



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 غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des Procédés

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique.

Thème

Optimisation de production de l'éthanol à partir des matières premières différentes.

Par

BABANDJAR Abderrahmane

ZAABI Brahim

le jury composé de :

Dr. Naima HELLALI	MCB	Université de Ghardaïa	Encadreur
Dr. Salah eddine BENCHEIKH	MCB	Université de Ghardaïa	CO-Encadreur
Dr. Khaled MANSOURI	MCB	Université de Ghardaïa	Examineur 1
Dr. MOULAI Kerroumia	MAA	Université de Ghardaïa	Examineur 2

Année universitaire 2020/2021

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père et ma mère

Pour ses encouragements incessants et son soutien moral aux moments difficiles

Mes sœurs et mes frères

Pour leur disponibilité et leur soutien moral

Ma fiancée

D'être toujours à mes côtés pour me soutenir, pour m'aider dans la mesure du possible, mais surtout pour donner du goût à ma vie par son amour et sa tendresse

Promotion master Génie chimique 2021

ABDERRAHMANE

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père et ma mère

Pour ses encouragements incessants et son soutien moral aux moments difficiles qui m'ont soutenu tout le long de mon parcours universitaire et tout au long de ma vie

Ma sœur et mes frères (Djaber, Zaki et Rafi)

Pour leur disponibilité et leur soutien moral

Ma fiancée

D'être toujours à mes côtés pour me soutenir, pour m'aider dans la mesure du possible, mais surtout pour donner du goût à ma vie par son amour et sa tendresse

A tous mes amis ainsi qu'à toute la promotion de master Génie chimique 2021

BRAHIM

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, nous tendons à remercier au débit "Allah" de nous donner le courage, la volonté, et la patience pour accomplir ce travail.

Ce mémoire n'aurait pas pu être réalisé sans la contribution de nombreuses personnes que nous tiens à remercier par ces quelques lignes.

Merci à notre encadrante de mémoire Dr. Naima HELLALI pour leur participation au bon déroulement et l'aboutissement de ce travail. Ainsi que Dr. Salah Eddine BEN CHIKH et tous les profs de spécialité de génie des procédés à l'université de Ghardaïa, pour m'avoir accordé leur temps et leurs conseils, et spécialement Mr. Djaber AUOF.

Nous remercierons tous les membres du jury qui nous faire l'honneur de juger ce modeste travail.

Merci à notre famille et à notre amis encore présents ou disparus, proches ou parfois trop éloignés, merci pour tout. Cela serait beaucoup trop long à détailler je me contenterais donc d'un grand merci à tous.

ملخص

يعتبر الإستعمال الدائم للبتترول والغاز الطبيعي وما ينتج عنهما سببا رئيسيا فيما يعيشه العالم حاليا من تلوث واضطراب في الغلاف الجوي (ظاهرة الإحتباس الحراري)، وفي ظل الأزمة العالمية (كوفيد-19) أضحي لابد للدول أن تفكر في بدائل طااقوية نظيفة وغير مكلفة. يعتبر الإيثانول الحيوي من بين البدائل الطااقوية المستعملة حديثا، حيث يمكن توظيفه كمادة أولية في تصنيع المعقمات.

يهدف عملنا في هاته المذكرة إلى إنتاج الإيثانول الحيوي بعد تخمير أربع أنواع من المخلفات العضوية الغنية بالسكر (التمر، الشندر السكري، الميلاز والبطاطا) وتقطيرها تحت ظروف وخصائص معينة باستعمال خميرة من نوع (*saccharomyces cerevisiae*).

في الأخير توصلنا إلى أن أفضل مردود في إنتاج الإيثانول الحيوي كان من مادة الميلاز بنسبة (34.20%) مع إمكانية تصنيعه من البقية ولكن بمردود أقل.

الكلمات المفتاحية: التخمر، التقطير، الإيثانول الحيوي، خميرة (*saccharomyces cerevisiae*)، المخلفات.

Résumé

L'utilisation permanente du pétrole et du gaz naturel et des produits qui en résultent est une cause majeure de la pollution mondiale actuelle et des turbulences atmosphériques (Effet de serre), et à la lumière de la crise mondiale (covid-19), les pays doivent envisager des alternatives énergétiques propres et peu coûteuses. Le bioéthanol fait partie des alternatives énergétiques nouvellement utilisées, car il peut être utilisé comme matière première dans la fabrication de stérilisateurs.

Notre travail dans ce mémoire basé sur la production du bioéthanol après fermentation de quatre types des déchets organiques riches en sucre (la datte, la betterave, la mélasse et la pomme de terre). Ces dernières subit une distillation dans certaines conditions et propriétés. on utilise une levure de type (*Saccharomyces cerevisiae*).

Nous avons constaté que le meilleur rendement dans la production de bioéthanol était par la mélasse à (34,20%), avec la possibilité de le fabriquer à partir des autres déchets restants mais avec un moins de rendement.

Mots clé : Fermentation, distillation, bioéthanol, levure (*Saccharomyces cerevisiae*), déchets.

Abstract

The permanent use of oil, natural gas and the products that results from them is a major reason for the current global pollution and turbulence (global warming phenomenon), and in light of the global crisis (Covid-19), countries must think of clean and inexpensive energy alternatives. Bioethanol is among the energy alternatives used recently, because it can be used as a raw material in the manufacture of sterilizers.

Our work in this graduation project aims to produce bio-ethanol after fermenting four types of organic waste rich in sugar (dates, sugar beet, molasses and potatoes) and distilling them under certain conditions and properties using yeast of the type *Saccharomyces cerevisiae*.

In the end, we found that the best yield in bioethanol production was from molasses with a percentage of (34.20%), with the possibility of manufacturing it from the rest, but with lower yields.

Key words: Fermentation, distillation, bioéthanol, levure (*Saccharomyces cerevisiae*), wastes.

Table de matière

Liste des abréviations.....	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux.....	IV
Introduction générale.....	1
Chapitre I Généralité sur les alcools.....	4
I.1. Introduction	5
I.2. Les alcools	5
I.3. Classification des alcools	5
I.3.1. Alcools primaires	5
I.3.2. Alcools secondaires	5
I.3.3. Alcools tertiaires	6
I.4. Propriétés physiques et chimique de quelques alcools.....	6
I.5. Le Bioéthanol	8
I.6. Différentes génération de bioéthanol.....	8
I.6.1. Le bioéthanol de première génération.....	8
I.6.2. Le bioéthanol de deuxième génération	9
I.6.3. Le bioéthanol de troisième génération.....	9
I.7. Techniques de production des alcools	11
I.8. Alcool synthétique.....	11
I.9. Production de l'alcool éthylique par fermentation	12
I.9.1. Microorganismes utilisés dans la fermentation.....	13
I.9.1.1. La levure.....	13
I.9.1.2. Métabolisme	14
I.9.2. Effets de la température et du pH sur la fermentation	15
I.10. Avantages et les inconvénients de bio éthanol	15
I.10.1. Les avantages	15
I.10.2. Les inconvénients.....	16
I.11. Conclusion	16
CHAPITRE II La Production d'éthanol à partir des matières premières différentes.....	17
II.1 Introduction.....	18
II. 2. Différentes matières premières utilisés dans la production d'éthanol.....	18
II.2.1. Les dattes	18
II.2.1.1. Définition de datte.....	18
II.2.1.2. Composition chimique des dattes	20
II.2.1.3. Jus de datte.....	20
II.2.2. La pomme de terre.....	21

II.2.2.1.	Composition chimique du tubercule de pomme de terre	21
II.2.2.2.	Amidon de pomme de terre	21
II.2.3.	La betterave	22
II.2.3.1.	Composition physique-chimique de betterave.....	23
II.2.4.	La mélasse	23
II.2.4.1.	Composition de la mélasse.....	24
II.3.	Production d'éthanol à partir de différent matières premières.....	25
II.3.1.	Production d'alcool à partir de déchets des dattes.....	25
II.3.1.1.	Matériels et techniques de travail	25
II.3.1.2.	Matériel biologique.....	26
II.3.1.3.	Matière végétale.....	26
II.3.1.4.	Extraction du jus des dattes	26
II.3.1.5.	Préparation du milieu de culture ou moût.....	26
II.3.1.6.	Procédé de la fermentation alcoolique	26
II.3.1.7.	Distillation alcoolique.....	28
II.3.2.	Production d'alcool à partir de déchet de la betterave.....	29
II.3.2.1.	L'intérêt de la betterave	29
II.3.2.2.	Dérivées de betterave	29
II.3.2.3.	Procédé de la fermentation alcoolique.....	29
II.3.2.4.	Distillation alcoolique.....	31
II.3.3.	Production d'alcool à partir de déchets de pomme de terre	31
II.3.3.1.	Matière première.....	31
II.3.3.2.	La fermentation.....	31
II.3.3.3.	La distillation alcoolique.....	32
II.4.	Technique d'analyse	33
II.5.	Conclusion.....	33
Chapitre III	Matériels et méthodes	35
III.1.	Objectif	36
III.2.	Procédés globaux de la production d'éthanol	36
III.3.	Matériel biologique.....	37
III.4.	Matière végétale.....	38
III.4.1.	Déchets utilisés.....	38
III.4.1.1.	Déchet de la betterave	38
III.4.1.2.	Déchet des dattes	38
III.4.1.3.	Déchet des pommes de terre.....	39
III.4.1.4.	La mélasse	39
III.4.2.	Traitement des déchets	39
III.4.2.1.	Préparation le jus de la betterave	40

III.4.2.2. Préparation le jus des dattes.....	40
III.4.2.3. Préparation le jus de la pomme de terre	41
III.4.2.4. Préparation de la mélasse	42
III.5. Les étapes de synthèses le bioéthanol.....	42
III.5.1. Stérilisation des matériels et produits	43
III.5.2. Préparation des bioréacteurs.....	43
III.5.3. La fermentation	44
III.5.3.1. Préparation de levure (activation).....	44
III.5.3.2. Préparation du milieu réactionnelle.....	46
III.6. La distillation	49
III.6.1. Description du distillateur utilisé	49
III.6.1.1. Récipient.....	50
III.6.1.2. Réfrigérant (condenseur)	50
III.6.1.3. Réchaud à gaz (source de chaleur)	51
III.6.2. La distillation alcoolique.....	51
III.7. Tableau des produits et matériels.....	52
Chapitre IV Résultats et discussion.....	54
IV.1. Introduction	55
IV.2. Rendement de fermentation.....	55
IV.2.1. Discussions sur le rendement d'éthanol en fonction de degré.....	56
IV.2.2. Degré de bioéthanol	57
IV.2.3. Pourcentage de Rendement optimal.....	59
IV.3. Propriétés physico-chimiques.....	60
Conclusion générale	61
Références bibliographies.....	64

Liste des abréviations

C_p : Capacité calorifique a pression constante

HPLC : High performance liquid chromatography

IR : Infrarouge

N : Normalité

PCS : Pouvoir calorifique supérieure

pH : Potentiel hydrogène

SM : Spectroscopie de masse

s, s : *Saccharomyces cerevisiae*

T : Température

T° : Degré de température

tr : Temps de rétention

Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1: Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération	9
Figure I. 2 : Filières de production de biocarburants de troisième génération	10
Figure I. 3: Schéma résume les différentes générations de production de bioéthanol	10
Figure I. 4: Techniques utilisées de production des alcools	11
Figure I. 5: Procédure descriptive de synthèse d'éthanol	12
Figure I. 6: Réaction de Conversion de glucose en éthanol	13
Figure I. 7: Aspect microscopique des levures après culture (grossissement x 400)	13
Figure I. 8: Photo explicative de levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	14

Chapitre II

Figure II. 1: Différentes variétés de dattes	19
Figure II. 2: Composition biochimique de la datte	20
Figure II. 3: Mûre de datte	20
Figure II. 4: Composition chimique de pomme de terre	21
Figure II. 5: Amidon de pomme de terre	22
Figure II. 6: Structure chimique d'amidon	22
Figure II. 7: Déchet de la betterave	22
Figure II. 8: La mélasse	24
Figure II. 9: Diagramme de production d'éthanol	25
Figure II. 10: Fermentation alcoolique	27
Figure II. 11: Diagramme de déroulement de la fermentation alcoolique	28
Figure II. 12: Diagramme présentant le procédé de fabrication d'éthanol à partir de la betterave	30
Figure II. 13: Schéma général de procédé de production d'éthanol à partir de pomme de terre	32

Chapitre III

Figure III. 1: Diagramme présentant les différentes étapes de fabrication d'éthanol	37
Figure III. 2: Levure <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> (saf-instant)	37
Figure III. 3: Déchet de la betterave	38

Figure III. 4: Déchet des dattes.....	38
Figure III. 5: Déchet de la pomme de terre.....	39
Figure III. 6: La mélasse.....	39
Figure III. 7: Schéma représente les étapes de Préparation le jus de la betterave.....	40
Figure III. 8: Noyautage et séparation les noyaux de la pulpe des dattes.....	41
Figure III. 9: Schéma représente les étapes de Préparation le jus de la pomme de terre.....	41
Figure III. 10: Jus de la pomme de terre.....	42
Figure III. 11: Dilution de la mélasse.....	42
Figure III. 12: Schéma représente la stérilisation des bouteilles et l'eau dans autoclave.....	43
Figure III. 13: Schéma représente les étapes de préparation les bioréacteurs.....	44
Figure III. 14: Activation de la levure.....	45
Figure III. 15: Préparation les solutions de NaOH et HCl.....	45
Figure III. 16: Levure activé.....	46
Figure III. 17: Equilibrage le milieu de pH.....	46
Figure III. 18: Jus de la betterave.....	46
Figure III. 19: Préparation de fermentation.....	47
Figure III. 20: Préparation le bouchon de bioréacteur.....	47
Figure III. 21: Bioréacteur dans l'étuve.....	48
Figure III. 22: Bioréacteur.....	48
Figure III. 23: Fermentation de la betterave.....	48
Figure III. 24: Schéma descriptive d'un montage de distillateur.....	49
Figure III. 25: Réfrigérant (condenseur).....	50

Chapitre IV

Figure IV. 1: Histogramme de masse d'éthanol obtenir à partir de la conversion des masses des déchets utilisant.....	56
Figure IV. 2: Alcoomètre.....	57
Figure IV. 3: Histogramme de degré d'éthanol.....	57
Figure IV. 4: Histogramme de rendement d'éthanol.....	58
Figure IV. 5: Histogramme de masse d'éthanol pur optimal.....	58
Figure IV. 6: Histogramme de Rendement d'éthanol pur %.....	59
Figure IV. 7: Réfractomètre.....	60
Figure IV. 8: Densimètre.....	60

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1: Propriétés chimique de quelques alcools	6
Tableau I. 2: Propriétés physique de quelques alcools	7

Chapitre II

Tableau II. 1: Valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de mélasse (USDA , 2018)	24
Tableau II. 2: Temps de rétention des composés quantifiés par HPLC	33

Chapitre III

Tableau III. 1: Matériel et produit chimique utilise.....	52
---	----

Chapitre IV

Tableau IV. 1: Variation de rendement, conversion et degré d'éthanol obtenir	55
Tableau IV. 2: Propriétés physico-chimique de bioéthanol obtenir par déférent déchet	61
Tableau IV. 3: Comparaison entre bioéthanol de la mélasse et éthanol commerciale à 72°	61

Introduction générale

Les produits énergétiques les plus consommés, sont des produits du raffinage de pétrole et sont parmi des causes principaux de la pollution d'air, il existe une augmentation à la consommation de ces produits. Pour cette problématique l'investissement orienté vers l'énergie durable (l'énergie verte) et renouvelable (énergie éolienne, énergie hydraulique, énergie de biomasse...etc.) [1].

La biomasse forme des différents types d'écosystèmes dans la planète et elle participe à leurs équilibres naturels. Elle a d'abord été cultivée et élevée par l'homme pour son alimentation, mais elle fournit également des matériaux de construction et est utilisée comme matière première pour certains procédés industriels et pour la production d'énergie, [2] L'utilisation de la biomasse pour une production d'agro-carburants [3].

En 1897, les frères Büchner ont démontré qu'un extrait de levure sans cellules pouvait convertir le glucose en CO₂ et en alcool. Cette expérience simple a démontré pour la première fois que les réactions de la vie peuvent se dérouler en dehors de la cellule vivante, et a marqué le début de la biochimie moderne. Dans les années 1930, il était devenu clair que la fermentation est un processus métabolique complexe qui résulte de la succession ordonnée de réactions chimiques [4].

La conversion des déchets organiques en éthanol crée de nombreux avantages, tels que l'utilisation du bioéthanol (carburant renouvelable, produits dans les traitements de surface, intervient dans plusieurs industries chimiques comme solvants ...etc).

Le bioéthanol est un alcool très pur obtenu par la fermentation des matières agricoles riches en Sucres (amylacées ou lignocellulosiques) [5], ces ressources peuvent être classées en trois types :

- Les cultures sucrières (canne à sucre, sorgho doux, etc.).
- Les cultures d'amidon (maïs, blé, etc.).
- Les cultures cellulosiques biomasse (tiges de maïs, panic raide, etc.)[6].

L'éthanol, en tant que combustible propre et renouvelable, est considéré comme une bonne alternative pour remplacer l'huile [7, 8].

