservé à plusieurs manières (en état fraîche, en pâtisserie/confiserie ou fourrée au beurre frais) (BUELGUEDJ, 2002)

1.3.5. Composition biochimique de la datte (la pulpe)

Selon (MUNIER, 1973), les dattes sont des fruits composées de deux parties, une partie comestible qui est la pulpe et une partie non comestible qui présente le noyau. La datte se compose essentiellement (ESTANOVE, 1990) : de l'eau, des sucres (saccharoses non réducteurs, glucose et fructose qui sont des sucres réducteurs), des non sucres (cendres, lipides, vitamines, protéines, acides aminés et les fibres). Elle se compose aussi de la matière grasse, les fibres et les pigments (TOURQUI et ZANE, 2018).

➤ **L'eau** : la teneur en eau dans les dattes varie selon le stade de maturation, climat ou bien la région de production et humidité (HARRAK et BOUJNAH, 2012). Dans les dattes fraîches, la teneur en eau est 70 à 80%, par contre dans les dattes sèches, la teneur en qu'elles contiennent varie entre 10 à 40% (ESTANOVE, 1990).

➤ **Les sucres** : la teneur totale en sucre varie selon les variétés et le climat, les dattes sont riches en sucre, car c'est leur principal composant, puisqu'il varie entre 60% et 80% du poids de la pulpe fraîche. Les plus présents sont les trois types de sucres : glucose, fructose et saccharose, et il y a d'autres sucres de faible proportion telle que : xylose, galactose et sorbitol (NOUI, 2007).

➤ **Les protéines et les acides aminés** : le pourcentage de protéines dans les dattes varie selon le stade de maturité, où il est le plus élevé dans le stade kimri (kh'lal) (5.5% - 6.4%) et diminue progressivement dans le stade Tamar (2% - 2.5%). La pulpe contient 0.2% - 0.5 % de protéines et les noyaux en contiennent 7.7% - 9.7% (JASIM *et al.*, 2014). En effet, les protéines de la datte contiennent 23 acides aminés et certains de ces acides aminés ne sont pas présents dans d'autres fruits (pommes, banane et orange) (AL-ShAHIB et MARSHALL, 2003).

➤ **Les fibres** : selon AL-ShAHIB et MARSHALL, (2002) les dattes contiennent environ 8.1 - 12.7% du poids sec donc elles sont riches en fibres, composée principalement de la pectine, cellulose, hémicellulose et lignine (JASIM *et al.*, 2014).

➤ **Les lipides** : le taux des lipides dans les dattes est faible (0,43 et 1,9%) et varie selon le stade de maturation, tel que : acide linoléique, acide linoléique, acide palmitique... (MIMOUNI, 2021).

➤ **Les vitamines** : les dattes fournissent 10 à 50% de vitamines telle que : vitamine A, B, B1, B2 (AL-ShAHIB et MARSHALL, 2003).

➤ **Les éléments minéraux** : elles contiennent environ 15 minéraux essentiels tels que le sodium, le phosphore, le zinc, le potassium, le magnésium, le cuivre... (**AL-ShAHIB et MARSHALL, 2003**).

1.3.6. Composition biochimique de la partie non comestible (le noyau)

Le noyau présente 7 à 30% du poids de la datte. Il est composé d'un albumen blanc, dur et corné protégé par une enveloppe cellulosique (Tableau 6) (**NOUI, 2007**).

Tableau 06. La composition chimique des noyaux de datte (**NOUI, 2007**).

Constituant	Teneur en %
L'eau	6.82%
Lipides	8.49%
Protéines	5.22%
Celluloses	16.20%
Cendres	1.12%

2. Production des dattes

2.1. Dans le monde

L'Asie est le plus important continent producteur de dattes au monde, avec 43.4% et 55.8%. Selon un rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, la production des dattes dans le monde atteint neuf millions de tonnes (**FAO, 2020**). Les cinq premiers pays producteurs de dattes dans le monde en 2022 sont (Figure 13) (**WEB MANAGER CENTER, 2023**) :

1 /Egypte : c'est le premier pays avec 1 500 000 tonnes.

2/Iran : en deuxième place par une production de dattes avec 1 200 000 tonnes.

3/Arabie Saoudite : est à la troisième classe avec 1 000 000 tonnes.

4/Irak : quatrième pays avec 600 000 tonnes.

5/Pakistan : cinquième pays 500 000 tonnes.

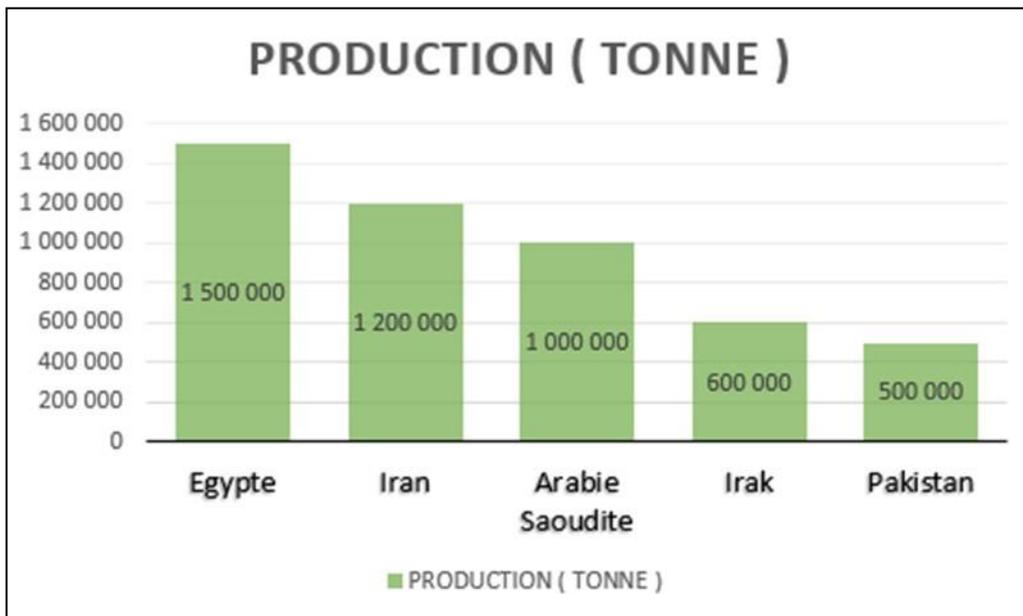


Figure 13. Les principaux pays producteurs de datte dans le monde en 2022 (WEB MANAGER CENTER, 2023).

2.2. En Algérie

L’Algérie est l’un des plus importants pays producteurs de dattes au monde. Elle s’est classée au quatrième rang mondial en 2021, dont 167 279 hectares exploités de sa superficie totale, ce qui équivaut à produire 10 255 000 quintaux de dattes (100 variétés) (Figure 14) (MADR, 2021).

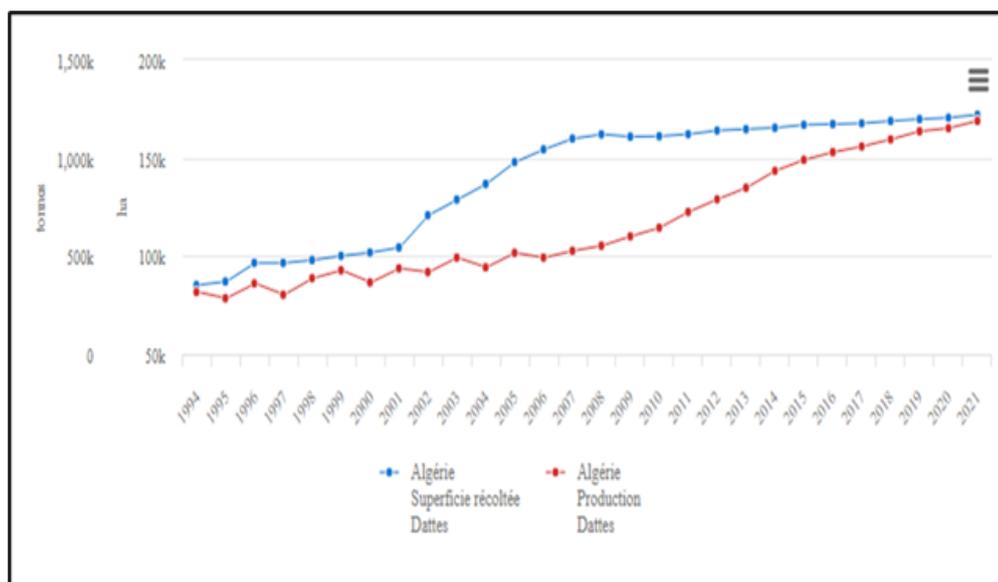


Figure 14. La production des dattes en Algérie (1994 – 2021) (FOASTAT, 2021).

Les trois wilayas qui produisent de grandes quantités de dattes en Algérie sont : Biskra, El-oued et Ouargla avec 40 77900 tonnes, 24 74000 tonnes et 12 96300 tonnes, respectivement (MADR, 2016). Le tableau (07) représente la production de dattes par rapport aux superficies et aux arbres.

Tableaux 07. Production et rendements de dattes par rapport aux superficies et aux arbres (MADR, 2016).

	Production (qx)	Rendement kg/arbre
Palmiers dattiers	11 360 249	68,8
Deglet noir	6 139 055	87,9
Dattes molles	2 201 706	64,2
Dattes sèches	3 019 488	49,6

3. Les déchets des palmiers dattiers

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

En effet, les résidus des palmiers dattiers et de dattes dans les pays qui produisent des dattes pour la récolte, sont considérés comme un fardeau important pour les fermes et les usines de transformation de dattes. L'accumulation de ces résidus, tels que les feuilles, les frondes et les tiges usées, ainsi que les restes des dattes infectées ou déformées, deviennent non adaptées à la mise en conserve et à la vente, entraîne une pollution environnementale évidente.

La valorisation énergétique des sous-produits de l'industrie des dattes en bioéthanol s'inscrit dans une démarche économique et environnementale (ELAREM *et al.*, 2011).

Il est donc nécessaire de trouver des alternatives pour valoriser ces déchets en créant des projets de recyclage visant à les utiliser comme aliments riches en fibres et en sucres. Lors d'une enquête menée sur certaines plantations de palmiers, il a été découvert qu'un seul palmier produit en moyenne 23 kg de déchets par an. Cette quantité illustre l'ampleur des déchets non utilisés, qui constituent un grave problème environnemental dans les pays producteurs de dattes (BENSAID, 2020).

Les rebuts de dattes ou écarts de tri de dattes sont les fruits du palmier dattier qui ne sont pas aptes à la consommation humaine, elles représentent une moyenne de 25 % de la production annuelle des dattes (CHEHMA et LONGO, 2001). Généralement, elles sont destinées pour

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

Aujourd'hui, avec les procédés biotechnologiques, une nouvelle génération de produits est disponible sur le marché national et international. Effectivement, les sous-produits du palmier dattier, riche en sucres fermentescibles (65%) (TOUZI, 1997), constituent une matière première intéressante pour fabriquer de nombreuses substances à forte valeur ajoutée dont l'impact socio-économique est important, point de vue création d'emplois et offrir aux consommateurs de substances très demandées et qui sont actuellement importées de l'étranger.

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

3.1. Mise en valeur des déchets de dattes

3.1.1. Vinaigre de dattes : c'est un produit artisanal produit par une double fermentation alcoolique puis acétique par la levure *Saccharomyces* suivi d'une acétification par la bactérie *Acetobacter aceti* (EL HADJ *et al.*, 2001).