Bien que l'équivalent énergétique de l'éthanol soit 68% inférieur à que du carburant de pétrole, la combustion de l'éthanol est plus propre (parce qu'il contient de l'oxygène). Par conséquent, émission de substances toxiques est inférieur [9,10].

En Algérie un programme des énergies renouvelable a été lancer en mars 2011 par le gouvernement, qui s'appuie sur la mise en valeur des sources inépuisables et leur utilisation de diversifier les sources d'énergie et prépare le pays pour le demain [11].

La capacité Algérienne de la production de bioéthanol et basé sur la richesse en matière sucre par exemple les dattes la pomme de terre.. etc., , la culture constitue le pivot de l'agriculture saharienne avec une prédominance du palmier dattier qui occupe une superficie d'environ 350.000 ha avec un effectif qui avoisine 15 millions de palmiers dattiers[12]. Les dattes à haute teneur en sucre (73-83%) : glucose, fructose et saccharose [13].

Les microorganismes les plus appropriés pour la production d'éthanol à partir de sucres fermentescibles sont les levures du genre *Saccharomyces* [14].

Ce travail s'intéresse à la production de bioéthanol à La production de bioéthanol à partir des matières premières différentes (la pomme de terre, les dattes, la betterave, la mélasse).

La première partie présente la synthèse bibliographe dans laquelle le premier chapitre présentera des généralités sur les alcools et de bioéthanol. Le seconde chapitre consacré la production de bioéthanol à partir des matières premières différentes et quelques procédés de production.

La seconde partie est une étude expérimentale consacrée à :

- Informe les matérielle et les méthodes adoptées dans ce travail.
- La production de bioéthanol à partir des matières premières déférentes.
- La détermination le degré de bioéthanol
- Comparaison le rendement de production de bioéthanol entre les matières utilisées

Chapitre I

Généralité sur les alcools

I.1. Introduction

Les alcools sont des produits organiques à une fonction **OH** d'origine biologique et agricole obtenu par fermentation des sucres et utilise des organismes comme les levures, ou d'origine synthétiques comme hydratation des alcènes [15].

L'éthanol est un composé de familles des alcools qui obtenir par fermentation des matières qui contient des sucres ils connaissent de bioéthanol (alcool éthylique) [16].

I.2. Les alcools

Les alcools sont des molécules dont la fonction est que le groupe hydroxyle OH soit porté par un atome de carbone. Ils sont noté R-OH [17].

I.3. Classification des alcools

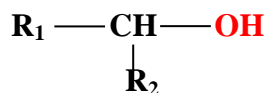
I.3.1. Alcools primaires

Un alcool est dit primaire si le carbone fonctionnel portant la fonction -OH est lié à un seul carbone [18].



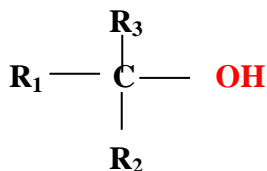
I.3.2. Alcools secondaires

Un alcool est dit secondaire si le carbone fonctionnel portant la fonction -OH est lié à deux carbones [18].



I.3.3. Alcohol tertiaries

Un alcool est dit tertiaire si le carbone fonctionnel portant la fonction –OH est lié à trois Carbones [18].



I.4. Propriétés physiques et chimique de quelques alcools

Les propriétés physiques et chimiques des alcools, étroitement liées aux performances techniques, paramètres importants définissant le type de solvants utilisés industriellement et leur déploiement, les propriétés physiques et chimiques sont définies dans le tableau :(Tableau I.1 et I,2) [19].

Tableau I. 1: Propriétés chimique de quelques alcools [20,21, e1, e2]

Nom UICPA	Méthanol	Ethanol	Propan-1-ol	Butanol
Formulé brut	CH ₄ O	C ₂ H ₆ O	C ₃ H ₈ O	C ₄ H ₁₀ O
No CAS	67-56-1	64-17-5	71-23-8	71-36-3
Masse molaire	32,04	46.0684	60.095	74.12
Apparence	Liquide incolore, d'odeur caractéristique	Liquide incolore, d'odeur caractéristique	Liquide incolore, d'odeur caractéristique	Liquide incolore, d'odeur caractéristique

Tableau I. 2: Propriétés physique de quelques alcools [20,21, e1, e2]

Nome UICPA	Méthanol	Ethanol	Propan-1-ol	Butanol
T° fusion	-97,8°C	-114 °C	-127°C	-89.8 °C
T° ébullitions	64,5°C	78 °C	97°C	117.7 °C
Masse volumique	0.791 g cm ⁻¹	0.789 g cm ⁻¹	0.8 g cm ⁻¹	0.81 g cm ⁻¹
T° d'auto-inflammations	464°C	423 à 425 °C 363°C (selon les sources)	371°C	345°C
Point d'éclair	12°C en coupelle fermée	Coupelle fermée 13°C 17°C 95% vol 21°C 70% vol 49°C 10% vol 62°C 5% vol	15°C (couple fermée)	29°C (couple fermée)
Pression de vapeur	3,8 kPa à 0 °C 12,3 kPa à 20 °C 34,4 kPa à 40 °C	20 °C : 5.8 kPas	20°C : 20KPas	20°C : 0.6KPas
Viscosité dynamique	0.5513 mPas à 25C° liquide	1.20*10 ⁻³ Pas à 20°C	2.2*10 ⁻³ Pa s	2.95 mPa.s (20°C)
Capacité calorifique a pression constant C _p	79,5 J mol ⁻¹ K ⁻¹	111 J K ⁻¹ mol ⁻¹	138.40 J K ⁻¹ mol ⁻¹	176.86 J K ⁻¹ mol ⁻¹
Pouvoir calorifique supérieure PCS	726,1 kJ mol ⁻¹ (25 °C, liquide)	1366.8 KJ mol ⁻¹ (liquide)	2021.3 KJ mol ⁻¹ (liquide)	36.1 KJ mol ⁻¹

I.5. Le Bioéthanol

Le bioéthanol est considéré comme un biocarburant dans le monde avec une formule chimique C_2H_6O [3], il est produit à partir de plantes sucrières et de féculents ou des matières premières contiennent (maïs et canne à sucre) [22].

Tubercules de blé, d'orge, de maïs, de pommes de terre, toutes ces plantes contiennent du sucre, mais sous la forme d'un polymère, à partir duquel le nom de l'amidon est dérivé [25].

Le processus de fermentation de ces plantes se déroule dans des conditions contrôlées, où ce sucre est transformé en éthanol, puis plusieurs distillations sont effectuées qui séparent l'eau de l'alcool dans plusieurs proportions différentes en fonction du nombre de processus de distillation [26].

Dans le cas après fermentation, on obtient un mélange contenant de l'éthanol en proportions L'éthanol à formule chimique est un liquide portable avec une odeur agréable dans une certaine mesure, incolore, détectable à 84 ppm.

Une des propriétés de l'éthanol qui se mélange complètement à l'eau. L'un des avantages de l'éthanol est qu'il accepte les mélanges avec la plupart des solvants courants et est un bon dissolvant d'huile et de graisses [6].

I.6. Différents génération de bioéthanol

I.6.1. Le bioéthanol de première génération

Le bioéthanol de première génération est obtenu par fermentation alcoolique de sucres fermentescibles (glucose, saccharose, etc.). Ces sucres sont soit directement présents dans la plante (canne à sucre, betterave sucrière), soit obtenus après hydrolyse enzymatique de l'amidon contenu dans les grains de blé ou de maïs, la figure I.1 suivant expliqué la production de bioéthanol de première génération [27].

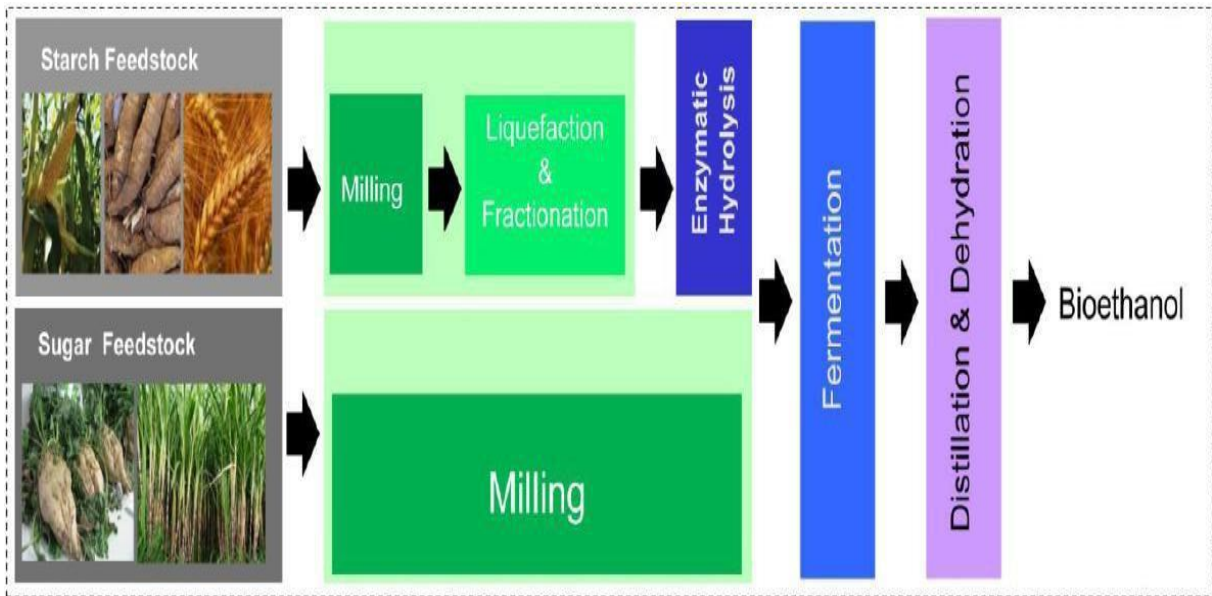


Figure I. 1: Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération [6]

I.6.2. Le bioéthanol de deuxième génération

Le bioéthanol de deuxième génération, également appelé « biocarburant avancé », est produit par des matières premières lignocellulosiques et des résidus de forêts agricoles. Les avantages de ces matières premières sont la facilité de disponibilité [28].

L'expansion industrielle du bioéthanol de deuxième génération a connu l'obstacle dû à certains problèmes technologiques. Il s'agit du coût élevé et du rendement moyen du bioéthanol en raison de sa composition de lignine. D'autres problèmes principaux liés à la production de bioéthanol de deuxième génération sont l'exigence de technologies et d'installations [29].

I.6.3. Le bioéthanol de troisième génération

Les algues sont considérées comme la matière première potentielle pour la production de bioéthanol de troisième génération car la biomasse peut être convertie directement en énergie. Généralement, l'utilisation de cette matière première pour la production de bioéthanol dépend de facteurs tels que la technologie et l'environnement marin, la figure I.2 suivant expliqué la production le bioéthanol de troisième génération [28].

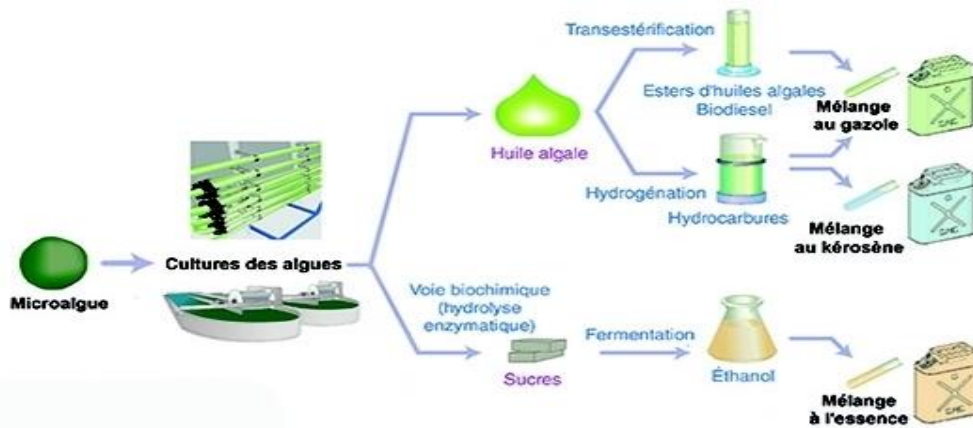


Figure I. 2 : Filières de production de biocarburants de troisième génération [e1]

La figure I.3.suivant présente un schéma des différentes générations de la production de bioéthanol.

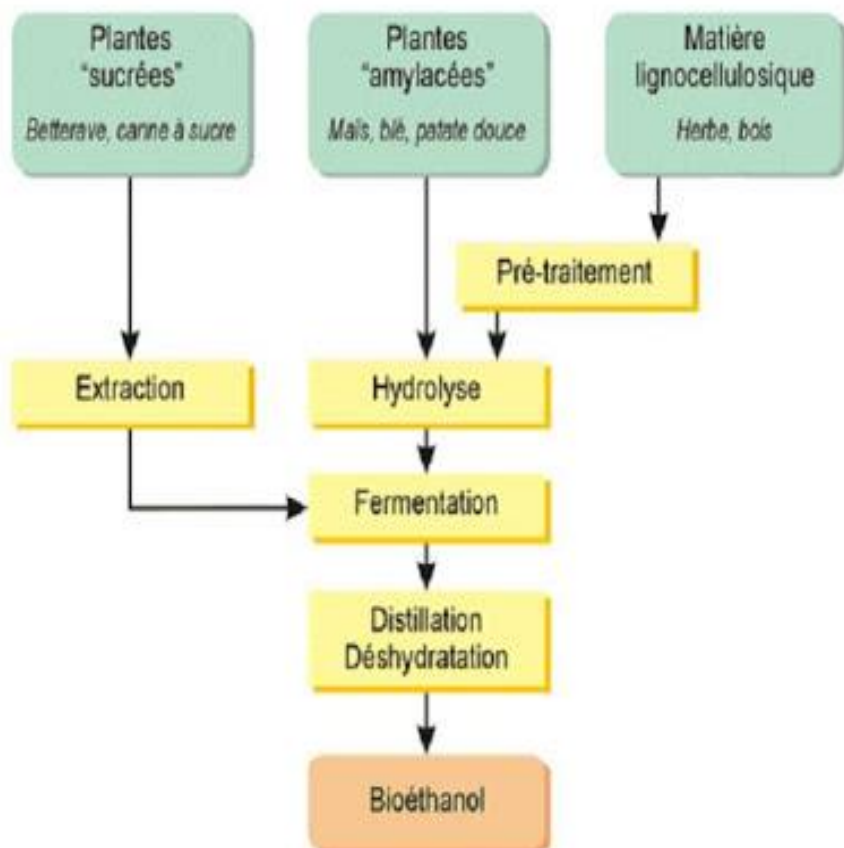


Figure I. 3: Schéma résume les différentes générations de production de bioéthanol [e2]

I.7. Techniques de production des alcools

L'alcool éthylique produit par synthèse chimique ou par fermentation des matières amylase comme Figure I.5.

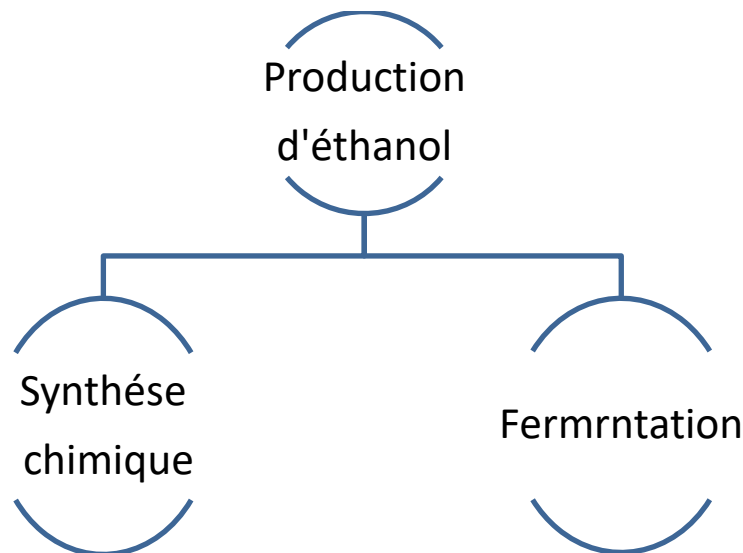


Figure I. 4: Techniques utilisées de production des alcools

I.8. Alcool synthétique

La réutilisation du CO_2 comme matière première chimique devient très importante à partir du Point de vue de la prévention du réchauffement climatique. Récemment, des études concernant la synthèse de méthanol par hydrogénation du CO_2 a été augmentée.

Cependant, les études pour produire de l'éthanol, plus précieux que le méthanol, ont été assez maigres [30].

L'éthanol à usage industriel est désormais produit principalement soit par :

- Hydratation catalytique d'éthane sur des catalyseurs acides solides [30].
- Addition d'eau sur l'éthylène, en phase gaz, la réaction est catalysée par de l'acide phosphorique adsorbé sur un support solide. Elle a lieu sous pression, (6 à 8 MPa), et à température assez élevée (260 à 300°C) à cause de contraintes cinétiques. Nous admettons que l'équilibre thermodynamique est atteint dans ces conditions, pour un temps de séjour dans le réacteur de l'ordre de la minute, la figure I.6 suivant schématise le procédé de synthèse d'éthanol à partir d'éthylène [31].

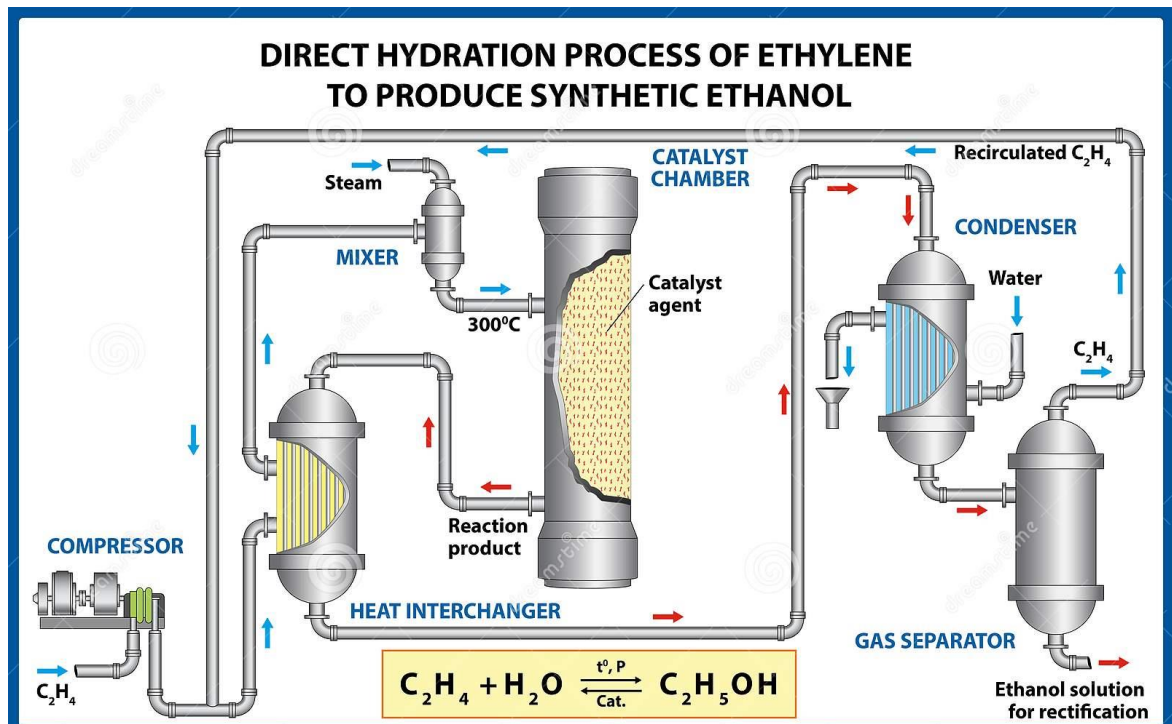


Figure I. 5: Procède descriptive de synthèse d'éthanol [31]

I.9. Production de l'alcool éthylique par fermentation

Processus de fermentation à partir de tout matériau contenant le sucre pourrait dériver de l'éthanol [6].

Les matières premières utilisées dans la fabrication d'éthanol par fermentation sont généralement classées en trois principaux types :

- Les sucres par exemple la canne à sucre, betteraves à sucre, mélasse et fruits peuvent être convertis en l'éthanol directement [6].
- Amidons : de maïs, de pommes de terre et racines) doivent d'abord être hydrolysés en sucres fermentescibles par l'action des enzymes du malt ou des moisissures.
- Matières cellulosiques (Amidons Cellulose) : à partir de bois, résidus agricoles, déchets de pâte et les papeteries) doivent également être transformées en sucres, généralement par l'action d'acides minéraux.

Une fois des sucres simples se forment, les enzymes des micro-organismes peuvent facilement les fermenter en éthanol [31].

Au cours de la fermentation alcoolique, les sucres fermentescibles contenus dans le grain sont convertis en éthanol (alcool éthylique) et en gaz carbonique par l'action des microorganismes, principalement des levures [6].

La figure I.6 représente la réaction de fermentation du glucose.

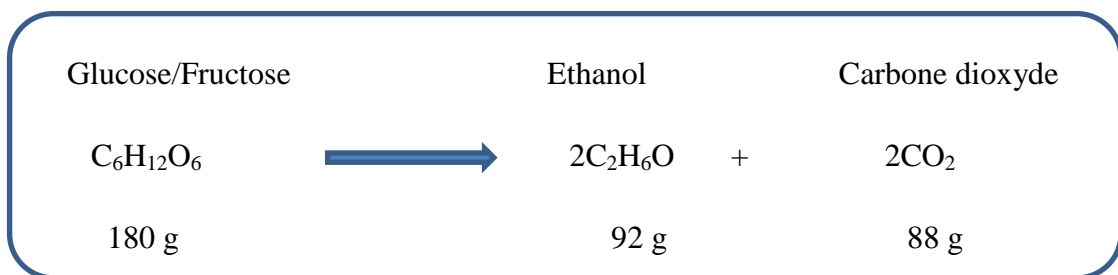


Figure I. 6: Réaction de Conversion de glucose en éthanol [5]

I.9.1. Microorganismes utilisés dans la fermentation

Dans le processus de fermentation anaérobie de matières organiques pour produire de l'éthanol, nous utilisons des micro-organismes comme [6].

- Les bactéries
- Les levures

I.9.1.1. La levure

Saccharomyces cerevisiae est un champignon ascomycète ubiquitaire. C'est une levure qui est retrouvée chez l'homme sous forme commensale. Elle est largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour son rôle dans la fabrication de plusieurs aliments, notamment le pain et les boissons fermentées. Elle est aussi utilisée en tant que supplément nutritionnel et en tant que pro biotique [32].

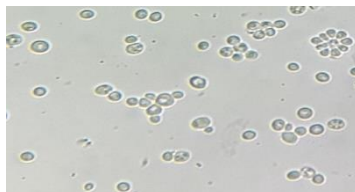


Figure I. 7: Aspect microscopique des levures après culture (grossissement x 400) [33]

Les levures sont des microorganismes unicellulaires qui ont une forme ovale ou sphérique et leur morphologie peut varier selon les conditions d'environnement ou leur état [6].

I.9.1.2. Métabolisme

La physiologie de la levure est caractérisée par son comportement métabolique. Les conditions environnementales et la nature de la source carbonée orientent le métabolisme de la levure qui peut être : soit purement oxydatif, soit oxydo-réductif soit fermentaire [33].

Réaction Métabolisme fermentaire avec levure s, s :

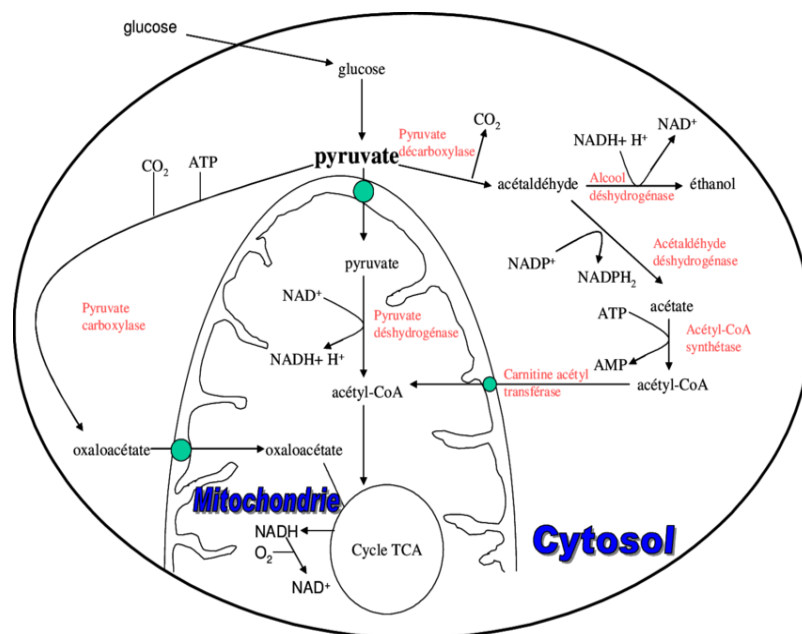


Figure I. 8: Photo explicatif de levure *saccharomyces cerevisiae* [34]

Plus de 95% de la production mondiale d'éthanol par fermentation utilise la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Pour produire efficacement l'éthanol, la levure doit posséder un nombre important de « propriétés » : tolérance à l'éthanol et à des températures élevées, capacité fermentaire élevée (faible production de co-produits), capacité d'assimilation de différents substrats, propriétés de floculation et/ou de sédimentation, osmotolérance, stabilité génétique [34].

I.9.2. Effets de la température et du pH sur la fermentation

Conformément aux lois thermodynamiques la température influence les réactions biologiques. Néanmoins, comme tout organisme vivant, la levure ne peut fonctionner que dans une gamme de température « optimale » et jusqu'à une température critique au-delà de laquelle elle ne peut survivre [35]. Ont réalisé plusieurs cultures de *Saccharomyces cerevisiae* conditions de température contrôlée variant de 27°C à 39°C. Le taux de croissance maximal a été obtenu à une température de 30°C alors que la vitesse spécifique de production d'éthanol maximale a été obtenue à une température de 33°C. Pour des températures supérieures à 30°C, des diminutions de la capacité de croissance et de la quantité finale de biomasse sont observées [6].

Les limites de pH reportées dans la littérature pour maintenir une croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* se situent entre 2,4 et 8,6, avec un pH optimal entre 4.5 et 5 [36]. Le maintien du pH cytoplasmique est indispensable à la survie de la levure. Ainsi [36] considèrent que le stress éthanoïque provoque une chute du pH cytoplasmique, ce qui induit le décès cellulaire ; cette diminution du pH intracellulaire peut être due soit à un influx de protons [37,38] ou à une accumulation d'intermédiaires de la réaction (ex. acide acétique, glycérol, etc.)[39].

I.10. Avantages et les inconvénients de bio éthanol

I.10.1. Les avantages

- Élimination et conversion des déchets agricoles en éthanol
- L'éthanol est considéré comme une énergie propre et renouvelable d'énergie
- Revitaliser une économie, créer des emplois et développer les énergies renouvelables
- L'utilisation d'éthanol comme carburant réduit la pollution de l'air et le réchauffement climatique
- Bon substitut de carburant et assistant de performance du moteur
- Biodégradable

I.10.2. Les inconvénients

- Les véhicules utilisant l'éthanol produisent des émissions plus élevées d'oxyde d'azote, d'éthylène et d'acétaldéhyde que les véhicules à essence.
- Le prix de l'éthanol est un peu cher
- L'éthanol contient une proportion d'eau qui provoque la corrosion
- Inflammable.

I.11. Conclusion

Les déchets agricoles (biomasse) c'est une valeur de production des dérivées utilisées dans les cycles économiques ou énergétique pour ces études concerner la conversion de cette biomasse et éliminer la pollution et les rejets de déchet d'agricole.

CHAPITRE II

La Production d'éthanol à partir des matières premières différentes

II.1 Introduction

L'Algérie produit 300 000 à 320 000 tonnes de dattes par an [40]. Des études ont montré que les dattes sont une source importante de la production d'alcool par la fermentation, comme les pommes de terre et les betteraves, en raison de leurs richesses en sucre dans ces déchets végétaux [56].

Compte tenu de la situation mondiale actuelle et de la détérioration de la valeur du pétrole et des effets secondaires qu'il provoque de la pollution de l'environnement et de ses limites, nous devons nous tourner vers le bioéthanol et l'exploiter au mieux, comme indiqué par la directive 2003/30, que l'utilisation du bioéthanol présente un meilleur avantage que les biocarburants. Présentant un double intérêt : économique et écologique [41].

Nous pouvons extraire l'alcool éthylique et d'autres types d'alcool à travers les sucres fermentescibles présents dans les dattes, et le gaspillage de dattes nous permettent de cristalliser 65% des sucres, et la pomme de terre et la betterave contiennent une composition distinctive qui leur permet de fermenter et de produire du bioéthanol après de nombreux processus avant et après la fermentation [26,42, 43].

L'Algérie peut bénéficier de l'expérience d'autres pays dans la production de bioéthanol, comme le Brésil, les États-Unis, le Canada et d'autres pays en raison de la quantité abondante de déchets de dattes et des vastes terres agricoles qui lui permettent de cultiver des betteraves et des pommes de terre et de les utiliser comme source principale pour la production d'alcool au lieu des dérivés du pétrole et de l'alcool chimique qui en est extrait [42].

II. 2. Différentes matières premières utilisés dans la production d'éthanol

II.2.1. La datte

II.2.1.1. Définition de datte

Le fruit des dattes foncées de couleur noire, brune ou jaune ressemble à des baies, de forme allongée et rectangulaire et composé de deux parties :

- Le noyau : est la partie dure et non comestible, qui est la graine de datte

- La pulpe ou chair de datte : La partie molle est la partie molle que nous mangeons et est recouverte d'une fine couche de cellulose appelée épicarpe, et à l'intérieur de la partie molle le noyau est recouvert d'un tissu mou appelé l'endocarpe [6].

La structure et les formes des dattes et leurs couleurs diffèrent selon la variété du climat, la période de maturité et la souche de ce palmier dattier [39].

Les dattes contiennent 65 sucres fermentescibles et convertissent ce sucre, et l'un des avantages des dattes est de conserver relativement leurs sucres [12].

Des matériaux précieux peuvent être produits en transformant ce sucre, qui est présent en grande partie dans les dattes, comme l'éthanol [44].



Figure II. 1: différentes variété des dattes [e3]

II.2.1.2. Composition chimique des dattes

La pulpe des fruits de dattes contient de l'eau et des sucres (glucose, fructose et saccharose) dans des proportions élevées entre 65% et 85% et également dans des proportions variables, ils contiennent des saccharides, des protéines et des vitamines.

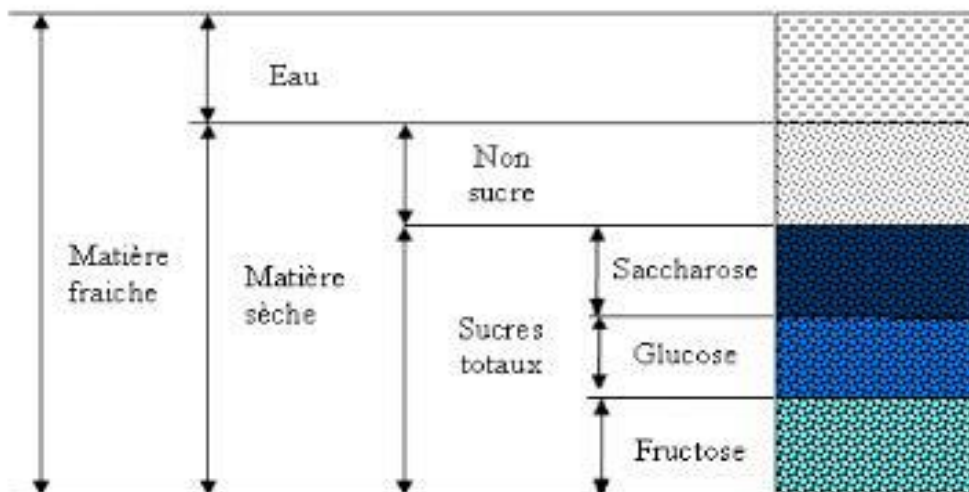


Figure II. 2: Composition biochimique de la datte [6]

II.2.1.3. Jus de datte

Le sucre de datte ou la cellulose est extrait en lavant des dattes et en les coupant, puis en ajoutant 2 litres d'eau pour chaque 1 kilogramme de dattes et en les chauffant à 80 ° C pendant deux heures.

Après ce processus, l'extrait est centrifugé à 5000 tours par minute pendant 30 minutes, après avoir obtenu deux parties, la boisson sucrée aux dattes est extraite et utilisée avec la levure comme source d'énergie carbonatée. [45]



Figure II. 3: Moût de datte [45]

II.2.2. La pomme de terre

Le tubercule de pomme de terre ou de pomme de terre est l'une des plantes de dicotylédone. C'est une plante herbacée vivace plantée en abondance qui n'a pas de bonnes qualités nutritionnelles et une grande proportion d'amidon la pomme de terre est *Solanum tuberosum* appartenant à la famille de *Solanacées* [46].

II.2.2.1. Composition chimique du tubercule de pomme de terre

L'une des caractéristiques d'un tubercule de pomme de terre est qu'il s'agit d'une plante herbacée vivace dont l'herbe peut atteindre jusqu'à 1 mètre et produire des tubercules de pomme de terre.

Le tubercule de pomme de terre contient une grande quantité d'amidon et se classe au quatrième rang des cultures les plus productives au monde après le maïs, le blé et le riz [26].