3.1.2. Alcool : la fermentation alcoolique consiste à transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose par des levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories, selon la réaction suivante (KAIDI et TOUZI, 2001) :



3.1.3. Biomasse et protéine d'organismes unicellulaires : des essais de production de protéines d'organismes unicellulaires par culture de la levure *S. cerevisiae* sur un milieu à base de dattes, car la production de protéines reste un objet essentiel afin de subvenir aux besoins mondiaux (BESSAH et TOUZI, 2001).

3.1.4. La levure de boulangerie : production de protéines d'organismes unicellulaires (POU) à partir des déchets de dattes (BESSAH et TOUZI, 2001).

3.1.5. Les noyaux de dattes : la valorisation des noyaux des dattes comme matière première, permet d'élaborer plusieurs produits et dérivés, entre autres : café, produits cosmétiques (huile et khôl) et aliments pour bétail (CHERIET et MESSAOUDI, 2018).

3.2. Transformation technologique de la datte

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

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

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

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

Il y a d'autres nombreux produits tels que : le vin, jus de datte, sfouf (un produit de datte broyer) et b'tana.

Matériel et méthodes

1. Substrat de fermentation (matière première)

Ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire de Microbiologie, Université des Frères Mentouri Constantine 1. On a utilisé des dattes de différentes variétés, récupérées de la région de Biskra (SARL AMETNA, Zone Industrielle-Section 26-Biskra /Algérie). Le choix de ces dattes a été motivé par leur faible valeur marchande, leur disponibilité et leur teneur élevée en sucre, qui représente la source de carbone pour produire du bioéthanol (Figure15).

Il s'agit de variété demie molle à sucres susceptibles d'être plus ou moins assimilables par la levure.



Figure 15. Variétés de dattes utilisées (SARL AMETNA Biskra / Algérie).

2. Matériel biologique

La levure boulangère sèche vendu sur le marché, *S. cerevisiae* est la souche utilisée pour la production de bioéthanol (Figure16).



Figure 16. La levure boulangère *S. cerevisiae* (saf-instant).

3. Étapes de la production de Bioéthanol par fermentation des déchets de dattes

La production de bioéthanol à partir des déchets de dattes au niveau du laboratoire se fait selon les étapes suivantes : nettoyage et dénoyautage des dattes, préparation du moût de dattes (extraction), stérilisation, fermentation et distillation (Figure 17).



1. Nettoyage et dénoyautage



2. Moût de dattes



3. Fermentation



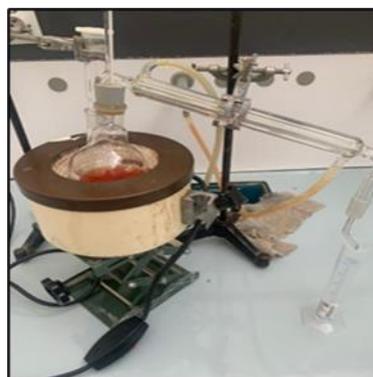
4. Culture non agité (statique)



5. Culture agité (non statique)



6. Vin de dattes



7. Distillation

Figure 17. Schéma représente les étapes de production du bioéthanol.

3.1. Préparation du moût de dattes

Les dattes de faible valeur marchande utilisée, sont nettoyées avec de l'eau de robinet pour enlever les impuretés et les pierres d'argile.

Le moût est un jus de dattes riche en sucre provenant du pressurage, obtenu selon les étapes suivantes :

- 1 kg de datte sont imbibés dans 3 litres d'eau chaude (80°C) (Figure18) ;
- Après imbibition, les dattes sont dénoyautées puis broyées ;
- La patte obtenue est mélangée avec l'eau d'imbibition (riche en sucre), pour obtenir le moût de dattes, qui représente notre substrat de fermentation.



Figure 18. Préparation du moût de dattes.

3.2. Mise en œuvre de la fermentation alcoolique

La fermentation en mode Batch (discontinu) est conduite dans des erlenmeyers de capacité 250ml, remplis 3/4 de leur capacité. Le pH du moût est ajusté entre 4,3 et 4,7 par l'ajout de l'HCL ou l'acide sulfurique. Ce pH acide favorise la prolifération de la levure et empêche le développement des bactéries. Les erlenmeyers sont fermés par du coton cardé doublé d'aluminium pour assurer des conditions d'anaérobiose (fermentation alcoolique). Les erlens sont stérilisés par autoclavage à 120°C pendant 20 min (Figure 19 (A et B)).



Figure 19. La stérilisation des erlenmeyers dans l'autoclave (A). Les erlens après stérilisation (B).

L'inoculum (la pré culture) est obtenu par ensemencement des tubes de 10ml de jus de dattes, par la souche *S. cerevisiae* (1g/L ou 2g/L, selon le cas), puis incubés à 30°C pendant 1 heure. Les erlenmeyers sont ensuite ensemencés stérilement par la pré culture de la levure, déjà préparée, puis incubés à 32°C dans un incubateur agité. Dans un autre essai, les erlens sont incubés dans un incubateur sans agitation (culture statique) (Figure 20 (A, B et C)).



Figure 20. Les étapes de la fermentation : inoculation (A), incubation agité (B) et statique (C).

3.3. Méthodes analytiques

Au fur et à mesure de la fermentation, des prélèvements sont effectués après 48 heures et 72 heures, pour faire des analyses physicochimiques. Le vin de dattes prélevé est centrifugé à 1500 rpm pendant 20 minutes, et sert à mesurer le pH, la biomasse, les sucres résiduels et le taux d'alcool.

3.3.1. Mesure du pH

La détermination du pH est essentielle pour le contrôle du goût, avant et au cours de la fermentation. La variation du pH nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure, par conséquent la dégradation des sucres en éthanol. Elle s'effectue par une lecture directe à l'aide d'un pH mètre (HANNA instruments) préalablement étalonné.

3.3.2. Teneur en biomasse active

La biomasse est l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergies, cette biomasse représente le culot obtenu après centrifugation (Figures 21 et 22).

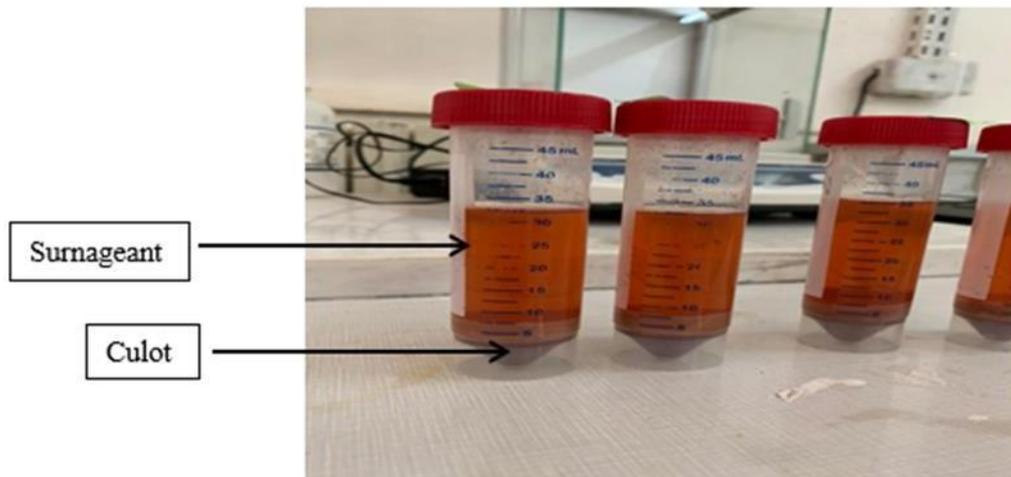


Figure 21. Image représente la culture après centrifugation.

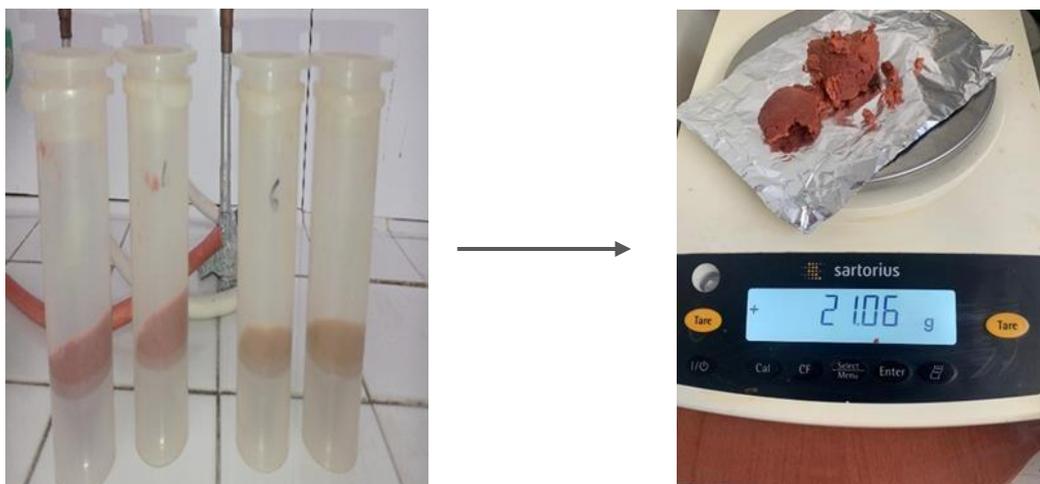


Figure 22. Schéma représente la récupération de la biomasse

La mesure de la biomasse de la levure est effectuée par dessiccation du culot dans une étuve à 105°C pendant 24 heures jusqu'à poids constant.

3.3.3. Dosage des sucres résiduels

Les sucres résiduels dans le surnageant sont déterminés par réfractomètre. La teneur en sucres résiduels est exprimée en pourcentage de masse ou en degré Brix (°Brix) (Figure 23) (BOULAL *et al.*, 2013).

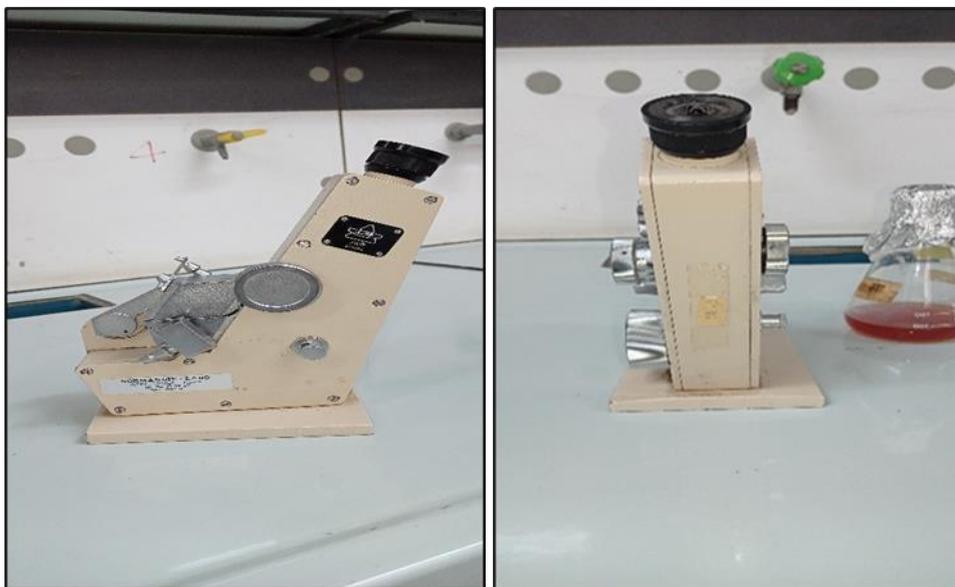


Figure 23. L'appareil de réfractomètre.