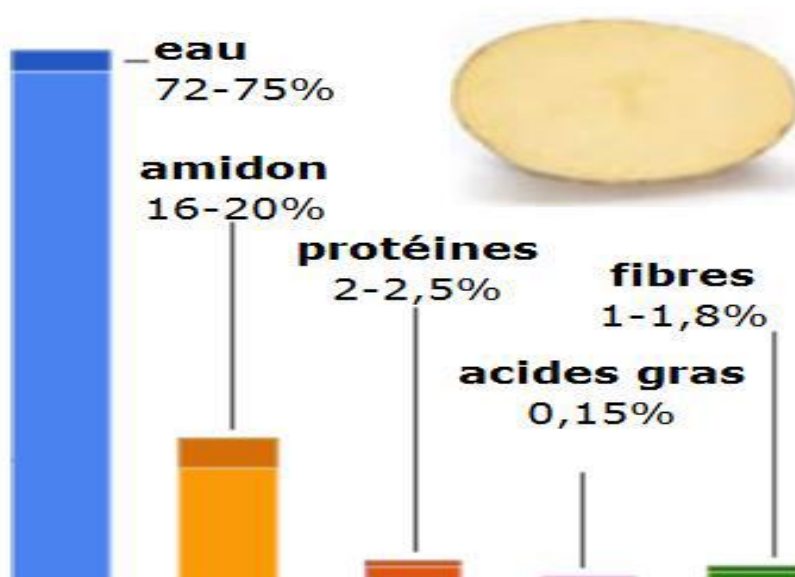


Figure II. 4: Composition chimique de pomme de terre [26]

II.2.2.2. Amidon de pomme de terre

L'amidon est le principal polysaccharide de réserve des végétaux supérieurs. L'amidon est biosynthésés sous forme de grains dont la taille, la forme et la structure cristalline dépendent de son origine botanique [47].



Figure II. 5: Amidon de pomme de terre [e4]

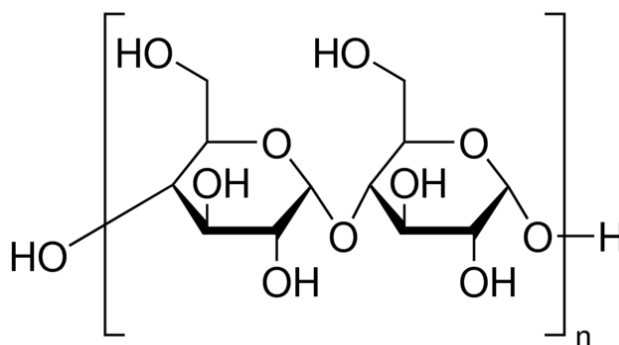


Figure II. 6: Structure chimique d'amidon [47]

II.2.3. La betterave

La betterave à sucre est une plante dicotylédone qui appartient à la famille des *Chénopodiacées*. C'est une plante bisannuelle qui emmagasine des réserves de saccharose (fabriqué au niveau des feuilles via la photosynthèse) [49].



Figure II. 7: Déchet de la betterave

II.2.3.1. Composition physique-chimique de betterave

Les betteraves sont des dicotylédones contenant (25 à 75) % d'eau et 17 % de sucre. La betterave est classée selon les propriétés suivantes Pâte avec un rapport de 5%, qui est la partie solide, résistante et insoluble, et se dissout dans l'eau, et se compose de cellulose, d'hémicellulose, de lignines et de pectine, et est souvent utilisée dans l'alimentation animale. La 3 % sans sucre est constituée de substances azotées telles que les acides aminés et les protéines.

Il se compose également d'une partie des sels minéraux (potassium, sodium, magnésium et calcium). Les betteraves contiennent également des sucres tels que la raffinose, le fructose et le glucose. Les betteraves contiennent également des acides organiques tels que les oxalates et les citrates [50].

II.2.4. La mélasse

Après les processus de conversion et de traitement du jus de canne à sucre, du sucre de canne brut est produit pour nous, et l'excès et les impuretés restent après toutes les opérations pour obtenir du sucre blanc cristallin appelé mélasse.

La mélasse est un sous-produit qui contient des impuretés et des minéraux dans le sucre brut. Dans le processus de production et de traitement du sucre blanc cristallin, certains des monosaccharides sont perdus du produit brut qui reste dans la mélasse et ce dernier reste dans la mélasse et est utilisé dans le processus de fermentation anaérobie pour produire de l'éthanol.

La mélasse ou d'autres impuretés de sucre blanc est également un produit de la canne à sucre et est utilisée comme complément alimentaire du bétail comme arôme ou se spécialise dans la reproduction de certaines levures.

Le sucre contenu dans la mélasse ne polymérise pas lors des processus de polymérisation, c'est pourquoi les scientifiques ont étudié ici la possibilité de le convertir en éthanol dans la distillerie [51].

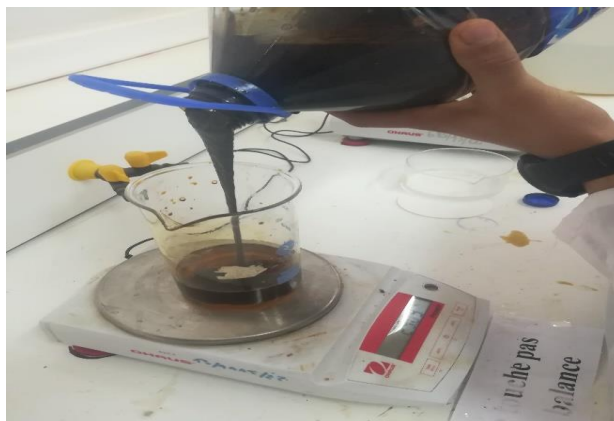


Figure II. 8: La mélasse

II.2.4.1. Composition de la mélasse

Moins calorique que le saccharose, 290 kcal pour 100 g (contre 375 kcal), la mélasse contient de la vitamine B et des minéraux (calcium, potassium, fer, cuivre...), ce qui n'est pas le cas du sucre blanc cristallisé [52].

Tableau II. 1: Valeur nutritionnelle moyenne pour 100 g de mélasse (USDA , 2018)

Apport énergétique		Minéraux et oligo-éléments	
Calories	290kcal	Calcium	205mg
Joules	1213kj	Fer	4.72mg
Principaux composants		Magnésium	242mg
Sucre totaux	74.73g	Phosphore	31mg
Amidon	0.01g	Potassium	1464mg
Fibres alimentaires	0g	Sodium	37mg
Protéines	0g	Vitamines	
Lipide	0g	Vitamines B3(ou PP)	0.930mg
Eau	21.87g	Vitamines B6	0.670mg

II.3. Production d'éthanol à partir de déférent matières premières

II.3.1. Production d'alcool à partir de déchets de datte

II.3.1.1. Matériels et techniques de travail

Le diagramme ci d'issue représenter déférent étapes de production d'éthanol à partir de datte.

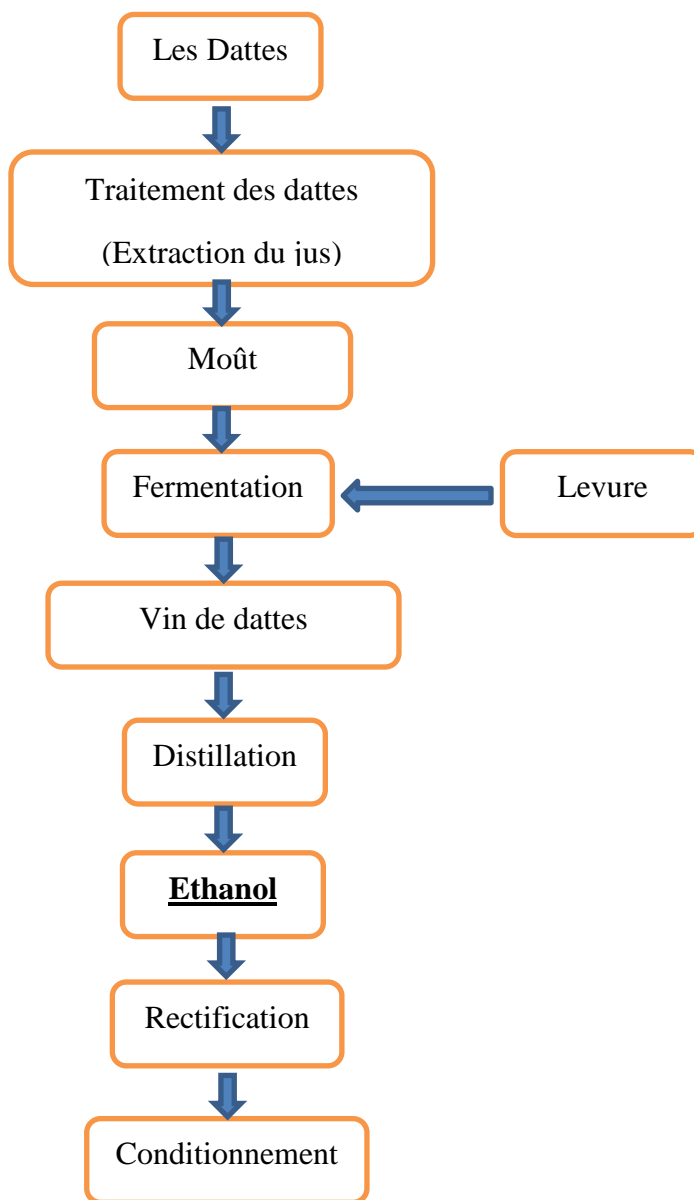


Figure II. 9: Diagramme de production d'éthanol [42]

II.3.1.2. Matériel biologique

La levure de boulangerie sèche, *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée. Elle est conservée dans un endroit frais et sec. Cette souche est utilisée pour la production d'éthanol [53].

II.3.1.3. Matière végétale

Un mélange de rebuts de dattes et des écarts de tris de dattes de la variété Deglet-Nour est utilisé pour la présente étude. Ils proviennent des palmeraies de la région du M'Zab. Une fois que les dattes sont lavées, dénoyautées et broyées, elles sont ensuite immergées dans de l'eau distillée, à raison de 1 kg de pulpes de rebuts de dattes pour 2.5 litres d'eau, le tout est porté au bain marie à 85 °C pendant 45 min et sous agitation continue [54]. S'ensuit un pressurage, puis une filtration à travers du papier Wattman N°4 afin d'en extraire le jus [55].

II.3.1.4. Extraction du jus de dattes

Une fois les dattes lavées, dénoyautées et broyées, on ajoute à 1 kg de dattes 2,5 litres d'eau. On porte au bain-marie à 85 °C pendant 45 minutes et sous agitation continue [56].

II.3.1.5. Préparation du milieu de culture ou moût

Une fois le jus extrait, on le filtre à travers un tissu, puis on le centrifuge à 5000 tours durant dix minutes. Après décantation, on récupère le surnageant. On ajuste le pH entre 4,3 - 4,7 avec H₂SO₄ 1N et on le stérilise à 120 °C pendant 20 mn [56].

- **Les milieux d'activation** (préparation de l'inoculum) : Cette étape a pour but d'adapter la souche de levure aux milieux de fermentation utilisés [55].

II.3.1.6. Procédé de la fermentation alcoolique

Après ensemencement du milieu par la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l) [57], le bio réacteur est plongé dans un bain-marie où la température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures [58]. Toutefois, la fermentation est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO₂ dégagé [53].

Lors de la fermentation alcoolique, on peut observer

- Un dégagement de gaz carbonique.
- Une augmentation de la température, du milieu.
- Une accentuation de la couleur.
- Un changement d'odeur et de saveur, au début le liquide est sucré et à mesure de la fermentation, il devient de plus en plus alcoolisé et acide.
- Une diminution de la densité due à la transformation des sucres en alcool.
- Une augmentation du volume, dû à l'augmentation de la température et au gaz carbonique qui s'échappe [42].

La fermentation est conduite dans le fermenteur rempli au 2/3 de sa capacité (conditions d'asphyxie). Le milieu de culture est enrichi avec du phosphate d'ammonium (2,5 g/l).

Le pH du milieu est ajusté entre 4,2 et 4,5. La température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures [42].



Figure II. 10: Fermentation alcoolique [53]

II.3.1.7. Distillation alcoolique

A la fin de la fermentation, nous serons en présence d'un vin de dattes qu'il faut distiller pour pouvoir extraire l'éthanol. La température de distillation est de l'ordre de 78 °C. La rectification de l'alcool brut (flegme) nécessite une deuxième distillation [42].

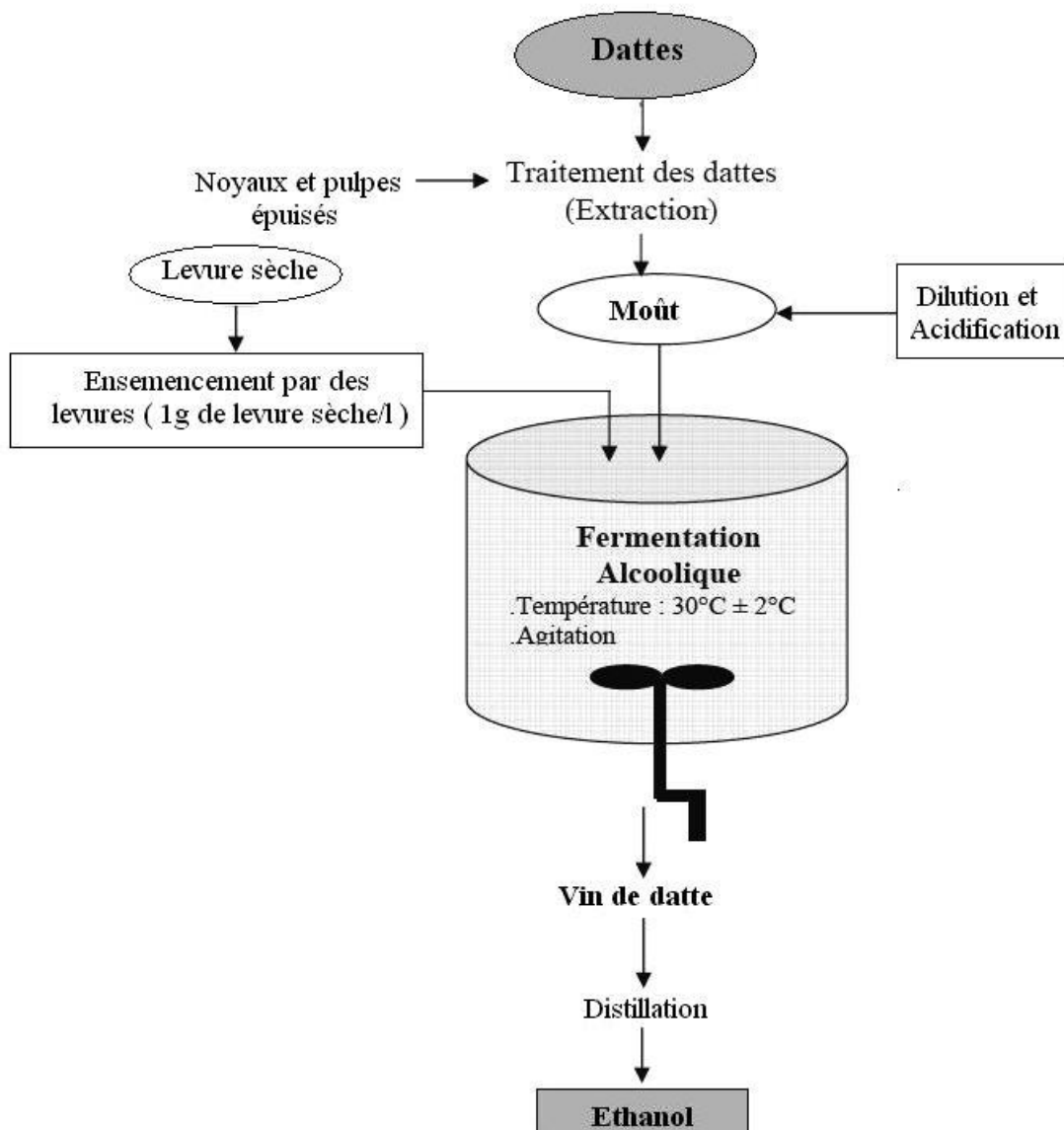


Figure II. 11: Diagramme de déroulement de la fermentation alcoolique [53]

II.3.2. Production d'alcool à partir de déchet de la betterave

II.3.2.1. L'intérêt de la betterave

La betterave n'est pas cultivée que pour le sucre.

- **Le sucre** : avec la canne, la betterave est l'une des deux principales sources de saccharose exploitées dans le monde. Le sucre extrait de la betterave est destiné à la vente au détail, à la grande distribution, mais aussi à l'industrie.
- **L'alcool** : il est obtenu par fermentation du jus de betterave ou du sirop de basse pureté. Le produit est ensuite rectifié pour obtenir l'alcool surfin, ou rectifié et déshydraté pour obtenir l'alcool absolu [43].

II.3.2.2. Dérivées de betterave

Les produits dérivés de la betterave sont la pulpe, partie tendre et riche en éléments nutritifs qui sert à l'alimentation animale ; les feuilles, qui servent à fabriquer de l'engrais pour les champs ; la mélasse, résidu sirupeux de la cristallisation qui sert, entre autres, à fabriquer la levure de boulangerie et l'alcool qui sert dans des produits ménagers, chimiques ou carburant [59].

II.3.2.3. Procédé de la fermentation alcoolique

Après ensemencement du milieu par la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l) [57], le bio réacteur est plongé dans un bain-marie où la température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures. Toutefois, la fermentation est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO₂ dégagé [53].

Lors de la fermentation alcoolique, on peut observer

- Un dégagement de gaz carbonique.
- Une augmentation de la température, du milieu.
- Une accentuation de la couleur.

- Un changement d'odeur et de saveur, au début le liquide est sucré et à mesure de la fermentation, il devient de plus en plus alcoolisé et acide.
- Une diminution de la densité due à la transformation des sucres en alcool.
- Une augmentation du volume, dû à l'augmentation de la température et au gaz carbonique qui s'échappe. [42].

La fermentation est conduite dans le fermenteur rempli au 2/3 de sa capacité (conditions d'asphyxie). Le milieu de culture est enrichi avec du phosphate d'ammonium (2,5 g/l).