3.3.4. Détermination du taux d'alcool

Après centrifugation, le surnageant obtenu est distillé à l'aide d'un montage de distillation pour extraire l'éthanol. Le dispositif de distillation est constitué d'une chauffe ballon qui est relié à un thermomètre pour contrôler la température du flux de vapeur libéré pendant le chauffage. Le ballon est relié à un condensateur de vapeur (réfrigérant). La température de distillation ne doit pas dépasser 78°C (Figure 24).

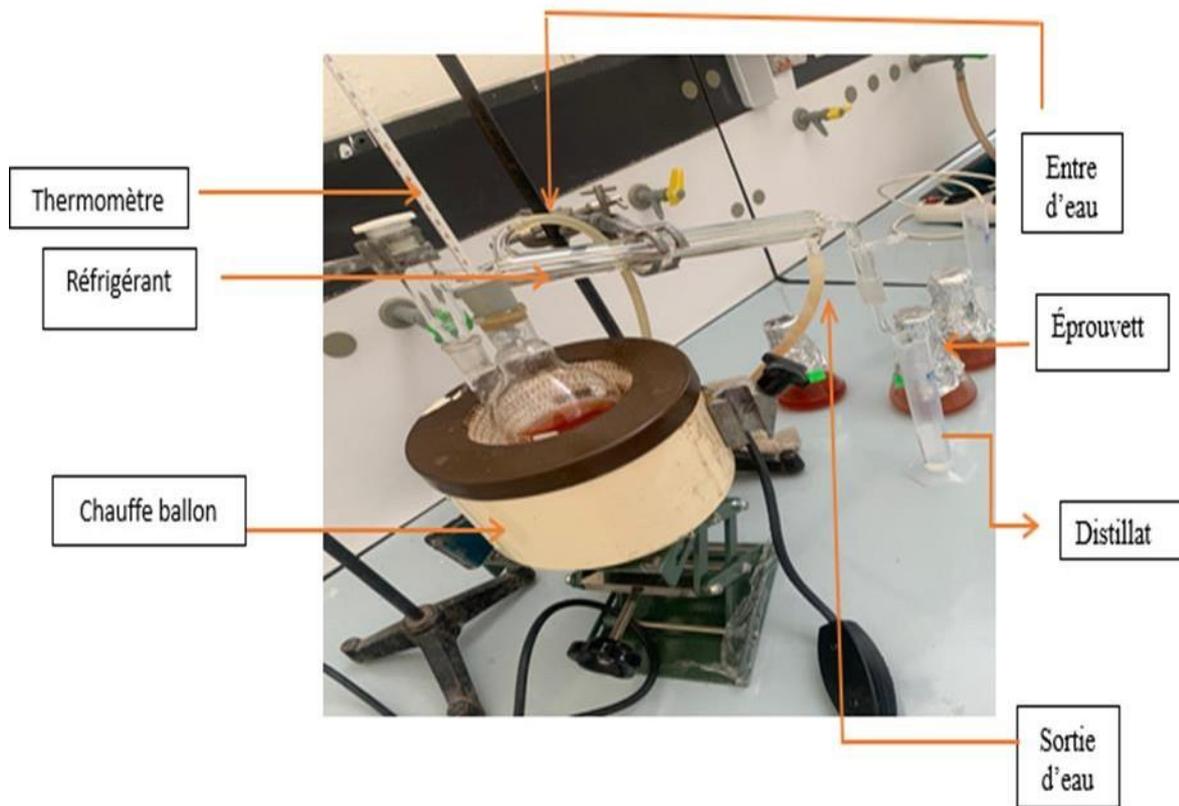


Figure 24. Dispositif de la distillation.

4. Analyse statistique

L'analyse de la variance (ANOVA) est utilisée pour la détermination de :

- Effet du taux d'inoculum sur la production de bioéthanol.
- Effet de la concentration de la poudre de noyau sur la production de bioéthanol.
- Effet de la stérilisation sur la production de bioéthanol.
- Comparaison de la production de l'éthanol par les deux types de cultures : statique et agitée.

Résultats

La production du bioéthanol à partir des déchets de dattes, est réalisée en utilisant la fermentation alcoolique assurée par la levure *S. cerevisiae*, qui repose sur un métabolisme fermentaire des sucres en éthanol.

A travers ce travail, les résultats escomptés sont :

- ✓ Mise au point du procédé de fabrication du bioéthanol,
- ✓ Optimisation de quelques paramètres de la fermentation,
- ✓ Détermination de la biomasse produite par la levure,
- ✓ Contribution au développement de l'élevage à travers une alimentation pour animaux, enrichie par la biomasse produite,
- ✓ Valorisation des déchets de dattes et la proposition d'un procédé industriel.

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

- Les caractéristiques physicochimiques du jus de dattes avant et après le procédé de la fermentation alcoolique.
- L'évaluation du rendement en éthanol obtenu ainsi que la biomasse produite.

1. Propriétés physicochimiques des jus de dattes avant fermentation

Les résultats de mesure de certaines propriétés physicochimiques du moût de dattes, avant fermentation (les conditions initiales), sont donnés dans le tableau 08.

Tableau 08. Caractéristiques physico-chimiques du jus de dattes avant la fermentation alcoolique.

Paramètres	pH	Sucres totaux (°Brix)	Couleur avant stérilisation	Couleur après stérilisation
Mesure	4,5 ± 0.3	20 ± 4	Marron	Marron rougeâtre

2. Effet des facteurs testés

2.1. Effet concentration de la levure (taux inoculum) : 2 concentrations sont testées 1g/L et 2g/L.

Après fermentation, certaines mesures sont effectuées sur le vin de dattes obtenu, après 48 heures et 72 heures (le pH, la biomasse, les sucres résiduels et le volume du bioéthanol obtenu). Le vin de dattes obtenu à une couleur marron rougeâtre.

Les analyses mesurées sont récapitulées dans le tableau 09.

Tableau 09. Caractéristiques physico-chimiques du vin de dattes en fonction du taux d'inoculum.

Concentration de la levure (g/L)	1		2	
	48	72	48	72
Temps (heure)				
pH	3.92 ±0.5	4 ±0.2	3.94 ±0.5	4.03 ±0.02
Sucres résiduels (°Brix)	3.9 ± 0.1	3.7 ±0.3	4.9 ±0.1	4.9 ±0.1
Biomasse sèche (g /L)	142.4 ± 1.12	157.3 ± 1.5	150.2 ± 3.86	160.5 ± 0.58
Volume de bioéthanol (ml)	9.25 ±0.5	8.25±0.5	8.25 ±0.5	7.75 ±0.5

La variation du pH est présentée dans la figure 25 (A). Une diminution du pH initial fixé à 4.5 jusqu'à 3.92 et 3.94 après 48 heures, avec 1g/L et 2g/L de la levure, respectivement. Une légère augmentation à 4 et 4.03 est enregistrée après 72 heures avec 1g/L et 2g/L de la levure, respectivement.

La consommation des sucres par la levure est exprimée par la teneur en sucres résiduels (°Brix) dans le vin de dattes obtenu à la fin de la fermentation. Une nette diminution des sucres (22°Brix dans le jus de dattes) après culture de la levure. 3.9 et 3.7°Brix sont mesurés avec 1g/L de la levure, après 48 et 72 heures, respectivement. Avec 2g/L de la levure, les sucres résiduels sont mesurés à 4.9°Brix après 48 et 72 heures (figure 25 (B)).

La biomasse sèche obtenue dans le vin de datte est mesurée à 142.4g/L et 150.2g/L après 48 heures, avec 1g/L et 2g/L de la levure, respectivement. Après 72 heures d'incubation, on enregistre une augmentation de la biomasse, à savoir 157.3 g /L et 160.5g/L avec 1g/L et 2g/L de la levure, respectivement. (Figure 26 (A)). Selon ANOVA (Annexe), le $F < 1$ (0.55) et $P >$

0.5 (0.67), donc l'effet du facteur n'est pas significatif.

Par rapport au volume de bioéthanol, on a obtenu le même volume qui est estimée à 8.25ml après 72 heures et 48heures, avec 1g/L et 2g/L de levure, respectivement. Le meilleur volume est estimé à 9.25ml après 48heures, avec 1g/L de levure, 7.25ml de volume de bioéthanol est obtenu après 72 heures, avec 2g/L de levure. (Figure 26 (B)). Selon ANOVA (Annexe), le $F > 1(6.33)$ et $P < 0.5 (0.05)$ donc l'effet du facteur est significatif.

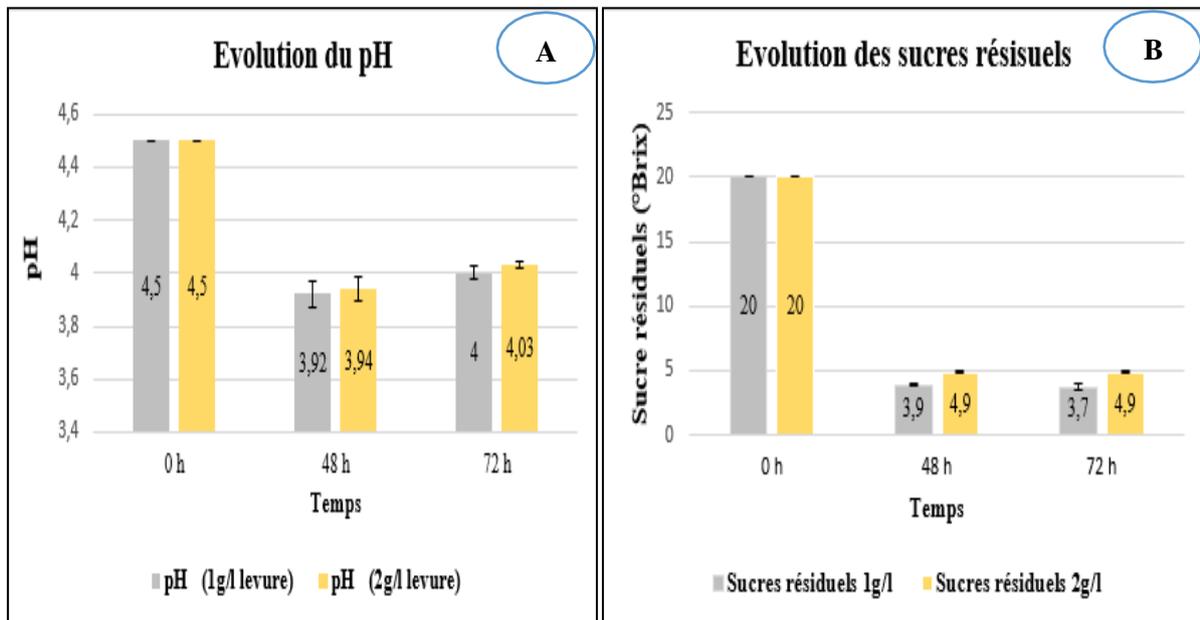


Figure 25. Evolution du pH (A) et des sucres résiduels (B) durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration en levure.

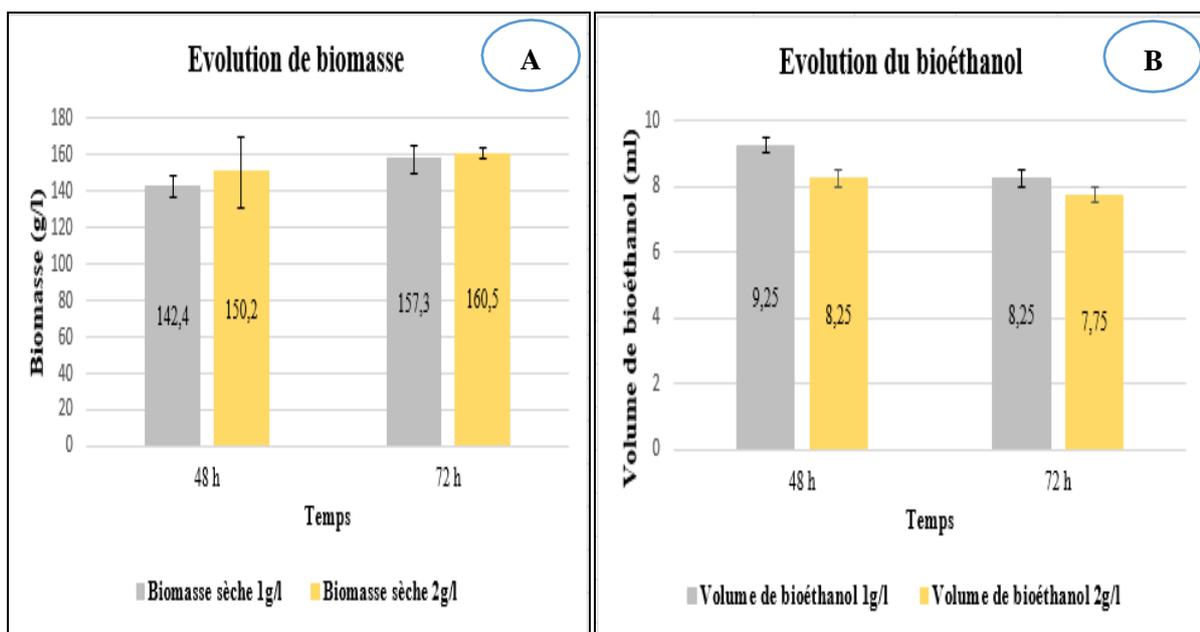


Figure 26. Evolution de la biomasse (A) et l'éthanol (B) produit durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration en levure.

2.2. Effet concentration de la poudre de noyau dans le moût

Un enrichissement du jus de dattes est aussi privilégié, avec la poudre de noyau, qui va apporter de la matière minérale, nécessaire pour une bonne croissance de la levure. De ce fait, le milieu de base est supplémenté par différentes concentrations en poudre de noyau (0.5g/L, 0.75g/L et 1g/L). Les milieux de culture ainsi préparés et stérilisés, sont inoculés par la levure à raison de 1g/L pendant 48 heures. Les résultats des paramètres mesurés sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10. Caractéristiques physico-chimiques du vin de dattes en fonction de la concentration de la poudre de noyau.

Concentration poudre de noyau (g/L)	0.5	0.75	1
pH	3,66 ±0.3	3,76 ±0.8	3,71 ±0.02
Sucres résiduels (°Brix)	3 ±1	4,5 ±0.4	4,1 ±0.1
Biomasse sèche (g/L)	179.75 ± 0.43	200.85 ± 1.41	204.4 ± 4.37
Volume de Bioéthanol (ml)	8,25 ±0.5	9.25 ±0.5	13.75 ±1.5

Au vu de la figure 27 (A), une diminution du pH initial fixé à 4.5 jusqu'à 3.66, 3.76 et 3.71, avec 0.5g/L 0.75g/L et 1 g/L de poudre de noyau, respectivement.

La consommation des sucres par *S. cerevisiae* est exprimée par la teneur en sucres résiduels dans le vin de dattes obtenu à la fin de la fermentation. Une grande diminution des sucres (20°Brix dans le jus de dattes) après fermentation, 3, 4.5 et 4.1 °Brix sont mesurés en présence de 0.5 g/L, 0.75 et 1g/L de la poudre de noyau, respectivement (Figure 27 (B)).

La biomasse augmente progressivement avec l'augmentation de la concentration en poudre de noyau. Elle est estimée à 179.75g/L, 200.85g/L et 204.4g/L, avec 0.5g/L, 0.75g/L et 1g/L de poudre de noyau, respectivement (Figure 28 (A)). Selon ANOVA (Annexe), $F > 1$ (1.004) et $P < 0.5$ (0.46) donc l'effet du facteur est significatif.

Le volume de bioéthanol obtenu avec 0.5g/L et 0.75g/L de poudre de noyau est estimé à 8.25ml et 9.25ml, respectivement. Une augmentation significative de volume de bioéthanol avec 1g/L de poudre de noyau qui a donné une valeur de 13.75ml (Figure 28 (B)). Selon ANOVA (Annexe), $F > 1$ (37.45) et $P < 0.5$ (0.007) donc l'effet du facteur est significatif.

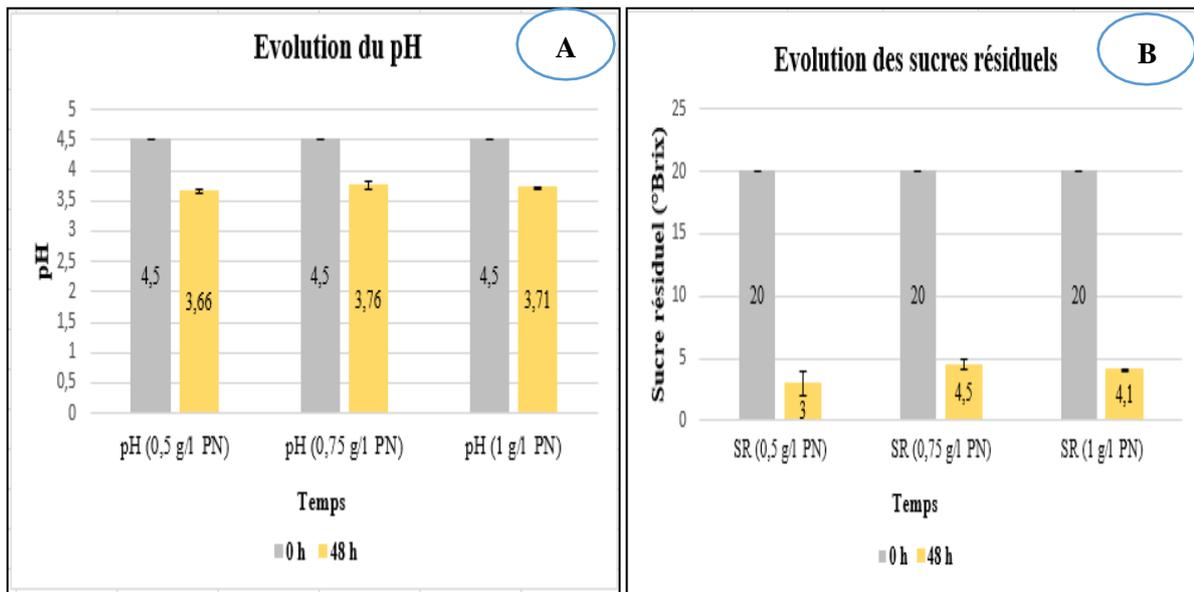


Figure 27. Evolution de pH (A) et les sucres résiduels (SR) (B) durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration en poudre de noyau (PN).

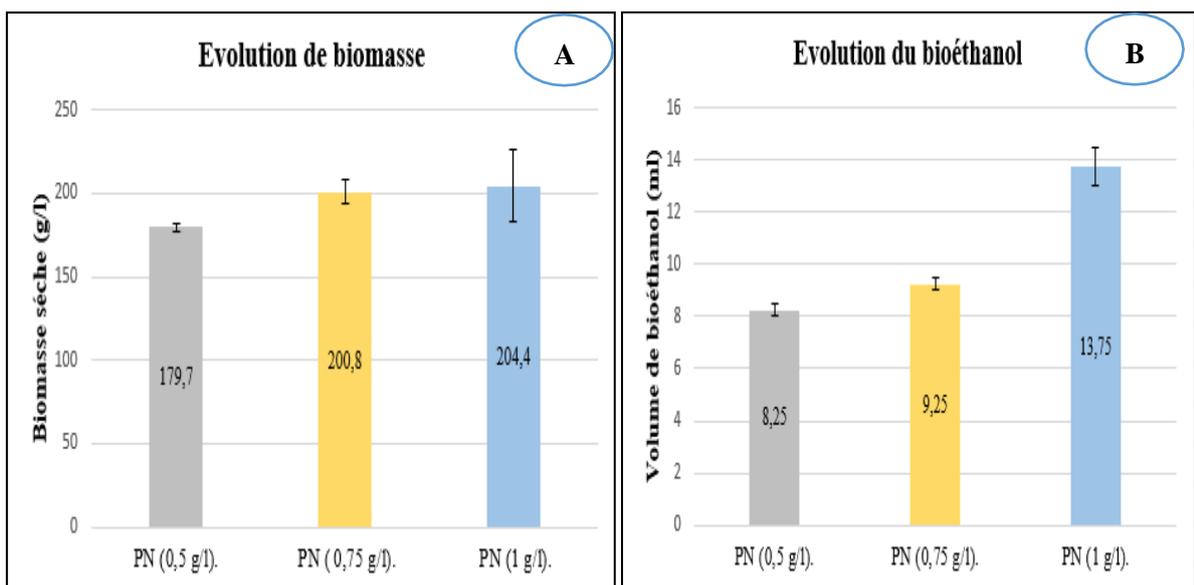


Figure 28. Evolution de la biomasse (A) et de l'éthanol (B) produit durant la fermentation alcoolique en fonction de la concentration en poudre de noyau (PN).

2.3. Effet de la stérilisation

Dans cet essai, on a fait une comparaison entre le jus de dattes stérile et non stérile, en culture statique, avec une concentration en levure à 1g/L pendant 48 heures d'incubation, pour suivre l'évolution des paramètres recherchés. Les résultats des paramètres mesurés sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11. Caractéristiques physico-chimiques du vin de dattes en fonction de la stérilisation en culture statique.

Culture statique	Stérile	Non stérile
pH	3,86 ±0.1	3,87 ±0.1
Sucres résiduels (°Brix)	5,1 ±0.1	4,1 ±0.1
Biomasse sèche (g/L)	221.4 ± 0.4	201.95 ± 2.07
Volume de Bioéthanol (ml)	12,25 ±1.5	9.5 ± 1

La variation du pH est présentée dans la figure 29 (A). Une diminution du pH initial fixé à 4.3 jusqu'à 3.86 et 3.87 en culture stérile et non stérile, respectivement.

La consommation des sucres par la levure est exprimée par la teneur en sucres résiduels dans le vin de dattes. Une diminution significative des sucres (20°Brix dans le jus de dattes) après culture de la levure. 5.1 et 4.1 °Brix sont mesurés en culture stérile et non stérile, respectivement (Figure 29(B)).

Selon le tableau (9) qui présente les résultats de la culture stérile et agité avec 1g/L de la levure pendant 48heures d'incubation, on observe des valeurs convergentes du pH avec 3.92 dans la culture agité et stérile, 3.86 dans la culture non agité et stérile (Figures 25 et 29).

La teneur en sucres résiduels dans le vin de dattes après fermentation (48 heures) avec 1 g/L de la levure, a subi une diminution dans la culture stérile avec agitation (3.9°Brix) et stérile sans agitation (5.1°Brix), donc la levure consomme un peu plus de sucres dans la culture stérile et agité (Figures 25 et 29). Alors, la levure est plus active en culture agité qu'en culture statique.