Le pH du milieu est ajusté entre 4,2 et 4,5. La température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures [42].

Le procédé de fabrication de betterave est présenté dans le diagramme ci d'issue :

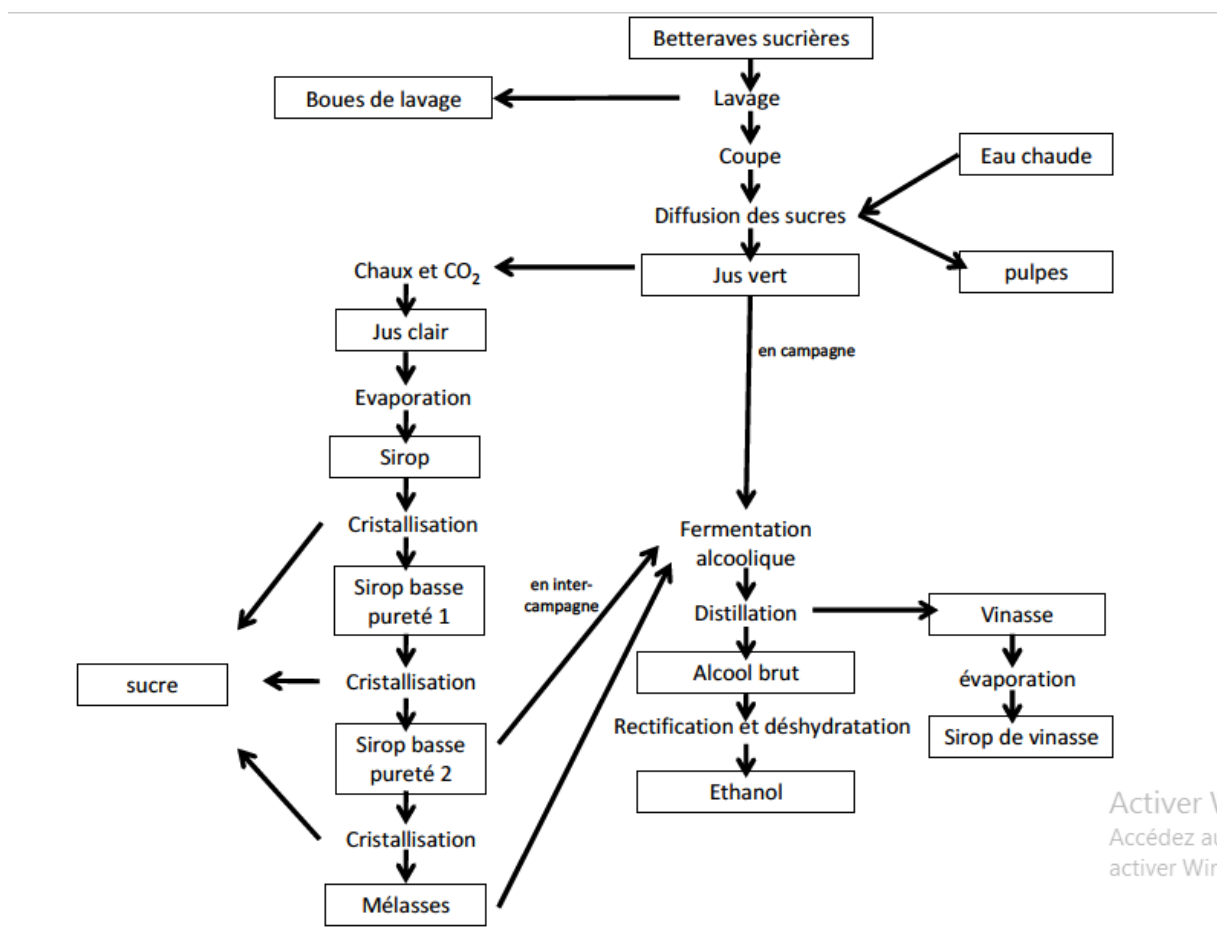


Figure II. 12: Diagramme présenté le procédé de fabrication d'éthanol à partir de la betterave [25]

II.3.2.4. Distillation alcoolique

A la fin de fermentation, l'éthanol est récupéré par distillation, la température de distillation est comprise entre 78 à 80°C [60].

II.3.3. Production d'alcool à partir de déchets de pomme de terre

L'amidon de pomme de terre est une matière première qui nécessite un prétraitement, une hydrolyse pour obtenir du glucose. La fermentation alcoolique permettra de transformer le sucre en éthanol, une distillation permettra de purifier le produit final.

II.3.3.1. Matière première

Le déchet de pomme de terre a été obtenu à partir d'un restaurant local. Cette biomasse a été séchée à l'air libre et à l'abri de la lumière, le produit obtenu a été ensuite broyé jusqu'à l'obtention des graines de tailles moyennes fines, et enfin stocké dans un milieu sec jusqu'à son utilisation [60].

II.3.3.2. La fermentation

La fermentation alcoolique s'effectue à partir de sucres simples. Pour les plantes amylacées il faut donc au préalable transformer l'amidon en glucose [26].

La solution obtenue après hydrolyse acide de l'amidon de pomme de terre est stérilisée à 120 °C pendant 20 min. Puis refroidie à la température ambiante avant d'être utilisée comme moût de fermentation [26].

Après ensemencement du milieu par la levure de boulangerie *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l) [57], le bio réacteur est plongé dans un bain-marie où la température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures. Toutefois, la fermentation est favorisée par une agitation due au mouvement des bulles du CO₂ dégagé [53].

Lors de la fermentation alcoolique, on peut observer

- Un dégagement de gaz carbonique.
- Une augmentation de la température, du milieu.
- Une accentuation de la couleur.

- Un changement d'odeur et de saveur, au début le liquide est sucré et à mesure de la fermentation, il devient de plus en plus alcoolisé et acide.
- Une diminution de la densité due à la transformation des sucres en alcool.
- Une augmentation du volume, dû à l'augmentation de la température et au gaz carbonique qui s'échappe. [42].

La fermentation est conduite dans le fermenteur rempli au 2/3 de sa capacité (conditions d'asphyxie). Le milieu de culture est enrichi avec du phosphate d'ammonium (2,5 g/l).

Le pH du milieu est ajusté entre 4,2 et 4,5. La température est maintenue à 30 ± 2 °C. La fermentation est conduite en anaérobiose pendant 72 heures [42].

Le schéma général ci d'issue est présenté le procédé de production d'éthanol à partir de pomme de terre :

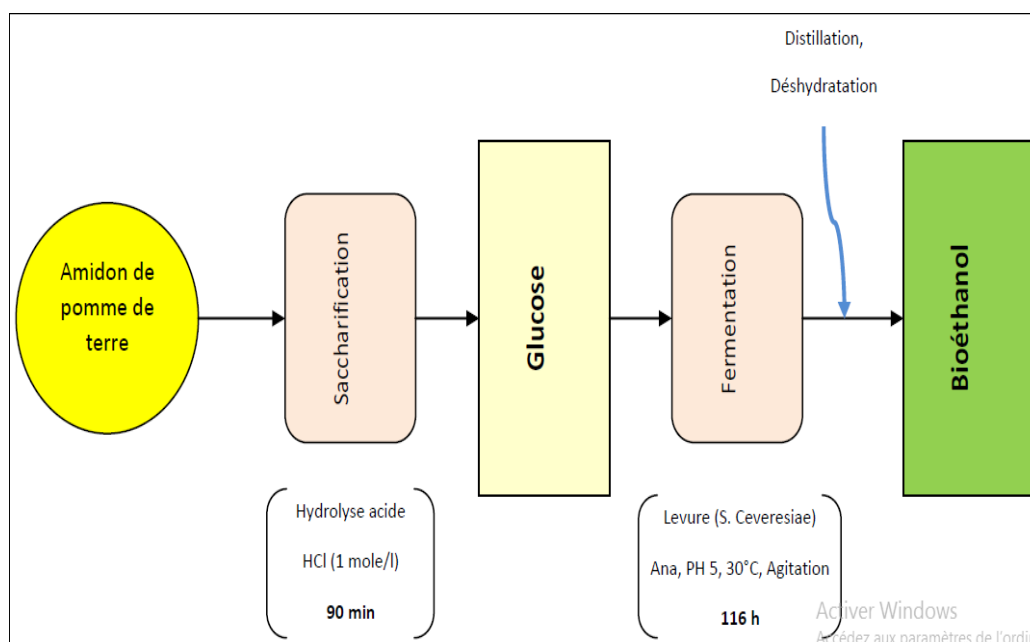


Figure II. 13: Schéma général de procédé de production d'éthanol à partir de pomme de terre [26]

II.3.3.3. La distillation alcoolique

A la fin de fermentation, l'éthanol est récupéré par distillation, la température de distillation est comprise entre 78 à 80°C [60].

II.4. Technique d'analyse

La HPLC permet de quantifier les concentrations des molécules suivantes :

- Les oses et diholosides tels que le saccharose, glucose, fructose, xylose.
- Les polyols tels que le glycérol.
- Les acides organiques tels que l'acide acétique.
- Les alcools tels que l'éthanol, et le butanol.

La détection des différents composés se fait à l'aide d'un réfractomètre ERC 7512 (Saitama, Japan). Le logiciel utilisé est IC Net version 2.3, Metrohm AG, Herisau, Switzerland.

Tous ces composés ont fait l'objet d'un étalonnage (Tableau II.2). Les temps de rétention t_r permettent alors d'identifier les composés présents dans les échantillons prélevés [6].

Tableau II. 2: Temps de rétention des composés quantifiés par HPLC [6]

	Saccharose	Glucose	Fructose	Glycérol	Acide acétique	Ethanol
Tr (min)	5.98	7.16	7.87	10.87	12.39	17.16

II.5. Conclusion

Les déchets Agricola (biomasse) c'est une valeur de production de dérive utilise dans cycle économiques ou énergétique pour ces les études concerner la conversion de cette biomasse et éliminer la pollution et les rejets de déchet d'agricole.

Chapitre III

Matériels et méthodes

Ce chapitre représente la partie expérimentale de notre travail et description de différent appareillage et produit chimique qui est utilisé au niveau du laboratoire pédagogique de génie des procédés 1 de la faculté des sciences et technologie de l'Université de Ghardaïa (Algérie).

III.1. Objectif

Les objectifs tracés dans ce travail sont les suivants :

1. La synthèse de bioéthanol à partir de matières premières différentes (résidus organiques agricoles et des déchets industrielles).
2. Déduire lequel de ces déchets va donner une plus grande quantité d'éthanol dans les mêmes conditions de fermentation (pH et température...etc) et de distillation pour chaque déchet.
3. Détermination de l'efficacité de la levure pour convertir la matière première à bioéthanol. A la fin en mesure le degré et la densité de bioéthanol à partir de l'étude de ses propriétés physico-chimiques.

III.2. Procédés globaux de la production d'éthanol

La production d'éthanol à partir quel déchet se fait par des procédés et des traitements standards, les étapes de fabrication l'éthanol est représenté dans la figure III.1.

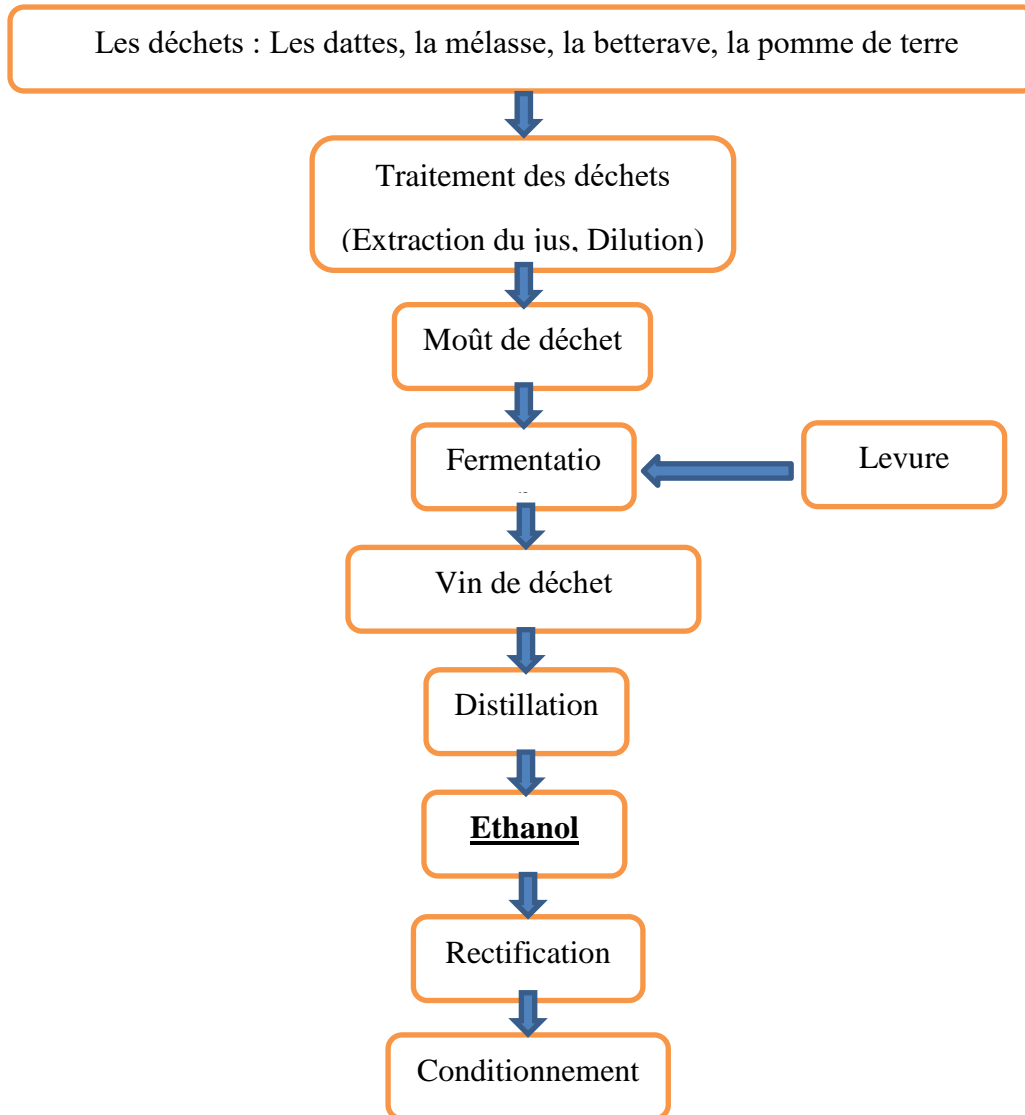


Figure III. 1: Diagramme présentée les différentes étapes de fabrication d'éthanol

III.3. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé est la levure *Saccharomyces Cerevisiae* souche ; qui est utilisée pour la production d'alcool ; elle est conservée dans un endroit frais et sec.



Figure III. 2: Levure *Saccharomyces Cerevisiae* (saf-instant)

III.4. Matière végétale

III.4.1. Déchets utilisés

Comme on a connue, qu'il y'à plusieurs matières premières utilisée à partir les trois générations pour la production d'éthanol ; On choisit quatre déchets à cause de la disponibilité et l'abondance de ces déchets au cours le temps. On utiliser le déchet de : la betterave, les dattes, la pomme de terre et la mélasse.

III.4.1.1. Déchet de la betterave

Le premier déchet utiliser est le déchet de la betterave (Figure III.3) qui est récupérer chez un marché, à la date de 27/03/2021.

Le type de cette betterave est (betterave violet) qui est récupérer et cultivé à la région de Ghardaïa.



Figure III. 3: Déchet de la betterave

III.4.1.2. Déchet des dattes

Le deuxième déchet est le déchet les dattes (Itima), qui a été récolté en septembre 2020 dans la région de Ghardaïa (Touzo).



Figure III. 4: Déchet des dattes

III.4.1.3. Déchet des pommes de terre

La pomme de terre et ses épluchures peuvent être utilisés comme source de production de bioéthanol à partir de tubercules d'amidon qu'ils contiennent. Le déchet de pomme de terre utilise ici pris à partir le marché et quelque restaurant de la ville de Ghardaïa.



Figure III. 5: Déchet de la pomme de terre

III.4.1.4. La mélasse

Le quatrième déchet est la mélasse (résidu de sucre), qui obtenir après les traitements de la canne à sucre ou la betterave sucrière pour extraire le sucre cristaux blanc [52].

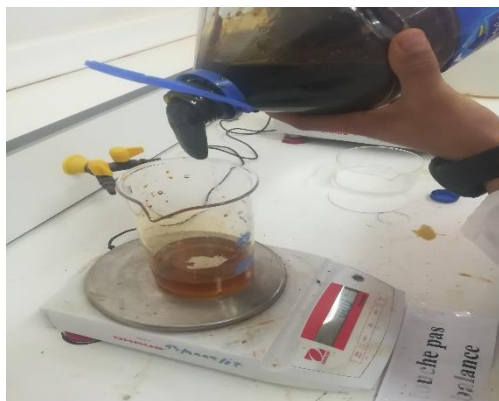


Figure III. 6: La mélasse

III.4.2. Traitement des déchets

Pour les déchets les dattes, la pomme de terre et la betterave, nous avons extraire le jus de chacun de ces déchets par les étapes suivant :

- Laver les déchets.
- Éplucher le déchet (la betterave, la pomme de terre).
- Imbibition à l'eau chaude 85 °C pendant 2h (extraction).
- Noyautage des dattes et séparation les noyaux de la pulpe qui est broyée et transformée en moût ; Filtration et récupération le jus de la betterave et la pomme de terre, après s'il est envoyé à son tour en fermentation.