La biomasse obtenue de la culture stérile est un peu supérieure (221.4g/L) que celle obtenue en culture non stérile (201.95g/L), avec une différence 19.45g/L en faveur de la culture stérile (Figure 30 (A)). Selon ANOVA (Annexe), $F > 1(3.40)$ et $P < 0.5(0.20)$ donc l'effet du facteur est significatif

Un volume de bioéthanol estimée à 12.25ml obtenu par la culture stérile, contrairement à un volume un peu moins 9.5ml, obtenu dans la culture non stérile (Figure 30 (B)). Selon ANOVA (Annexe), $F > 1(9.30)$ et $P < 0.5(0.09)$ donc l'effet du facteur est significatif.

La biomasse en culture stérile et non agité (221.4g/L) est supérieure à celle de la culture stérile et agité (142.5g/L) (Figures 26 et 30).

Le volume de bioéthanol estimée à 9.25ml, est obtenu dans la culture stérile et agité, et une augmentation du volume de bioéthanol estimé à 12.25ml obtenu dans la culture stérile et non agité (Figure 25 et 30).

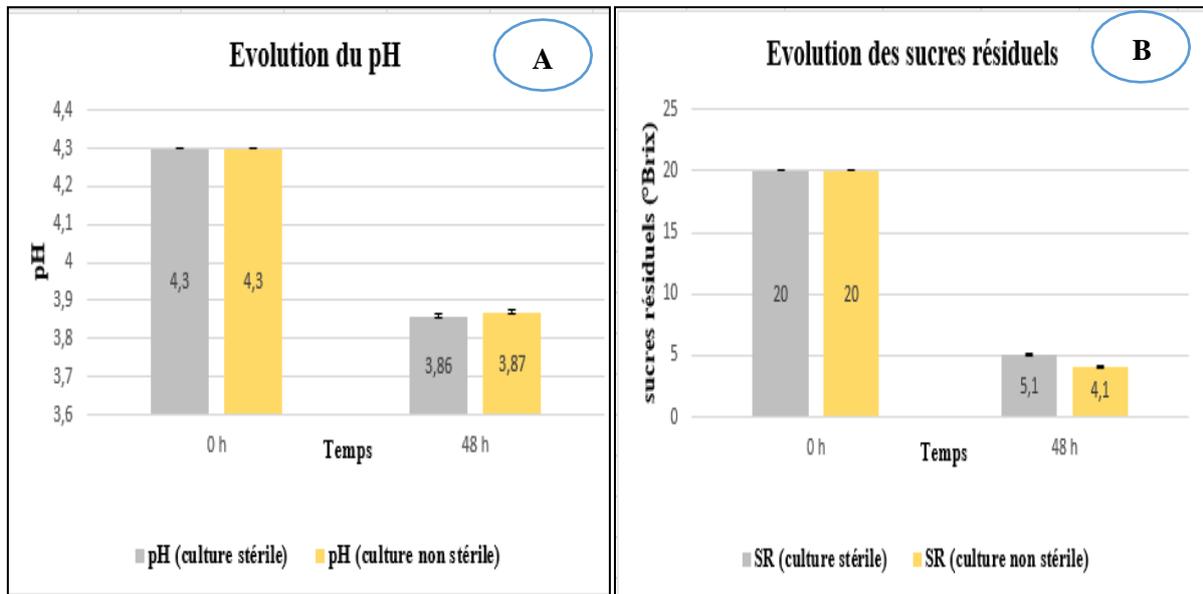


Figure 29. Evolution du pH (A) et des sucres résiduels (SR) (B) durant la fermentation alcoolique en fonction de la stérilisation.

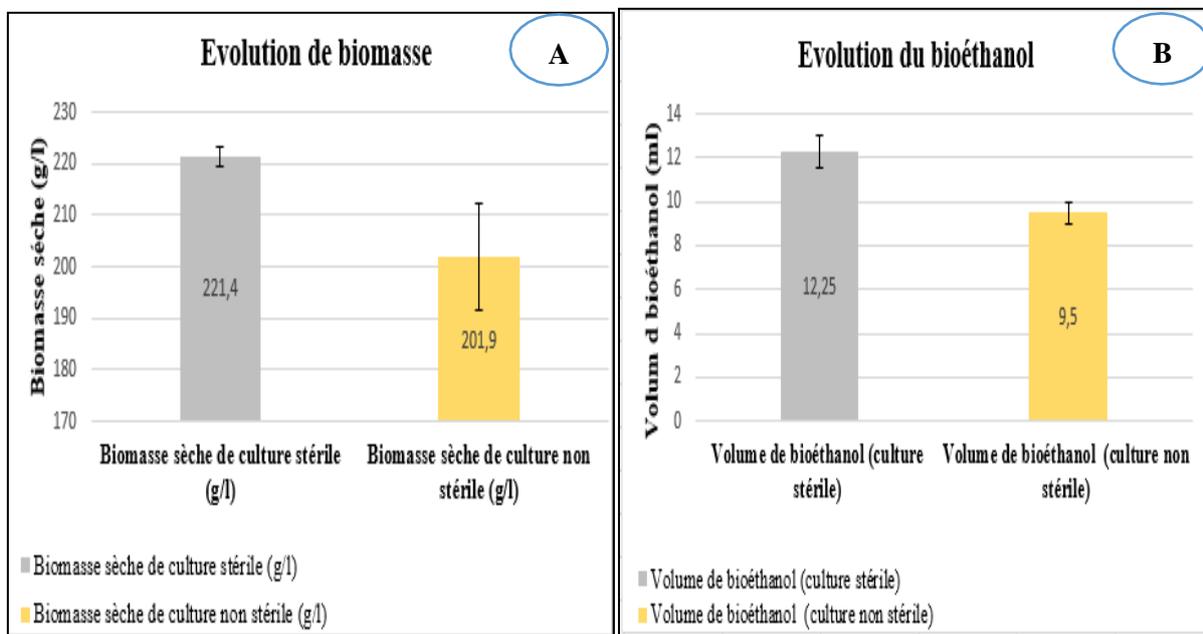


Figure 30. Evolution de la biomasse (A) et de l'éthanol (B) produit durant la fermentation alcoolique en fonction de la stérilisation.

3. Détermination du degré d'alcool

Il est déterminé à l'aide d'un GC_ Head Space par technique Head space (méthode quantitative). Le degré d'alcool est évalué par pourcentage % (v/v).

Les résultats sont présentés dans le tableau 12 et la figure 31.

Tableau 12. Le degré d'alcool selon les différentes conditions.

Condition	Degré d'alcool
Levure 1g/L (48h)	78.27%
Levure 1g/L (72h)	86.71%
Levure 2g/L (48h)	64.85%
Levure 2g/L (72h)	66.16%
poudre de noyau 0.5g/L	84.45%
poudre de noyau 0.75g/L	51.25%
poudre de noyau 1g/L	46.34%
Avec stérilisation du moût	58.69%
Sans stérilisation du moût	64.94%

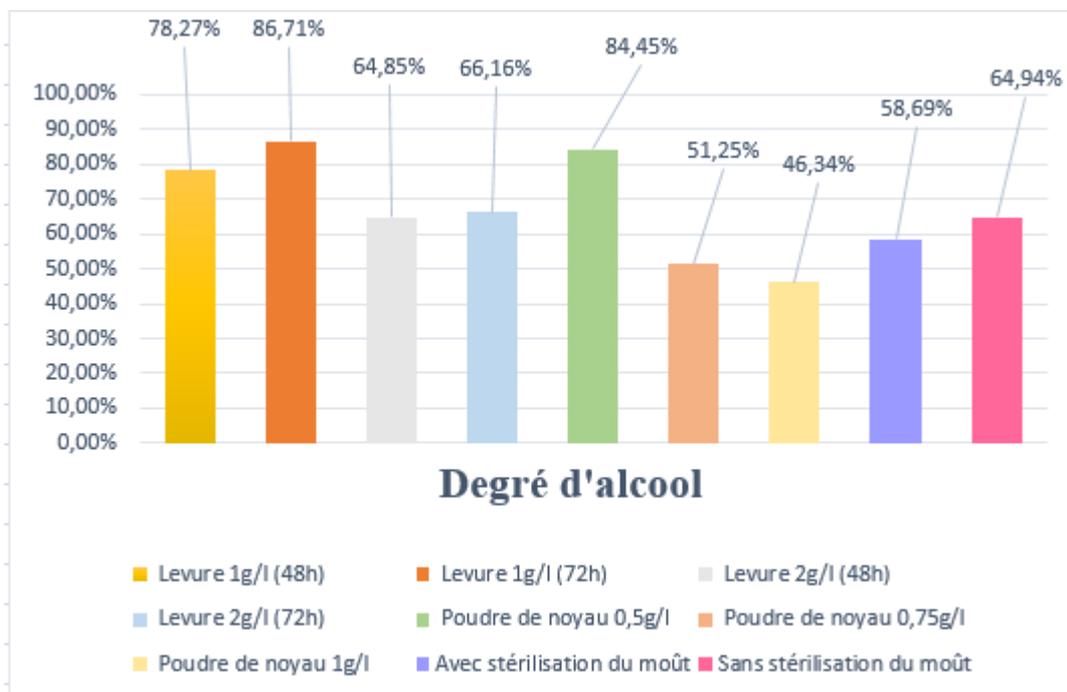


Figure 31. Le degré d'alcool selon les différentes conditions.

Le degré d'alcool varie selon les différentes conditions étudiées, la valeur maximale est 86.71% avec 1g/L de la levure après 72 heures. La valeur minimale est 46.34% avec 1g/L de poudre de noyau de datte (48 heures) (Figure 31).

Entre ces valeurs on a enregistré 66.16% pour 2g/L de la levure (72 heures). Pour les cultures de 48 heures d'incubation, on a noté 84.45% et 51.25% pour le vin de dattes enrichi par 0.5g/L et 0.75g/L de poudre de noyau, 78.27% et 64.85% pour 1g/L et 2g/L de la levure et 58.69% _ 64.94% pour les cultures stériles et non stérile, respectivement. (Figure 31).

Le bioéthanol produit est facilement inflammable (Figure 32), ce qui explique son éventuelle utilisation en industrie.

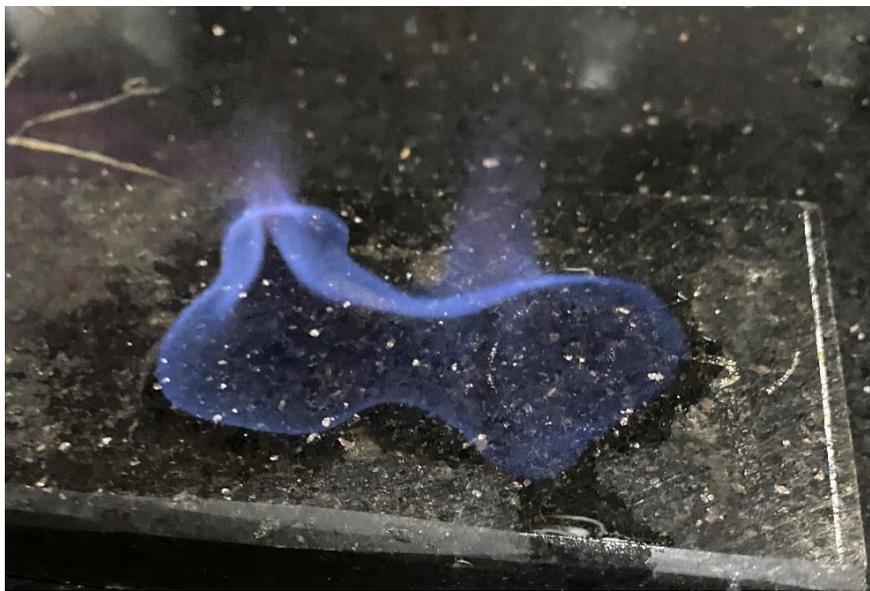


Figure 32. Flamme obtenue après la combustion du bioéthanol.

Le volume de bioéthanol produit par Kg de dattes est calculé selon les différentes conditions testées (Tableau 13).

Tableaux 13 : le volume de bioéthanol par kg de dattes.

Conditions	Concentration en levure (g/L)		Concentration en poudre de noyau (g/L)			Stérilisation	
	1	2	0.5	0.75	1	Stérile	Non stérile
Volume bioéthanol par Kg de dattes (ml/Kg)	87.5	80	62.03	69.5	103.3	61.25	47.5

Discussion

Discussion

• Parmi les conditions physico-chimiques de la croissance microbienne, on trouve la température. C'est un facteur physiologique important dans la fermentation alcoolique, notamment pour le contrôle de l'activité métabolique de la levure. Une température trop élevée peut détruire la levure et une température basse inhibe sa croissance et son métabolisme.

Dans cette étude, on a opté sur une température de 32°C. Selon ZABI et MESSAOUDI, (2020), à une température d'incubation de 32°C, le pourcentage de bioéthanol augmente, cela est expliqué par la stabilité de la bonne atmosphère pour produire de grandes quantités en bioéthanol. Par contre, à des températures inférieures (30°C et 25°C), le pourcentage de bioéthanol est faible.

• D'une manière générale, la durée de la fermentation alcoolique est de 72 heures, pour que la levure transforme les sucres en éthanol. Cependant, selon nos résultats, une durée de 48 heures est suffisante pour la fermentation, car on a pu récupérer un volume d'éthanol mesuré à 9.5ml, sorte qu'il est supérieur par 1.25ml à celui obtenu après 72 heures de culture (8.25ml). Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par ZABI et MESSAOUDI, (2022), qui affirment que la meilleure période pour la fermentation alcoolique est de 48 heures. Ils constatent d'après leurs essais que, la fermentation est faible durant les 24 premières heures, et la levure ne peut pas consommer complètement les sucres. Par contre, à 48 heures de fermentation, le rendement en bioéthanol est élevé et meilleur que celui obtenu après 72 heures de fermentation. C'est la conséquence du métabolisme fermentaire des sucres par la levure *S. cerevisiae*, où elle commence par l'assimilation des sucres.

• Dans un but comparatif, la concentration en levure utilisée pour inoculer le jus de dattes, à savoir 1g/L et 2 g/L, les volumes du bioéthanol produits sont un peu proches, mais en faveur de la concentration de 1g/L. En effet, avec un inoculum de 1g/L, le volume du bioéthanol récupéré est de 9.5 ml et 8.25 ml au bout de 48heure et 72heure, respectivement. De même, avec 2g/l, on a eu 8 ml et 7.75 ml d'éthanol dans les temps respectifs de 48 heures et 72heures.

Par conséquent, du côté économique et pour la conversion du rapport de bioéthanol produit et de la perte de la masse en CO₂, la quantité appropriée à la production de bioéthanol est de 1 g/L.

Ce résultat corrobore avec l'étude réalisée par BOULAL *et al*, (2013), concernant la production de l'éthanol à partir de résidus de dattes, qui montre que la quantité de 1g/L de la levure est suffisante pour une bonne production.

• Les résultats obtenus de l'incorporation de la poudre de noyau, pour enrichir le milieu de culture en matière minérale et rendre la levure métaboliquement plus active, montrent que les concentrations 0.5 g/L et 0.75 g/L, ne sont pas suffisantes pour améliorer significativement le rendement en éthanol, à savoir 8.25ml et 9.25ml, respectivement. Par contre, une supplémentation du jus de dattes par la poudre de noyau à raison de 1 g/L, augmente significativement le rendement en éthanol à 13.75ml, avec des augmentations respectives de 5.5ml et 4.5ml par rapport aux concentrations 0.5 g/L et 0.75 g/L. De ce fait, l'enrichissement du milieu de culture par les éléments minéraux semble indispensable pour la croissance et l'activité de la levure.

En effet, CHIBI et EL-HADI, (2018), affirment que les noyaux de dattes renferment une teneur en cendres égale à 2.28%, riche en sels minéraux (K, Ca, Mg, P, Na, Zn, Cu, Fe, et Mn). Ceci explique l'addition de la poudre de noyau dans le jus des dattes pour compenser le manque de ce dernier en sels minéraux. Un milieu riche en sucres simples et en sels minéraux est favorable pour le développement de l'espèce *S. cerevisiae*.

• Par ailleurs, on a voulu tester l'effet de la stérilisation du jus de dattes sur le rendement en éthanol produit. Les résultats obtenus montrent que le rendement d'éthanol obtenu sur le milieu stérile est supérieur (12.25ml) à celui obtenu sur milieu non stérile (9.5ml) avec une différence de 2.75ml. Ceci peut être expliqué par la présence d'une flore de microorganismes, saprophyte ou de contamination dans le jus de dattes et qui peut gêner l'activité de la levure et entre en compétition avec celle-ci.

• Le pH initial du jus de dattes utilisé comme milieu de base est ajusté à 4.5. La croissance de la levure et son métabolisme dû à la consommation des substrats carbonés et azotés conduit à la libération de métabolites acides ou alcools. La détermination du pH est essentielle pour le contrôle du moût, avant et au cours de la fermentation. Par conséquent, la variation du pH nous renseigne sur l'activité métabolique de la levure, donc sur la transformation des sucres en alcool. Une diminution du pH est enregistrée au cours de la fermentation, après 48 heures et 72 heures avec les valeurs respectives de 4.03 à 3.66. Cette diminution est due dans un premier temps, à la dégradation des sucres contenus dans le jus de dattes, en acides organiques, qui rendent le milieu acide. Ensuite, vient le rôle du CO₂ issu de la fermentation alcoolique, qui participe à l'acidification du milieu ; mais aussi à la libération de protons H⁺ par *S. cerevisiae* lors de la consommation de l'ammoniac NH⁴⁺. Selon EL-HAD *et al.*, (2016), le pH diminue de 4.5 à 3.63 après 72 heures de fermentation, due à la libération des acides organiques.

- L'assimilation des sucres totaux est exprimée par une importante diminution de leur teneur dans le vin de dattes obtenu après 48 heures et 72 heures. Selon FENNOUCHE, (2017), la grande diminution dans la valeur des sucres résiduels s'explique par une bonne quantité de saccharose qui est converti en glucose, à son tour le glucose est dégradé en éthanol et en biomasse.

- En outre, le mécanisme de la croissance microbienne implique l'utilisation et la dégradation des substrats disponibles dans le milieu de croissance, qui s'accompagne par la production de la biomasse et des produits, ainsi qu'une libération de chaleur.

À cet effet, nos résultats concernant la mesure de la biomasse par poids sec, indiquent que les milieux de base à différentes concentrations en poudre de noyau de dattes présentent la meilleure production en biomasse, en particulier 201.95g/L avec 1g/L en poudre de noyau. Cette valeur correspond à une augmentation de l'ordre de 59.55g/L par rapport à celle produite sur le jus sans poudre des noyaux. À travers ce résultat, la production de la biomasse est nettement influencée par la présence de sels minéraux de la poudre de noyau de dattes qui favorise la bonne multiplication de la levure *S. cerevisiae*.

De même, l'étude de CHIBI et EL-HADI, (2018), constate que l'enrichissement des milieux de culture en concentration croissante en cendres des noyaux de dattes rendre la levure plus active, et accélère la vitesse des réactions métaboliques de façon appréciable.

- Le degré d'éthanol produit selon les différentes conditions testées, se situe entre 45% et 90%. Le meilleur degré 86.71% est enregistré après 72 heures, sur le jus non supplémenté avec 1g/L d'inoculum. On a aussi mesuré 84.45% d'alcool sur le jus supplémenté par 0.5g/L de poudre de noyau, au bout de 48 heures. Il ressort de ce test que la supplémentation en éléments minéraux, nous permet d'avoir un bon degré alcool à 48 heures au lieu de 72 heures de fermentation. Il est à noter que, lorsque la teneur en éthanol augmente dans le milieu de culture, on constate une diminution de la vitesse de croissance, ainsi que le pH, les sucres, l'activité métabolique et la capacité de production de la levure.

Selon l'étude de BENBRAHIM et, OMMANI (2022), ils ont obtenu un degré d'alcool compris entre 80% et 90%, leur degré d'alcool est supérieur à celui obtenu par notre étude.

Concernent l'inflammabilité, le bioéthanol obtenu par fermentation des dattes est facilement inflammable, et exige une deuxième distillation pour avoir l'éthanol absolu.

Conclusion et perspectives

L'objectif principal de ce travail est de produire du bioéthanol à partir des déchets de dattes par fermentation alcoolique, qui repose sur le métabolisme fermentaire des sucres par la levure boulangère *S. cerevisiae*. Le secteur des dattes produit chaque année, de grandes quantités de déchets qui sont souvent négligées. Il est impératif de trouver des moyens pour valoriser ces déchets, qui sont en majorité riche en sucres fermentescibles susceptibles d'être métabolisés en divers produits.

A lumière des résultats obtenus, le moût de dattes apparaît comme un milieu riche, apte à réussir un processus fermentaire pour une bonne production de bioéthanol.

L'étude des paramètres physico-chimiques du vin de dattes obtenues montre que :

_ La concentration de 1g/L de la levure et une durée de 48 heures, sont suffisantes pour une bonne production de bioéthanol. Au bout de cette durée, le volume de bioéthanol produit est mesuré à 9.5ml avec un degré de 78.27%.

_ L'incorporation de la poudre des noyaux, pour enrichir le milieu de culture en matière minérale, nécessaire pour une bonne croissance de la levure, montre que l'apport de 1g/L en poudre de noyau est suffisant pour améliorer significativement le rendement en éthanol avec un volume de 13.75ml et un degré d'alcool à 46.34%.

_ La stérilisation du jus de dattes est importante pour un meilleur rendement, qui a donné un volume d'éthanol de 12,25ml avec un degré de 58.69%.

_ La production de la biomasse sur milieu de base, à différentes concentrations en poudre de noyau de dattes, donne une meilleure quantité de biomasse 204.24 g/L avec 1 g/L de poudre de noyau. Cette biomasse peut être destinée à l'alimentation de bétail.

_ Le degré d'éthanol produit selon les différentes conditions testées, se situe entre 45% et 90%. Le meilleur degré 86.71% est enregistré après 72 heures sur milieu de base non enrichi par la poudre de noyau avec 1g/L d'inoculum.

D'après ces résultats, on a conclu que 1g/L d'inoculum avec l'incorporation de 1g/L de poudre de noyau dans le milieu, donne un meilleur rendement en éthanol mesuré à 13.75ml.

Enfin, les conclusions tirées de cette étude, bien que préliminaires, suggèrent des perspectives prometteuses pour la mise en place d'une méthode de production de bioéthanol à partir d'une matière première locale de faible valeur marchande.

Des perspectives, dans le but de compléter ce travail dans l'avenir, il serait intéressant de :

- ✚ Augmenter l'échelle de production pour obtenir des rendements plus élevés.
- ✚ Des essais par fermentation sur milieu solide FMS à titre comparatif par

rapport à la fermentation sur milieu liquide FML.

- ✚ Tester d'autres microorganismes, comme la bactérie *Zymomonas mobilis*, ou faire des cultures mixtes de levure et de bactéries, afin d'améliorer les rendements d'éthanol.