Pour le déchet de la mélasse juste assez dilué par l'eau, après envoyé à son tour en fermentation.

III.4.2.1. Préparation le jus de la betterave

Après récupération, la betterave a été bien lavée en cas des champignons nuisibles peuvent causer des inconvénients leur de la fermentation s'ils ne sont pas bien lavés. Épluchez la betterave, puis ajoutez une quantité importante d'eau (0,5 L /1kg) à une température de 85°C pendant 2h pour extraire maximum de sucre puis filtrer et récupérer le jus de cette betterave. Les étapes de la préparation sont schématisées dans la figure III.7 suivante :

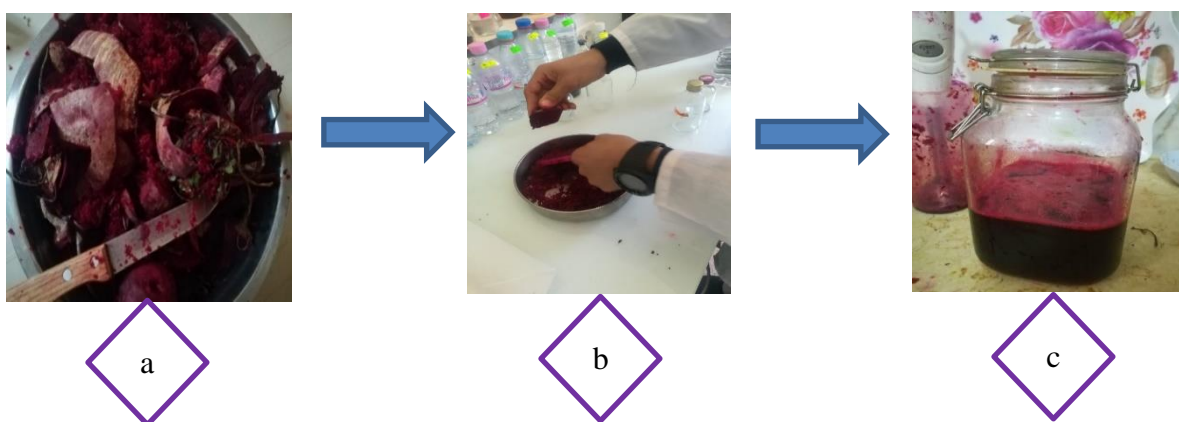


Figure III. 7: Schéma représente les étapes de Préparation le jus de betterave

III.4.2.2. Préparation le jus des dattes

Après avoir collecté les dattes, nous avons lavée, dénoyauté (Figure III.8) et couper les dattes en petit morceau ; ensuit-on à immergée cette dernière dans l'eau distillée, à raison de 1 kg de pulpe de dattes avec 2,5 litres d'eau.

Toutes les dattes sont placées dans un bain-marie à 85 °C pendant une période de 45 minutes ou minimum sous agitation continue [61], on presse et filtre le mélange des dattes pour obtenir l'extraie de jus de ce déchet.



Figure III. 8: Noyautage et séparation les noyaux de la pulpe des dattes

III.4.2.3. Préparation le jus de la pomme de terre

Lavée bien la pomme de terre puis épluchez et ajoutez une quantité importante d'eau (0,5 L/1kg) à une température de 85 °C pendant 2h. En filtrée le mélange par un tamis fin pour extraire l'amidon de pomme de terre (Figure III.9)

On laisse la solution (jus de la pomme de terre) à un endroit frais dans un flacon bien scellé pour éviter les bactéries et les parasites.

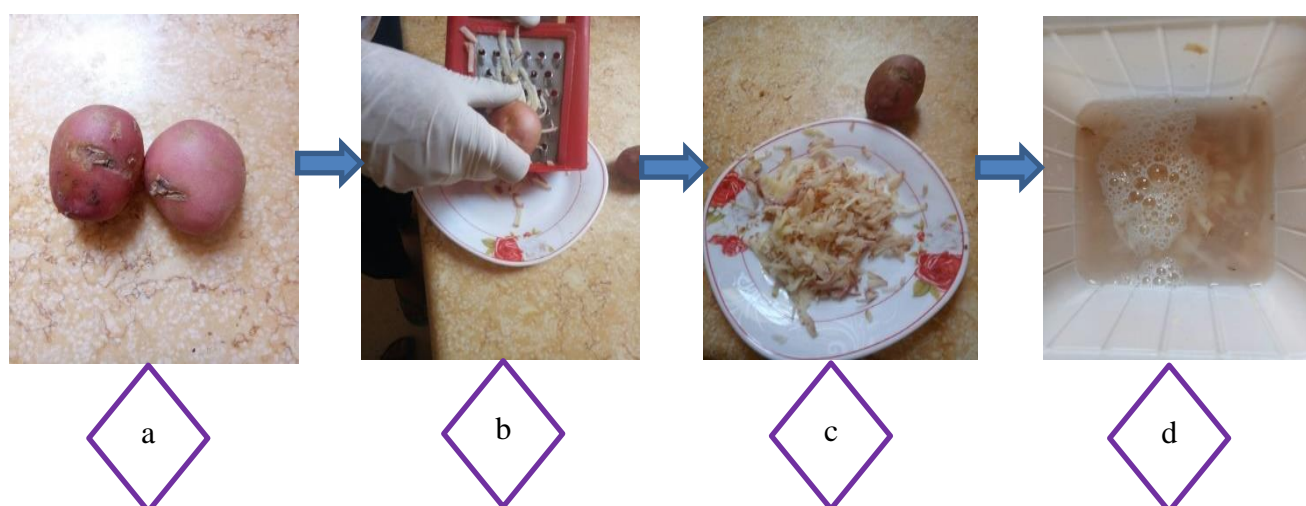


Figure III. 9: Schéma représente les étapes de Préparation le jus de pomme de terre



Figure III. 10: Jus de la pomme de terre

III.4.2.4. Préparation de la mélasse

La mélasse est une boisson très visqueuse comme le miel est brun foncé. Pour diluer cette dernière on verse la mélasse dans un bécher de 800mL contient eau chaude à 85°C sous agitation continue jusqu'à ce qu'elle tourne complètement (FigureIII.11).

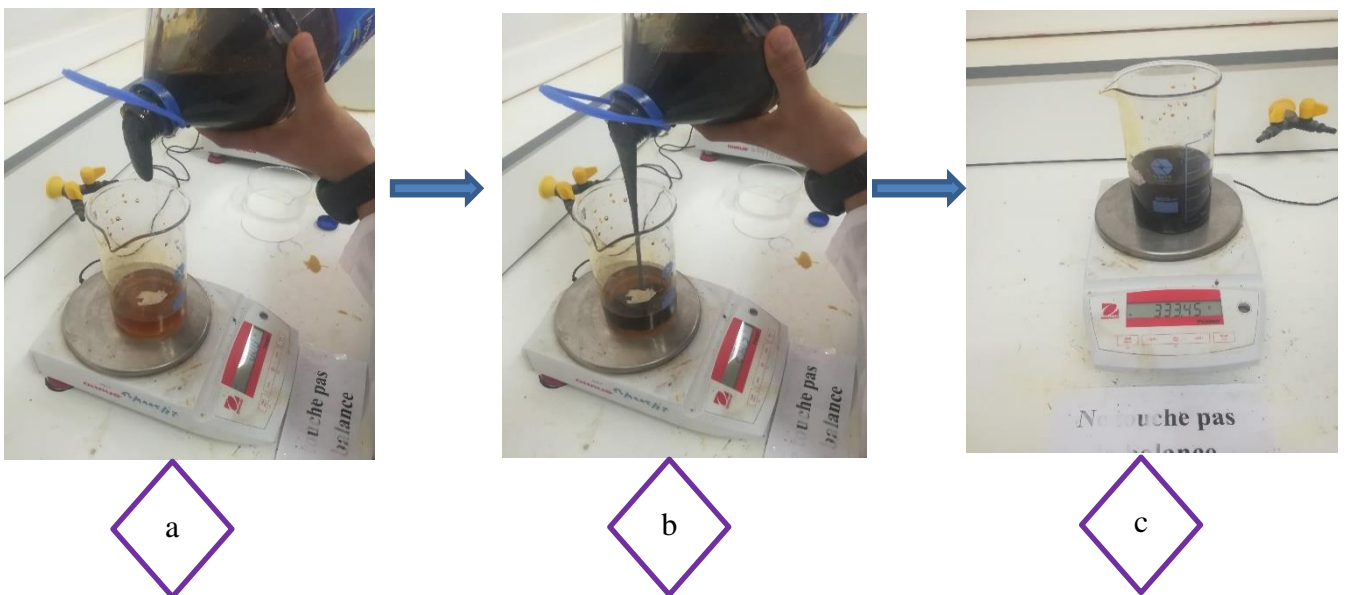


Figure III. 11: Dilution de la mélasse

III.5. Les étapes de synthèses le bioéthanol

Avant la fermentation il y'a quel qu'étape il faut les suivre et respecter pour garantie les bonnes conditions du travail.

III.5.1. Stérilisation des matériels et produits

On stérilise tous les matériels (bioréacteurs) et produits (eau potable) utilisé au cours du procédé de fermentation en cas des champignons nuisibles peuvent être influé sur la fermentation. On apporte des bouteilles en verre de 2.5 litres (bioréacteur), nettoyées par l'acétone et placé dans un autoclave à 120 °C pendant une 24 heures pour stérilisées.



a



b

Figure III. 12: Schéma représente la stérilisation des bouteilles et l'eau dans autoclave

III.5.2. Préparation des bioréacteurs

Le bioréacteur qu'on a utilisé dans notre expérience vient se forme d'une bouteille en verre de capacité de 2.5L au but d'une fermentation, pour la conception d'un bioréacteur on suivre les étapes suivantes :

- 1- Percé le bouchon de flacon et insérer un tube en plastique de 30 cm de long.
- 2- Fermé l'étanchéité (l'échange d'air) entre le bouchon et le tube par une silicone.
- 3- Apporté des bouteilles de 500mL sont remplis en 3/4 d'eau et percé leur bouchon.
- 4- Raccordé chaque flacon avec une bouteille par le tub de plastique.

Remarque :

Le tube de plastique soit immergé dans l'eau pour nous assurons un dégagement de CO₂ (fermentation) sous forme des bulles et confirmé qu'il n'est aura pas un retour d'oxygène.

On a quatre déchets, donc on prépare quatre bioréacteurs (figure III.13).

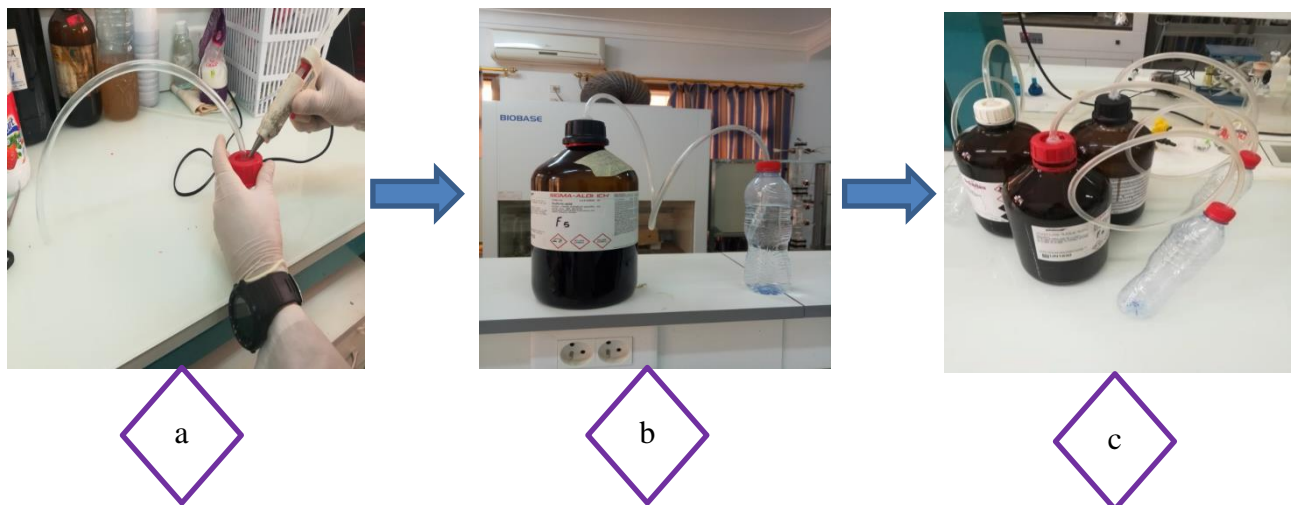


Figure III. 13: Schéma représente les étapes de préparation les bioréacteurs

III.5.3. La fermentation

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 :



Avant mélangé entre les jus des déchets et la levure *Saccharomyces Cerevisiae* pour fermentée ce dernier ; il faut activée la levure sous des conditions bien déterminé pour augmenter le rendement et minimiser le temps de fermentation.

III.5.3.1. Préparation de levure (activation)

On prépare 66.6g de sucre cristaux et 13.3g de levure *Saccharomyces Cerevisiae* et on les mélange avec 266mL d'eau.

- Après on pèse la levure et le sucre cristaux et on le mit dans un bécher de 700mL contient 266mL d'eau à une température de 33°C pour activer la levure.
- On mit le bécher sur une plaque chauffent et agitateur de laboratoire à 33°C pendant 30 minutes et sous agitation continue, pour garder la température optimale et augmenter la surface de contact par l'agitateur.

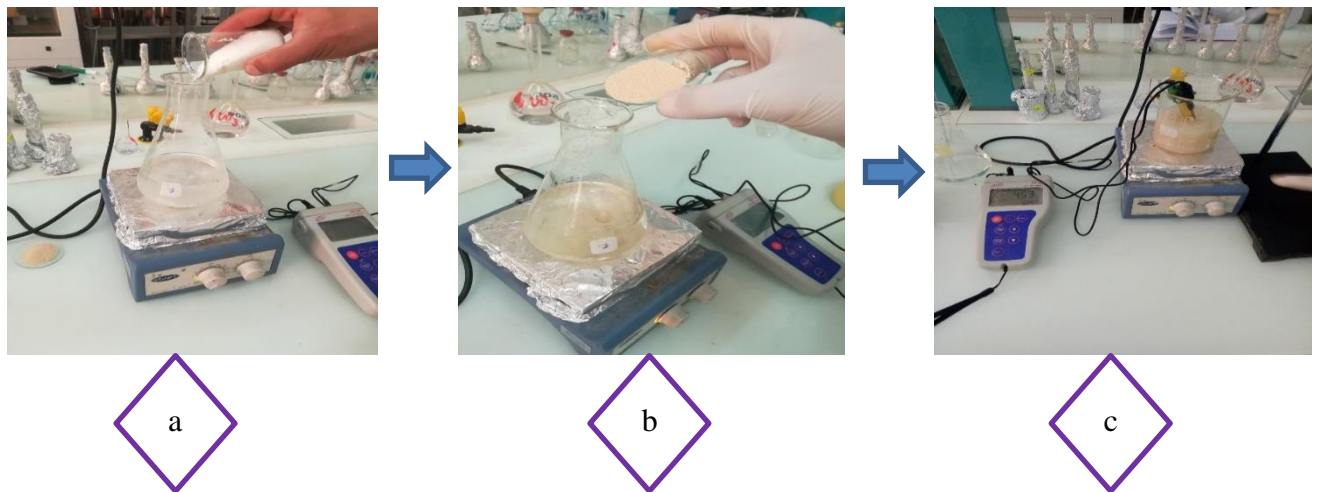


Figure III. 14: Activation de la levure

- On prépare les deux solutions de NaOH (base) et HCl (acide) à 1N pour garder et équilibrer le pH de milieu d'activation.

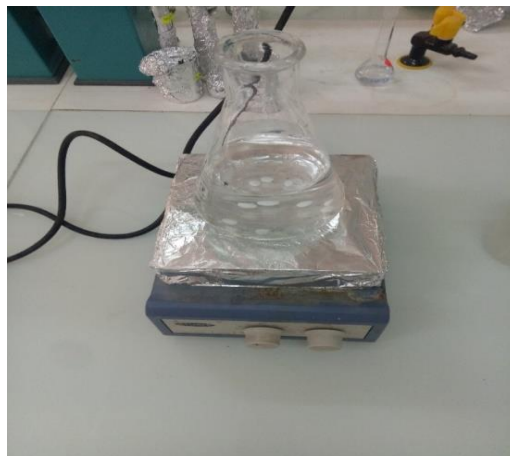


Figure III. 15: Préparation des solutions de NaOH et HCl

Remarque importante : Parmi les bonnes conditions de travail de la levure il faut garder le pH et la température de milieu au cours d'activation maximum à 4.5 et 33°C respectivement [6].



Figure III. 17: Equilibrage le milieu de pH



Figure III. 16: Levure activé

III.5.3.2. Préparation du milieu réactionnelle

Généralement pour un litre d'eau on ajoute 8g de la levure activée et 250 g de matière première, et pour un bioréacteur de volume 2.5 L on prépare 415mL de jus des déchets avec 1.66 L d'eau potable stérilisé.