Références

Bibliographiques

« A »

ALIO, M.A. (2020). Production de bioéthanol à partir d'une biomasse lignocellulosique multi ressources locale par prétraitement Organosolv et hydrolyse enzymatique. Thèse : Génie des procédés. France Université : Clermont Auvergne, 197p.

ALEXANDER, M. A., & JEFFRIES, T. W. (1990). Respiratory efficiency and metabolite partitioning as regulatory phenomena in yeasts. *Enzyme and microbial technology*, 12(1), 2-19.

AL-SHAHIB, W., & MARSHALL, R. J. (2002). Dietary fibre content of dates from 13 varieties of date palm Phoenix dactylifera L. *International journal of food science & technology*, 37(6), 719-721.

AL-SHAHIB, W., & MARSHALL, R. J. (2003). The fruit of the date palm : its possible use as the best food for the future ? *International journal of food sciences and nutrition*, 54(4), 247-259.

AKŞIT, A. (2012). Molecular Characterization of Ethanol Resistance In *Saccharomyces cerevisiae*. Thèse : Molecular Biology-Genetics & Biotechnology Programme. Istanbul : Istanbul Technical University, 105p.

ATIYEH H.K. (2015). A review of conversion processes for bioethanol production with a focus on syngas fermentation. *Biofuel Research Journal* 7, 268-280.

« B »

BENSAID. O, (2020), Effet de compost de déchets de palmier dattier sur le développement de la culture de tomate, mémoire : Système de Production Agroécologique. Adrar : université Ahmed Draïa Adrar, 63p.

BENBRAHIM, R ; OMMANI, H. (2022). Optimisation de la production de bioéthanol par utilise les plans d'expériences. Mémoire : Génie Chimique. Adrar : Université Ahmed Draïa Adrar, 105p.

BESSAH, R ET TOUZI, A. (2001). Production de Protéines d'Organismes Unicellulaires (P. O. U) à partir des Déchets de Dattes. *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, 37-40.

BOOIJ, G. I. PIOMBO, J.M. RISTERUCCI, M. COUPE, D. THOMAS ET M. FERRY, (1992). Etude de la composition chimique de dattes à différents stades de Maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). *Journal of fruits*, 47(6), 667-677 p.

BOUGUEDOURA, N., BENNACEUR, M., & BENKHALIFA, A. (2010). Biotechnologies du palmier dattier : Le palmier dattier en Algérie situation, contraintes et apports de la recherche. Paris : IRD Éditions., 261 p. - (Colloques et séminaires).

BOULAL, A. (2017). Contribution à l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (Btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. Thèse : Microbiologie Fondamentale et Appliquée. Oran : Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella. 172p.

BOULAL, A., BENBRAHIM, Z., BENALI, B., & LADJEL, S. (2013). Etude comparative de rendement de la production d'éthanol de deux variétés de dattes communes de faible valeur commerciale (Tinaceur et Aghmou) de Sud-Ouest de l'Algérie. *Revue des Energies Renouvelables*, 16(3), 539-550.

BOULTON, C., QUAIN, D. (2001). Brewing Yeast and Fermentation. Paris : Blackwell Science Ltd. 638 p

BELGUEDJ M., 2002. Les ressources génétiques du palmier dattier : caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-Est Algérien. *Revue annuelle de l'INRAA* N°1/2002. 28-289.

« C »

CASTAN, C. (2016). La levure de bière : un champignon aux multiples bienfaits pour la santé et la beauté. Thèse : Science Pharmaceutique et Biologique. Montpellier : Université De Montpellier, 82 p.

CELTON, M. (2011). Etude de la réponse de *Saccharomyces cerevisiae* à une perturbation NADPH par une approche de biologie des systèmes. Thèse de doctorat : Biotechnologie, Microbiologie. Montpellier : Centre International D'études Supérieurs En Sciences Agronomiques De Montpellier SupAgro. 273p.

CHIBI, S., & EL-HADI, D. (2018). La Bio-Production De L'éthanol A Partir De Déchets De Dattes : Effet De L'incorporation Des Cendres De Noyau Deglet-Nour Sur Le Rendement. *Revue Agrobiologia*, 8 (1), 685-694.

CHEHMA A., LONGO H.F. (2001). Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du bétail, *Energ. Ren. Production et Valorisation – Biomasse*, p 59-64.

COLONNA, P. (2006). La chimie verte. Ed TEC et DOC. Paris : La voisier. 532p.

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 : Microbiologie et biocatalyse industrielles. Toulouse : Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. 265 p.

« D »

D'AMORE, T., & STEWART, G. G. (1987). Ethanol tolerance of yeast. *Enzyme and Microbial Technology*, 9(6), 322–330.

DIDDEN I, DESTAIN J, THONART P. (2008). Procédés de bioconversion en éthanol. In : Le bioéthanol de seconde génération. La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Gembloux, Belgique. Les Presses Agronomiques de Gembloux, pages 21-56.

DIEN, B. S., COTTA, M. A., & JEFFRIES, T. W. (2003). Bacteria engineered for fuel ethanol production : current status. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(3), 258–266.

DJERBLM. (1994). Le précis de phoeniculture. Ed. FAO, Rome : 52 – 58.

DOLLE V., & PEYRON, G. (2000). Cultiver le palmier-dattier : guide illustré de formation. Montpellier : Ed Quae, 110 p. _ (CIRAD).

DOWSON W ; ATEN B. (1963). Composition et maturation, récolte et conditionnement des dattes, collection F.A.O. Rome, 397 p.

DUINA, A. A., MILLER, M. E., KEENEY, J. B. (2014). Budding yeast for budding gene-ticists : A primer on the *Saccharomyces cerevisiae* model system. *Genetics*, 197(1), 33–48. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4012490/>

DRAGONE, G., FERNANDES, B. D., ABREU, A. P., VICENTE, A. A., & TEIXEIRA, J. A. (2011). Nutrient limitation as a strategy for increasing starch accumulation in microalgae. *Applied energy*, 88(10), 3331-3335

« E »

ELAREM, A. G ; FLAMINI, G ; EMNA B, S ; ISSAOUL, M ; ZEYENE, N ; FERCHICHI,A; HAMMAMI,M ;HELAL N.A; ACHOUR, L. (2011), Chemical and aroma volatile compositions of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at three maturation stages, *Food Chem.*, Vol. 127, pp.1744-1754.

EL-HADI, D., KORTEBY. S ET CHIBI S. (2016). Production du bioéthanol à partir de rebut de deux variétés de dattes (deglet-nour et hamraya). *Revue agrobiologia*. 6(1), 111- 120.

EL HADJ, M. O., Sebihi, A. H., & Siboukeur, O. (2001). Qualité Hygiénique et Caractéristiques Physico-Chimiques du Vinaigre Traditionnel de Quelques Variétés de Dattes de la Cuvette de Ourgla. *Rev Energ Ren Prod Valoris-Biomasse*, vol. 6, p. 87-92.

ESTANOVE, P., 1990. Note technique : Valorisation de la datte. In Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. CIHEAM, 301-318.

« F »

FENNOUCHE, I. (2017). Production de bioéthanol à partir de résidus d’agriculture. Mémoire : Génie des Procédés. Annaba : Badjimokhtar-Annaba University Badji Mokhtar-Annaba, 89p.

« H »

HANACHI, S ; KHITRI, D ; BENKHALIFA, A, BRAC DE PERRIERE R.A (1998). Inventaire variétal de la Palmeraie Algérienne. 225 p.

HARRAK, H., & BOUJNAH M (2012). Valorisation technologique des dattes au Maroc. Maroc : INRA Edition. 157P.

HO, S. H., CHEN, C. Y., CHANG, J. S. (2012). Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO₂ fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresour. Technol.* 113 : 244–252.

HUSSENET, C. (2017). Instrumentation, modélisation et automatisation de fermenteurs levuriers à destination œnologique. Thèse : Génie des procédés. Paris : Université Paris-Saclay, 201 p.

« J »

JASMIN, A., AL-JASASS, F. M., & SIDDIQ, M. (2014). Date fruit composition and nutrition. *Dates : postharvest science, processing technology and health benefits*, 261-283.

JOHNSON, E. A., & ECHAVARRI-ERASUN, C. (2011). Yeast Biotechnology. *The Yeasts*, 21-44.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444521491000033?via%3Dihub>

« K »

KACIMI M.M., (2008). Analyse du secteur de l'éthanol selon les principes de développement durable. *Mem. Img. Envi., Sherbrooke, Canada*, p. 76.

KAIDI, F., & TOUZI, A. (2001). Production de bioalcool à partir des déchets de dattes. *Revue des Energies Renouvelables*, NS : Biomasse Production et Valorisation, 75-78

KENDRI S. (1999). Caractéristiques biochimiques de la biomasse *Saccharomyces cerevisiae* produite à partir des dattes (Variété Ghars). Mémoire d'Ingénieur. Département d'agronomie, Batna. P 51.

KNOP, M. (2011). Yeast cell morphology and sexual reproduction – A short overview and some considerations. *Comptes Rendus Biologies*, 334(8-9), 599-606.

« L »

LARBI, M. BERRICHE, A (2019). Production d'éthanol à partir de grignon d'olive par procédé de Saccharification et de Fermentation Simultanées (SFS). Mémoire : Génie de l'Environnement. Bouira : Université Akli MOHAND OULHADJ-Bouira, 91p.

LARPENT, G.M., SANGLIER, J.J. (1992). *Biotechnologies : Principes et méthodes*. Paris : Doin. 668 p.

LEFIEF, A. (2016). *La levure de bière*. Paris : Leduc.s Editions. 28 p. – (c'est malin).

LIN, Y., SHUZO, T. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, 69(6), 627-642.

« M »

MERTENS L.ET ROIZ J. (2010). Les biocarburants non conventionnels : quelles opportunités pour la Belgique en 2020. Gembloux : Secrétariat ValBiom. 43 p – (Chaussée de Namur).

MIMOUNI, F. Z. (2021). Etude comparative des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de trois cultivars de dattes d'Oued Righ Willaya de Touggourt (cas de dattes Deglet Nour, Degla Baidha et Tantbouchet). Mémoire : Biochimie appliquée. Ghardaia : Université de Ghardaia, 73 p.

MUNIER, P. (1973). Le palmier dattier. Paris : Maisonneuve et Larose. 217 p.

Mohan, S. J., (2012). Date palm biotechnology : Current status and prospective - an overview. *Emir. J. Food Agric.* 24 (5) : 386-399.

MUSSATTO, S ; GIULIANO DRAGONE ; PEDRO M.R. GUIMARÃES ; JOÃO PAULO A. SILVA ; LÍVIA M. CARNEIRO ; INÊS C. ROBERTO ; ANTÓNIO VICENTE ; LUCÍLIA DOMINGUES ; JOSÉ A. TEIXEIRA (2010). Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production, 28(6), 817–830

« N »

NGUYEN, T.D. (2016). Protection de la levure *Saccharomyces cerevisiae* par un système biopolymérique multicouche : effet sur son activité métabolique en réponse aux conditions de l'environnement. Thèse de doctorat : Sciences des Aliments. Bourgogne : Université de Bourgogne AgroSup Dijon, 169 p.

NOUI, Y. (2007). Caractérisation physicochimique comparative des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de datte Mech Degla. Mémoire : Technologie Alimentaire. Boumerdès : Université de Boumerdès, 62 p.

« O »

O'DONOHUE, M. J., & DEBEIRE, P. (2006). Fractionnement de la biomasse lignocellulosique en synthon, la chimie verte. Lavoisier, Paris, 21-39.

OESTLING, A. (2001). Bioethanol added to fuel. Directorate General for Research-Directorate. European Parliament Briefing Note N 07/2001 EN. PE nr. 297.566.

« P »

PARAPOULI, M., VASILEIADIS, A., AFENDRA, A. S., & HATZILOUKAS, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS Microbiology*,

6 (1), 1-31 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7099199/>

PRETORIUS, I. S. (2016). Synthetic genome engineering forging new frontiers for wine yeast. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(1), 112–136.

« R »

RICHARD, L. (2014). Impact du dioxyde de carbone sur la levure *Saccharomyces cerevisiae* : caractérisation du transfert liquide/gaz et implications sur les métabolismes énergétiques. Thèse : Ingénieries Microbienne et Enzymatique : Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 291 p.

« S »

SINDHU, R., P. BINOD, AND A. PANDEY. (2016). Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass - *An Overview. Bioresource Technology* (19) 9,76–82.

SUSMOZAS, A., MARTIN-SAMPEDRO, R., IBARRA, D., EUGENIO, M. E., IGLESIAS, R., & MANZANARES, P., MORENO, A. D. (2020). Process strategies for the transition of 1G to advanced bioethanol production. *Processes*, 8(10), 13-10. <https://doi.org/10.3390/pr8101310>

« T »

TARKI, I., ZANE.D. (2018). Étude cinétique de la réaction de la fermentation des dattes pour les transformer en bioéthanol. Mémoire : Génie chimique. EL-OUED : UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR –EL-OUED, 54p.

THURIAUX, P. (2004). Les organismes modèles : La levure. Paris : Belin. 282 p.

TOUZI, A. (1996). Valorisation des Produits et Sous-produits de la Datte par les Procédés Biotechnologiques, *Proceedings du Séminaire Méditerranéen : Le Palmier Dattier dans l’Agriculture d’Oasis des Pays Méditerranéens. Options Méditerranéennes*, N°28.

TOUZI, A ; AZBBES, N. (1988). Avant-projet de réalisation d’unité de production de bioalcoo, apport Intern, Lab. Biotech, Dans les wilayas de Biskra, Adrar et Ghardaïa, Algérie. 56 p a g e s <https://doi.org/10.1051/ocl/2020067>

« V »

VAITILINGOM, G., MOULOUGUI, Z., BENOIST, A., BROUST, F., DAHO, T., & PIRIOU, B. (2021). Vers une génération plus « verte » de biodiesels. *OCL*, 28 (2), 2 – 11

« W »

WALKER, G.M. (1998). Yeast Physiology & Biotechnology. New York: John Wiley & Sons. 362 p.

« Z »

ZABI, A ; MESSAOUDI, A. (2022). Production de bioéthanol à partir des déchets de dattes variété Ghar. Mémoire : Génie des Procédés. Ouargla : Université KASDI-MERBAH Ouargla,53p.

Référence des sites web :

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2020. Proposition relative à la célébration d'une Année internationale du palmier dattier 7p. Canada. <https://www.fao.org/3/cb1059fr/cb1059fr.pdf>

WEBMANAGERCENTER. Quels sont les plus grands producteurs de dattes au monde [en ligne]. (Page consulté le 30 mars 2023).<https://www.webmanagercenter.com/>

AGRICHEM. Nos produits - Palmier-dattier [en ligne]. (Page consultée le 5/4/2023). <https://agrichem.dz/culture/36/palmier-dattier/>

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. La production des dattes 1994 - 2021 [en ligne]. (Page consultée le 6/4/2023).<https://www.fao.org/home/fr>

Ministère d'agriculture et du développement rural (MADR). Agriculture du désert [en ligne]. (Page consultée le 6/4/2023).<https://madr.gov.dz/>

Ministère d'agriculture et du développement rural (MADR). Statistique Agricole : superficies et productions [en ligne]. (Page consultée le 6/4/2023). <http://fr.madr.gov.dz/?playlist=4a0503b&video=9ed131c>

Annexes

Annexes

1. Concentration de Levure

pH

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
1 g/l (48 h)	2	7,84	3,92	0,005
1 g/l (72h)	2	8,01	4,005	0,00125
2 g/l (48 h)	2	7,89	3,945	0,00405
2 g/l (72 h)	2	8,07	4,035	0,00045

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,0168375	3	0,0056125	2,088372093	0,2444883	6,591382116
A l'intérieur des groupes	0,01075	4	0,0026875			
Total	0,0275875	7				

Sucres résiduels

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Sucre résiduels 1 g/l (48 h)	2	7,8	3,9	0,02
Sucre résiduels 1 g/l (72 h)	2	7,5	3,75	0,125
Sucre résiduels 2 g/l (48 h)	2	9,8	4,9	0,02
Sucre résiduels 2 g/l (72h)	2	9,8	4,9	0,02

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	2,33375	3	0,777916667	16,81981982	0,009864037	6,591382116
A l'intérieur des groupes	0,185	4	0,04625			
Total	2,51875	7				

Biomasse sèche

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Biomasse sèche 1 g/l (48 h)	2	284,8	142,4	62,72
Biomasse sèche 1 g/l (72 h)	2	314,6	157,3	112,5
Biomasse sèche 2 g/l (48 h)	2	300,4	150,2	744,98
Biomasse sèche 2 g/l (72 h)	2	320,9	160,45	17,405

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	387,02375	3	129,0079167	0,550372136	0,674389465	6,591382116
A l'intérieur des groupes	937,605	4	234,40125			
Total	1324,62875	7				

Volume de bioéthanol

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Volume de bioéthanol 1g/l (48h)	2	18,5	9,25	0,125
Volume de bioéthanol 1g/l (72h)	2	16,5	8,25	0,125
Volume de bioéthanol 2g/l (48h)	2	16,5	8,25	0,125
Volume de bioéthanol 2g/l (72h)	2	15,5	7,75	0,125

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	2,375	3	0,791666667	6,333333333	0,053307777	6,591382116
A l'intérieur des groupes	0,5	4	0,125			
Total	2,875	7				

2. Concentration de Poudre de noyau

pH

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
0,5 (g/l) poudre de noyau	2	7,32	3,66	0,0018
0,75 (g/l) poudre de noyau	2	7,52	3,76	0,0072
1 (g/l) poudre de noyau	2	7,42	3,71	0,0002

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,01	2	0,005	1,630434783	0,331688106	9,552094496
A l'intérieur des groupes	0,0092	3	0,003066667			
Total	0,0192	5				

Sucres résiduels

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
0,5 (g/l) poudre de noyau	2	6	3	2
0,75 (g/l) poudre de noyau	2	9	4,5	0,32
1 (g/l) poudre de noyau	2	8,3	4,15	0,005

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	2,463333333	2	1,231666667	1,589247312	0,338343527	9,552094496
A l'intérieur des groupes	2,325	3	0,775			
Total	4,788333333	5				

Biomasse sèche

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Biomasse sèche de poudre de noyau 0,5 g/l	2	359,5	179,75	9,245
Biomasse sèche de poudre de noyau 0,75 g/l	2	401,7	200,85	99,405
Biomasse sèche de poudre de noyau 1 g/l	2	408,9	204,45	954,845

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	712,1733333	2	356,0866667	1,00448051	0,463511383	9,552094496
A l'intérieur des groupes	1063,495	3	354,4983333			
Total	1775,668333	5				

Volume de bioéthanol

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Volume de bioéthanol (0,5 g/l poudre dr noyau)	2	16,5	8,25	0,125
Volume de bioéthanol (0,75 g/l poudre dr noyau)	2	18,5	9,25	0,125
Volume de bioéthanol (1 g/l poudre dr noyau)	2	27,5	13,75	1,125

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	34,33333333	2	17,16666667	37,45454545	0,007556134	9,552094496
A l'intérieur des groupes	1,375	3	0,458333333			
Total	35,70833333	5				

3.Effet stérilisation

pH

Analyse de variance: un facteur						
RAPPORT DÉTAILLÉ						
<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>		
Moût stérile	2	7,73	3,865	5E-05		
Moût non stérile	2	7,75	3,875	5E-05		
ANALYSE DE VARIANCE						
<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	0,0001	1	0,0001	2	0,29289322	18,51282051
A l'intérieur des groupes	0,0001	2	5E-05			
Total	0,0002	3				

Sucres résiduels

Analyse de variance: un facteur						
RAPPORT DÉTAILLÉ						
<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>		
Moût stérile	2	10,3	5,15	0,005		
Moût non stérile	2	8,3	4,15	0,005		
ANALYSE DE VARIANCE						
<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	1	1	1	200	0,00496281	18,51282051
A l'intérieur des groupes	0,01	2	0,005			
Total	1,01	3				

Biomasse sèche

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Biomasse sèche (g/l) (stérile)	2	442,8	221,4	8
Biomasse sèche (g/l) (non stérile)	2	403,9	201,95	214,245

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	378,3025	1	378,3025	3,404373552	0,206319109	18,51282051
A l'intérieur des groupes	222,245	2	111,1225			
Total	600,5475	3				

Volume de bioéthanol

Analyse de variance: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Volume de bioéthanol (stérile)	2	24,5	12,25	1,125
Volume de bioéthanol (non stérile)	2	19	9,5	0,5

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	7,5625	1	7,5625	9,307692308	0,092735291	18,51282051
A l'intérieur des groupes	1,625	2	0,8125			
Total	9,1875	3				

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie Fongique

Titre

Production de bioéthanol à partir des déchets de dattes

Résumé

L'industrie agro-alimentaire génère de grandes quantités de déchets, souvent responsable de la pollution de notre environnement. Le secteur phoenicicole en est un de l'activité agro-alimentaire, fournit des tonnes de déchets de dattes qui sont impropres à la consommation humaine. Ces déchets par leur richesse en sucres et leur conservation longue offrent une matière première de la fermentation pour la production de plusieurs métabolites tels que l'éthanol et les acides organiques. Ce travail de recherche s'articule sur l'utilisation du jus de dattes à pH initial 4.5, comme substrat de fermentation pour la production de bioéthanol par la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae* incubée à 32°C. Le procédé utilisé consiste à une fermentation alcoolique (en anaérobiose) réalisée par des essais de fermentations afin d'optimiser les conditions de la culture et d'améliorer d'avantage la production. L'évolution du pH, la consommation des sucres, la production de la biomasse et du bioéthanol sont suivies à 48 heures et à 72 heures. En ce sens, les résultats obtenus par la fermentation montrent que 1g/L de levure et un enrichissement du milieu par 1g/L de poudre de noyau, pendant 48 heures, donnent un rendement en éthanol suffisant avec un volume de 13.75ml et un degré d'alcool 46.34%. Par rapport au pourcentage d'éthanol, la fermentation pendant 72 heures avec 1g/L de levure donne un meilleur degré d'alcool avec 86.71%. La meilleure biomasse est mesurée à 221 g/L en culture stérile et non agité. Cette étude montre que ces dattes de faible valeur commerciales peuvent donner de bon rendement en bioéthanol et en biomasse susceptible d'être incorporer dans la ration alimentaire des bétails, contribuant ainsi à diminuer la facture en devis de l'importation alimentaire.

Mots clés : Ethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, fermentation alcoolique, déchets de datte

Encadreur : LEGHLIMI Hind (MCA - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : LABBANI Fatima-Zohra Kenza (MCA - E N S de Constantine)

Examineur 2 : DJAMAA Ouahiba (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Présentée par :

GUERN Chourouk et AMEUR Youssra

Année universitaire : 2022 -2023