Figure III. 18: Jus de la betterave

- Après l'activation de levure et préparation de jus avec l'eau, on disperse tous ces produits dans le bioréacteur ; On garde le degré de pH à 4.5 avant fermée le bioréacteur.



Figure III. 19: Préparation de fermentation

- On assure qu'il n'y a pas de fuites d'oxygène par le bouchon de bioréacteur au cours de la fermentation (milieu anaérobie).



Figure III. 20: Préparation le bouchon de bioréacteur

Le choix de la température : Une augmentation de la température va accélérer la fermentation. Cette température est trois fois plus élevée à 30°C qu'à 20°C, dans cette plage de température, et jusqu'à 35°C elle augmentera de 8 à 10 % pour chaque degré supplémentaire. Lors de la recherche d'un compromis entre le taux de croissance du gaz de qualité technologique des pâtes, nous avons supposé que la température de fermentation était de l'ordre de 33°C [6].

- On met les bioréacteurs dans une étuve qui fixe la température de milieu à 33C° pendant 72 heures.



Figure III. 21: Bioréacteur dans l'étuve

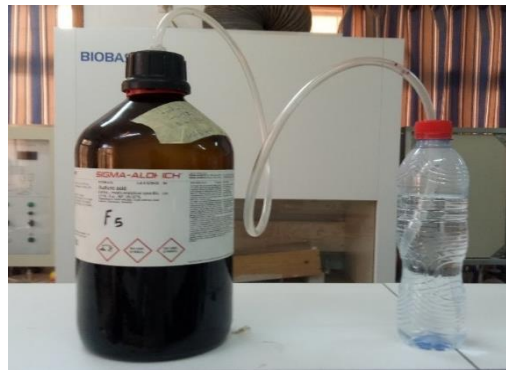


Figure III. 22: Bioréacteur

Remarque importante : On remplit jusqu'à 2/3 de volume totale de bioréacteur et laisser un peu d'espace pour le dégagement du gaz de CO₂ qui part de la fermentation.



Figure III. 23: Fermentation de la betterave

Au cours de la fermentation il y'a plusieurs repères pour confirmer est-ce que la fermentation est travaillé bien ou non ; Lors de la fermentation alcoolique, on peut observer :

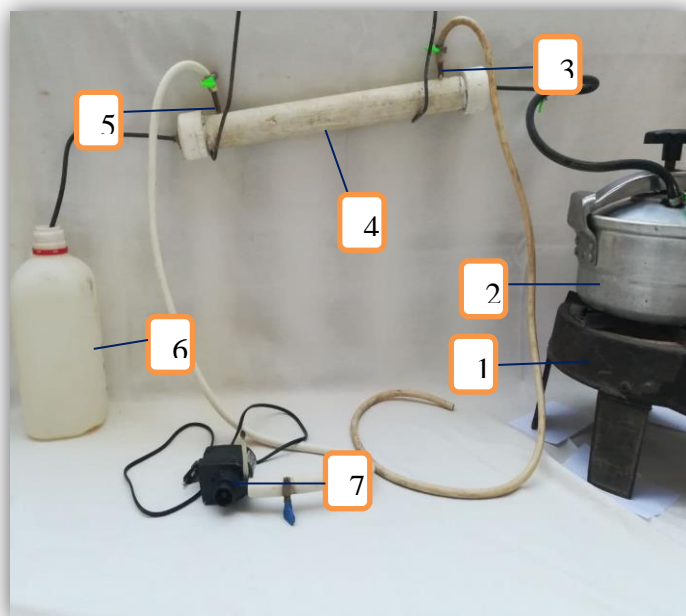
- Un dégagement de gaz carbonique.
- Une augmentation de la température du milieu.
- Une accentuation de la couleur.
- Un changement d'odeur et de saveur, au début le liquide est sucré et à mesure de la fermentation, il devient de plus en plus alcoolisé et acide.
- Une diminution de la densité due à la transformation des sucres en alcool.
- Une augmentation du volume, dû à l'augmentation de la température et au gaz carbonique qui s'échappe [42].

III.6. La distillation

La distillation : Est une méthode de séparation basée sur la volatilité des molécules de mélange (séparation physique par évaporation) [62].

III.6.1. Description du distillateur utilisé

Schéma descriptive



- 1- Réchaud gaz (tabona)
- 2- Cocotte-minute
- 3- Sortie d'eau
- 4- Réfrigèrent
- 5- Entrée d'eau
- 6- Bouteille de récupération
- 7- Pompe à eau

Figure III. 24: Schéma descriptive d'un montage de distillateur

III.6.1.1. Récipient

Le Récipient que nous avons choisi est une Cocotte-minute de volume 3L qui résisté les grands degrés de température, il contient 2 trous à haut de couvert (1^{ère} trou pour le gaz dégagé ; 2^{ème} trou pour placer le thermo mètre qui contrôler la température de milieu), ont gardé bien l'étanchéité de cette cocote en cas d'une fuite de gaz leur de la distillation.

III.6.1.2. Réfrigérant (condenseur)

Les pièces d'échangeur :

- **Tube en cuivre** : on prendre un tube en cuivre de longueur 3m et de diamètre de 0.5cm, puis on roule le tube sous forme serpent.
- **Tube en plastique (multi couche)** : transperce 2 trous à l'extrémité de ce tube de 60cm de longueur et de 5.5cm de diamètre avec le centre de ces bouchons des côtés de tube.
- **Pompe à eau** : correspondant de la circulation contre -courant (liquide -gaz) d'eau froide à l'intérieur de tube en plastique.

On placé le tube en cuivre à l'intérieur de la tube en plastique et relié la pompe à eau avec les 2 trous à l'extérieur de tube en plastique comme le figure III.25 ci-dessus :

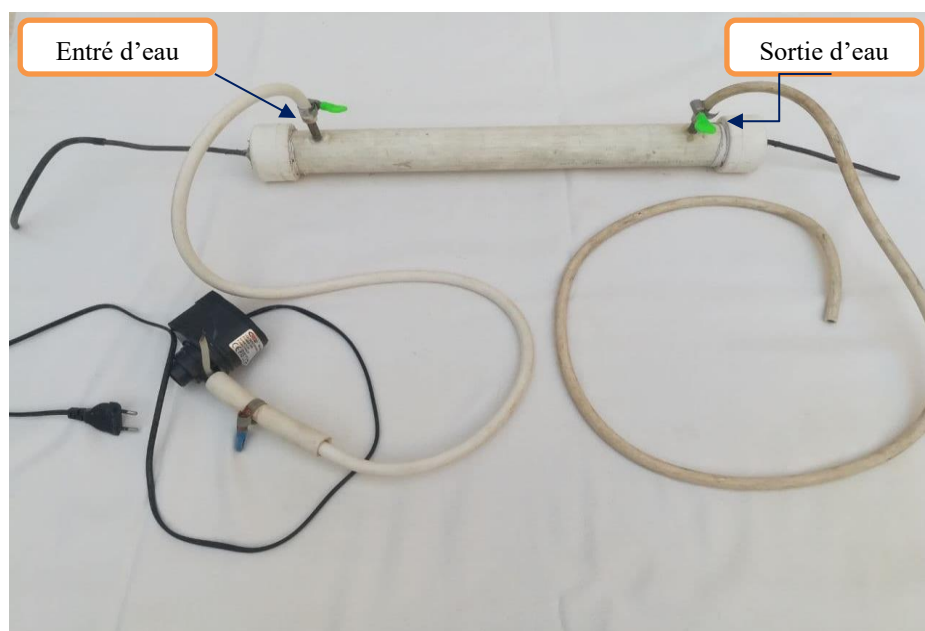


Figure III. 25: Réfrigérant (condenseur)

Ont relié entre le distillateur et l'échangeur de chaleur par un tube noir résiste les haute températures de gaz dégagé par le distillateur.

III.6.1.3. Réchaud à gaz (source de chaleur)

Il y'a plusieurs types des bruleurs qu'il est possible utilisé, mais on a choisi un Réchaud à gaz comme le figure III.24.

Le mécanisme de travail

Si une espèce de mélange arrivé à la température d'ébullition, le vapeur dégagé va entrer le tube noir et passé par réfrigérant pour condensé et récupérer le vapeur sous forme liquide à la fin d'opération.

Le montage et les composants de ce distillateur sont représentés dans la figure III.24.

III.6.2. La distillation alcoolique

Après avoir passent 72h de fermentation les déchets, on ouvrir le bioréacteur pour arrête l'opération. Pour chaque déchet (la mélasse, les dattes, la pomme de terre et la betterave) on fait trois distillations sur les normes et à même condition.

- Deux distillations se fait par notre distillateur.
- La troisième se fait dans distillateur à rota-vapeur.

Comme on a vu à la partie bibliographique, la température d'ébullition d'éthanol est à 78°C.

- On a fait contrôler la température à 78°C au cour de temps de distillation.
- On remplit à (2/3) en volume total de ballon de distillateur.
- On observe des gouttes à la sortie de condenseur après quelque minute d'accédé l'opération.
- Arrêter le distillateur quand le distilla est (1/2) de volume initial de rempli.
- Pour augmenter la densité de bioéthanol on utiliser la rota vapeur à sous pression dans la troisième distillation pour purifie et minimisé le temps nécessaire de distillation.
- A la fin de distillation on vérifie la densité de bioéthanol par l'alcoomètre.

Enfin, on conserve le produit dans bouteilles bien fermé et placé dans un réfrigérateur à 20°C, pour éviter l'évaporation d'éthanol.

III.7. Tableau des produits et matériels

Le tableau suivant regroupé tous le matériel et produit chimique utiliser dans notre étude.

Tableau III. 1: Matériel et produit chimique utilise

Les produits	Le matériel
<ul style="list-style-type: none"> - HCl - NaOH - Eau distillée - Eau stérilisée - Acétone - Ethanol 	<ul style="list-style-type: none"> - pH mètre (AD 130) - Autoclave (HV-110) - Rota-vapeur (heidolph) - Thermomètre - Balance - Entonnoir - Barreau magnétique - Agitateur magnétique avec plaque chauffante (MSH-300) - Eprouvette gradué 200mL - Papier wattman - Erlenmeyer de 700mL - Pompe à eau (HX-1280F) - Réchaud à gaz (tabona) - Cocotte –minute - Alcoomètre (Gay Lussac 0-100 et Cartier 10-44) - Réfractomètre (AB1) - Densimètre (DMA 35)

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1. Introduction

L'objectif principal de ce travail est la production de la bioéthanol à partir des différentes matières premières végétales avec la méthode de fermentation, basons sur le phénomène de métabolisme du sucre avec les levures.

Sur la base de ce qui a été précédemment présenté dans ce domaine, nous avons utilisé quatre types des déchets «La pomme de terre, la betterave, les dattes et la mélasse», afin d'étudier la quantité d'éthanol pour chaque expérience.

IV.2. Rendement de fermentation

Au début on utilise la même quantité pour les quatre types des déchets, et même protocole de travail puis subit trois distillations successives pour récupérer l'éthanol. Les résultats regrouper dans le tableau ci-dessous (tableau IV.1).

Tableau IV. 1: Variation de rendement, conversion et degré d'éthanol obtenue

Masse Déchet	Masse initiale De déchet utiliser (g)	Masse finale d'éthanol (g)	Masse d'éthanol pur optimal (g)	Degré d'éthanol	Rendement d'éthanol (%)	Rendement d'éthanol pur optimal (%)
La mélasse	415	197.047	141.97	72°	47.48	34.20
La betterave	415	248.63	74.58	30°	59.9	17.77
La Pomme de terre	415	219.135	43.82	20°	52.80	10.55
Les dattes	415	204.72	69.60	34°	49.33	16.77

IV.2.1. Discussion sur le rendement d'éthanol en fonction de degré

D'après avoir ces résultats on trouve que :

- **La mélasse** : on a commencé avec une masse initiale de déchet (415 g), après une fermentation suivie par distillation on constate une consommation de la masse initiale de déchet avec un taux de conversion de 47.48% .La masse d'éthanol obtenue environ de 197.047 g.
- **La betterave** : Les conditions de l'expérience de betterave est assimilable au celle de la mélasse; On constate une consommation de la masse initiale de déchet avec un taux de conversion de 59.9%. La masse finale d'éthanol est environ de 248.63 g
- **La Pomme de terre** : Les conditions de l'expérience de la pomme de terre est assimilable au celle de la mélasse; On constate une consommation de la masse initiale de déchet avec un taux de conversion de 52.80% . La masse finale d'éthanol est environ de 219.135g.
- **La datte** : Les conditions de l'expérience de pomme de terre est assimilable au celle de la mélasse; On constate une consommation de la masse initiale de déchet avec un taux de conversion de 49.33% . La masse finale d'éthanol est environ de 204.72g.

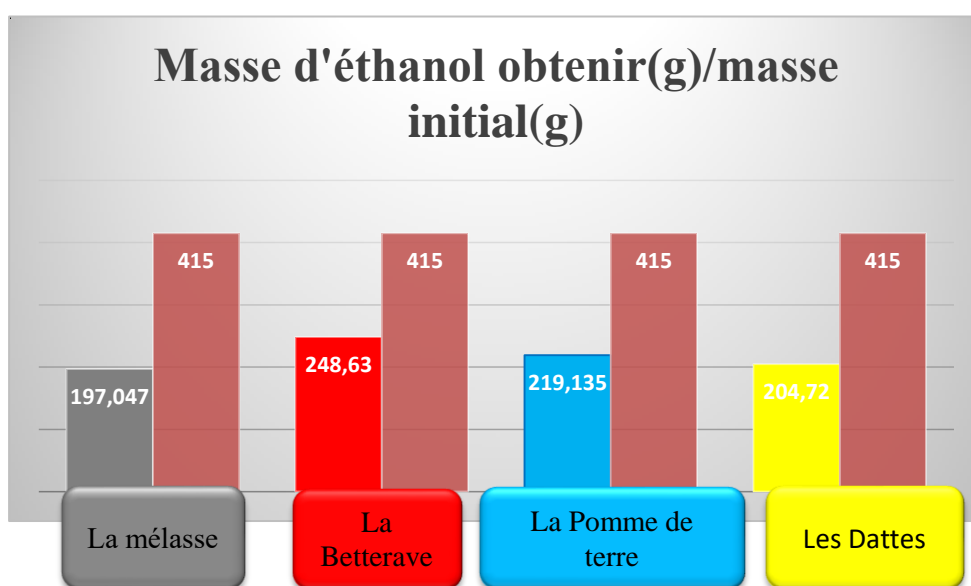


Figure IV. 1: Histogramme des masses d'éthanol obtenue à partir de la Valorisation des masses des déchets utilisant

IV.2.2. Degré de bioéthanol

On mesure le degré de bioéthanol obtenue par chaque type outil d'alcoomètre (figure IV.2), les résultats sont présentés dans la figure IV.3.

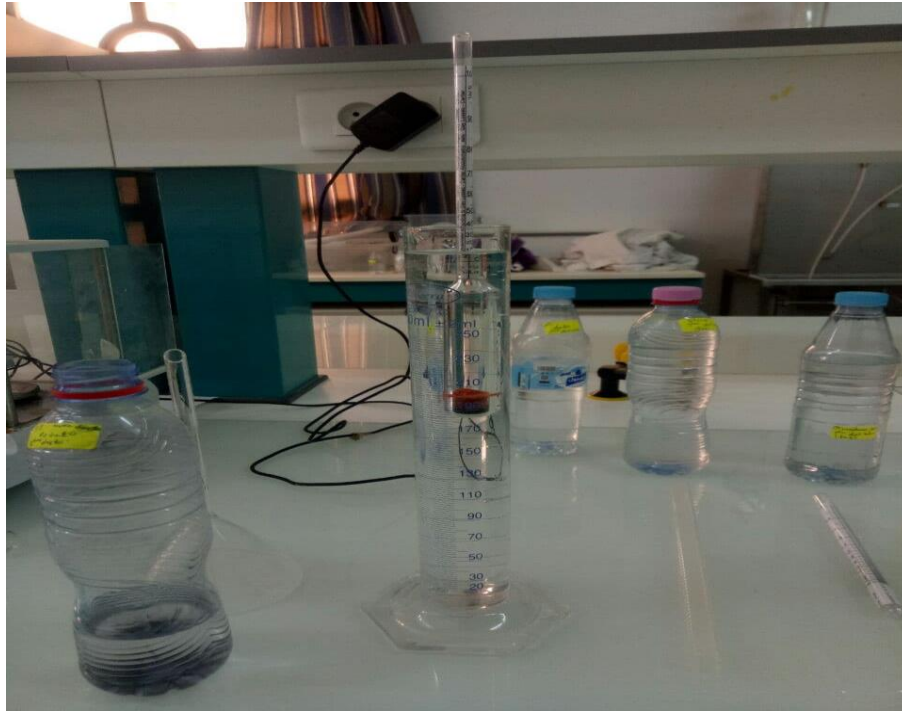


Figure IV. 2: Alcoomètre

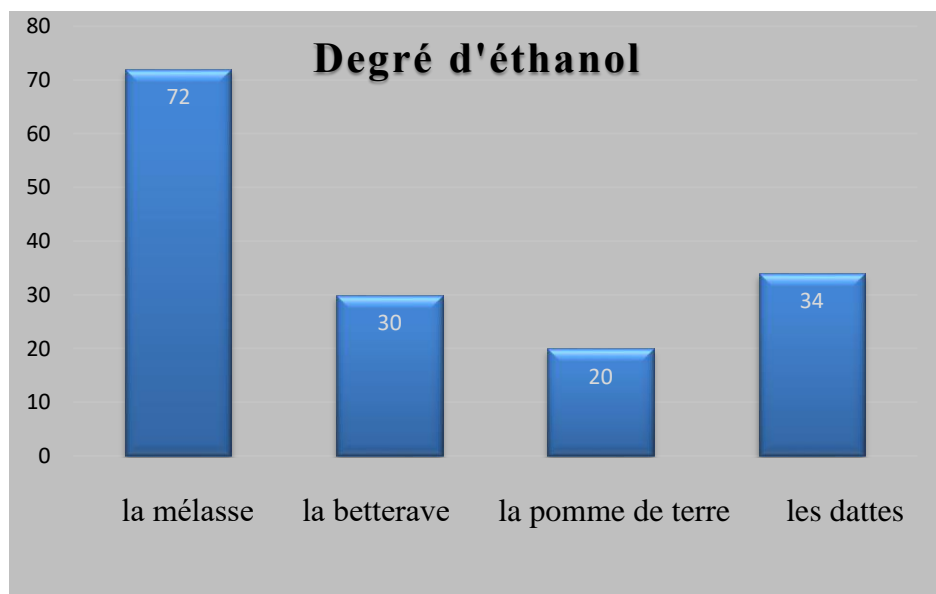


Figure IV. 3: Histogramme de degré d'éthanol obtenu

D'après la figure IV.2 on observe que le degré d'éthanol (pourcentage volumique) a été varié selon les type des déchets (la mélasse, la betterave, la pomme de terre et les dattes), l'éthanol de la mélasse est donne le degré d'éthanol le plus élevé (72°) ce qui explique par le meilleure taux de conversation de ce déchet.

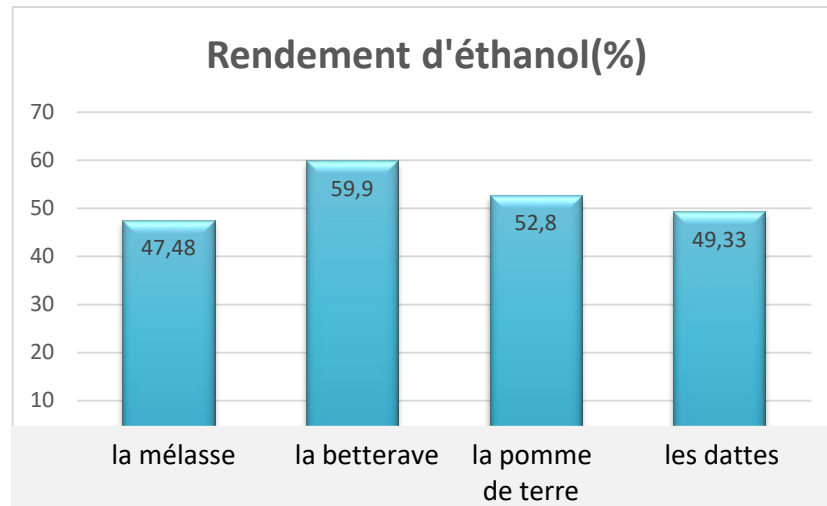


Figure IV. 4: Histogramme de rendement d'éthanol obtenu

D'après la figure IV.3 on observe que le rendement d'éthanol obtenue de ces déchets utilisé est varié entré 59.9% et 47.48%, alors que ce rendement lié par le degré d'éthanol obtenue. Le meilleur rendement de conversation des déchets est la mélasse, malgré que le rendement soit de 47.48% avec un degré de 72°.

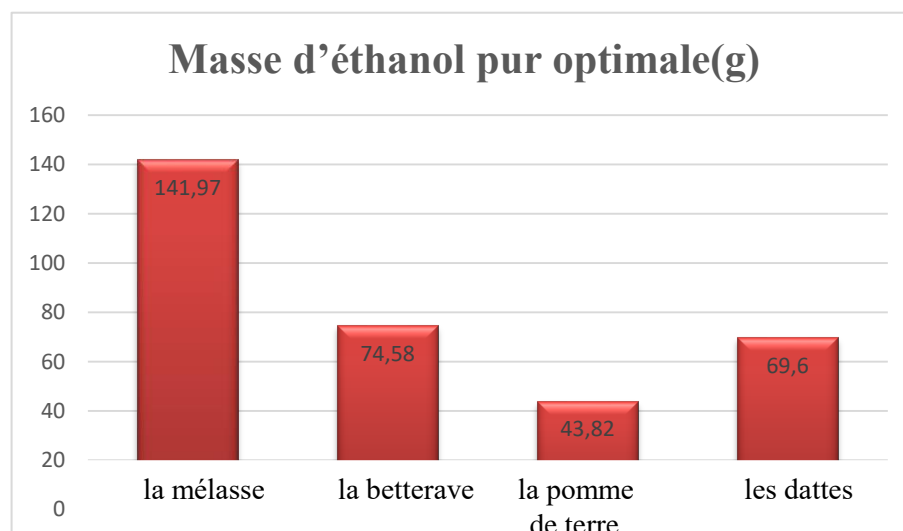


Figure IV. 5: Histogramme de masse d'éthanol pur optimal

La figure IV.4 représente l'histogramme le calcul de la masse d'éthanol pur optimal, varie entre 43.82g et 141.97g, on conclue que la mélasse est donne la masse la plus élevé d'éthanol

pur optimal calculé à cause de meilleure taux de conversion et de degré plus élevé (72°). Les calculs :

La variation de Rendement et masse d'éthanol pur optimal calculé avec la méthode suivante :

- Calculé La masse initiale convertie à 100° d'éthanol. Exemple de la mélasse.
- On a : $M_i = 415\text{g}$ converti à $M_f = 197.047\text{g}$ de degré d'éthanol = 72°.
- On cherche la masse totale d'éthanol à 100° de masse finale.
- On suppose que le degré d'éthanol soit à 100°, alors on calcule la masse optimale de chaque déchet et sa conversion.

$$X = \frac{72 \cdot 197.047}{100} = 141.97\text{g}$$

IV.2.3. Pourcentage de Rendement optimal

La masse optimale est la masse nécessaire d'avoir une conversion de la masse initiale avec un degré 100° d'éthanol ; la différence de la masse optimale signifie que le pourcentage de conversion optimale de chaque masse initiale de déchet.

$$X = \frac{141.97 \cdot 47.48}{197.047} = 34.20\%$$

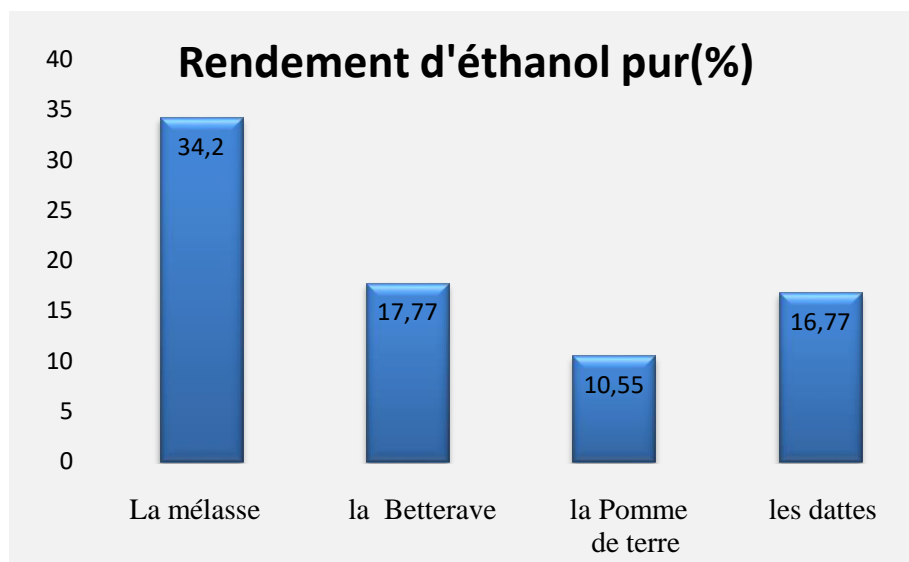


Figure IV. 6: Histogramme de Rendement d'éthanol pur %

A la fin de notre travail expérimental et d'après les résultats de rendement d'éthanol pur optimal de conversion des déchets (la mélasse, la betterave, la pomme de terre et les dattes) (Figure IV.5), on remarque que le degré d'éthanol varie entre 20° à 72° dépend de le type et la quantité de matière premier et sa nature du sucre.

- La mélasse est l'échantillonnage qui contient le plus grand degré d'éthanol à cause de sa structure simple du sucre [6].
- La pomme de terre est l'échantillon qui contient le moins degré d'éthanol, à cause de sa structure compliquée du sucre.

IV.3. Propriétés physico-chimiques

Le rendement théorique en éthanol, appelé rendement de Gay-Lussac, établit que 51,5 kg d'éthanol peuvent être fabriqués à partir de 100 kg de glucose (50% de conversion de matière premier en éthanol) [6].

On mesure la densité et l'indice de réfraction par les outils suivante :



Figure IV. 8: Densimètre



Figure IV. 7: Réfractomètre

Tableau IV. 2: Propriétés physico-chimique de bioéthanol obtenir par différent déchet

Propriété Déchet	Masse volumique (g/l)	Densité	Indice de réfraction
La mélasse	880	0.8891	1.360
Les dattes	974	0.9781	1.329
La pomme de terre	972	0.9821	1.327
La betterave	971	0.9813	1.327

Comparaison de notre bioéthanol produit par le déchet de la mélasse avec un éthanol commerciale de degré 72°.

Tableau IV. 3: Comparaison entre bioéthanol de la mélasse et éthanol commerciale à 72°
[e5, e6]

Propriété Matière	Masse volumique (g/l)	Densité	Indice de réfraction
Bioéthanol	880	0.8891	1.360
Ethanol commerciale	879.5	0.88531	1.3611

Les résultats de bioéthanol que nous avons obtenus sont proches des résultats de connaissances pour l'éthanol commercial, et cela est dû à l'efficacité des appareils et à la pureté du produit.

Conclusion générale

Recommandation

Dans ce travail, nous avons permis de mettre en évidence la possibilité de production d'éthanol à partir des déchets végétaux qui disponible à grand quantité dans les régions de Ghardaïa et Bejaïa.

Le bioéthanol jeu un rôle très important dans le domaine d'énergie car c'est une source renouvelable, propre, non toxique et non polluante.

Le but de ce travail est le recyclage des déchets pour la production d'éthanol qui nous offre la possibilité de réduire les déchets végétaux et diminuer la pollution et protégé l'environnement.

Pour la production de bioéthanol, on a choisi quatre types des déchets riches en sucre (la pomme de terre, la mélasse, la betterave et les dattes), ces déchets subit un traitement afin d'extraire le sucre. Le bioéthanol et le résultat de fermentation obtenue par les déchets végétaux c'est grâce à la levure *saccharomyces cerevisiae* sous des conditions bien déterminé :

Température= 33°C, pH=4.5, concentration de déchet=250g/l, masse de levure= 8g.

Finalement, nous avons récupéré le bioéthanol de chaque déchet à différent degré et différente quantité.

D'après les résultats de notre travail on a conclu que le déchet optimal pour la production de bioéthanol est la mélasse selon les propriétés des résultats suivants :

- Degré d'éthanol= 72°
- Rendement = 47.48%,
- Rendement d'éthanol pur optimal= 34.20%

Recommandation

Recommandation

Les résultats de notre travail que nous avons atteint en fonction des possibilités disponibles et à notre disposition certaines recommandations peuvent être prises en compte pour ceux qui abordent ce sujet pour obtenir de meilleurs résultats :

- Utilisé des bioréacteurs bien contrôlé.
- Caractérise de bioéthanol par HPLC, IR et SM

On souhaite que l'un des chercheurs travaille avec d'autres variables pour atteindre un meilleur rendement et en utilisant les critères que nous avons utilisés, nous suggérons de choisir un déchet riche en sucre et d'ajouter des catalyseurs de levure pour donner un meilleur rendement comme ajout NH_4Cl .

Références bibliographiques

- [1]- Venkatesan Srinivasan, Sridhar Ramasamy, Production of Bio-ethanol from Sugar Molasses Using *Saccharomyces Cerevisiae*, from modern applied science, volume 3, 2009; p33.
- [2]- Saidi A. La biomasse lignocellulosique et la bioénergie. *Bio énergie et environnement*, no21, 2011 ; pages 4-5.
- [3]- Julien PAGLIARDINI, Optimisation du rendement de production de bioéthanol chez *Saccharomyces cerevisiae* par minimisation de la synthèse du glycérol : Approche intégrée de génie métabolique et microbiologique, thèse de doctorat, 2010.
- [4] Million Tadege, Isabelle Dupuis and Cris Kuhlemeier, Ethanolic fermentation : new functions for an old pathway, Vol. 4, No. 8, 1999.
- [5]- FAROUK Chaa , Production du bioéthanol. Analyse et modélisation par la loi de Michaelis-Menten, Mémoire de master, 2019.
- [6]- Sofien Chniti, Optimisation de la bio production d'éthanol par valorisation des refus de l'industrie de conditionnement des dattes, thèse de doctorat, 2015.
- [7]- Gregory P. Casey, W. M. (Mike) Ingledew, ethanol tolerance in yeast, volume 13 issue 3, 2008 ; p219.
- [8]- Bai FW, Anderson WA, Moo-Young M. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnol Adv* 2008 ; p26.
- [9]-Almeida ELF, Silva CMS. Formação de um mercado internacional de etanol e suas interrelações com os mercados de petróleo e açúcar. XI Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, Brazil ,2006.
- [10]- Krylova AY, Kozyukov EA, Lapidus AL. Ethanol and diesel fuel from plant raw materials: a review. *Solid Fuel Chem* 2008; p42.
- [11]- Solange I. Mussatto^a, Giuliano Dragone^a and all , Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production, *Biotechnology Advances* Volume 28, Issue 6, 2010 ; Pages 817-830.
- [12]- Ahmed Boulal 1, Mostefa Khelafi, Amina Hadjira Messaadi, Production du bioéthanol à partir des déchets de dattes d'Adrar et Tolga (Biskra) : Etude comparative, Article. (2019).
- [13]- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseaux, O., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N., and Attia, H. Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Food Chemistry*, 2008; p111.
- [14]- Olofsson, K., Bertilsson, M., Lidén, G.. A short review on SSF – an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks, *Biotechnology Biofuels*, 2008; p1.

Références bibliographiques

- [15]- Gaspard MUZAMA FUNZ, Les mefaits de l'alcool dans l'apprentissage chez les jeunes, memoir, 2012.
- [16]- BENABDALLAH Fatima Zohra BENDAOU Malika, Contribution à la production d'éthanol à partir des épluchures de pomme de terre, memoir, 2016.
- [17]- chimie organique. p5.45 bloc G les alcools , 11eme année.
- [18]- Hatem BEN ROMDHANE, Les Cahiers de Chimie Organique pour les Étudiants en Licences fondamentales ou appliquées – LFSNA 231, LES FONCTIONS CHIMIQUES LES ALCOOLS, Faculté des Sciences de Tunis
- [19]- D. Bégin, M. Gérin, solvant industrielle , chapitre 2 les grand familles des solvants organique, 2002 ; p13-24.
- [20]- Carlos Sanchez, Sergio Santos, Raquel Sa´ nchez, Charles-Philippe Lienemann, and Jose´ -Luis Todol´ í*, Profiling of Organic Compounds in Bioethanol Samples of Different Nature and the Related Fractions, article , 2002.
- [21]- Asma SAIHIA, L'effet d'éthanol sur les paramètres hématologiques, biochimiques et les paramètres de la reproduction chez le lapin mâle *Oryctolagus Cuniculus*. thèse doctorat, 2013/2014 ; p8.
- [22]- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1031>, propan-1-ol, 2005.
- [23]- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/263>-butanol.
- [24]- Julien Riess, INTENSIFICATION DE LA BRIQUE "FERMENTATION ALCOOLIQUE" DE SUBSTRATS BETTERAVIERS (ET AUTRES SUBSTRATS) Pour la production d'éthanol. Thèse doctorat, 2012.
- [25]- Fouad BOUNOUA, Production de bioethanol à partir des déchets de l'industrie de transformation de pomme de terre, mémoire, 2017.
- [26]- Mme Boucherba Nawel (Maître de conférences, Valorisation des résidus agro-industriels, 2014 /2015.
- [27]- Ibtissem FENNOUCHE, Production de bioéthanol à partir de résidus d'agriculture, memoir, 2017.
- [28]- Djeddou Souhaib ; Fkair Mouhamed Ayoub ; bioconversion lignocellulosique pour la Production de bioetanol de douxiémé génération à partire des epluchure de l'espèces salanum tubersoum et de púnica granatum, memoire 2016/2017.
- [29]- Omar BESSAOUD, Sous la coordination de : Jean-Paul Pellissier, Jean-Pierre Rolland, Wided Khechimi, Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie, 2019.

Références bibliographies

- [30]- Atsushi Okamoto, Hiromitsu Fujimura, Yuriko Izawa, Hironori Arakawa, Ethanol synthesis from carbon dioxide and hydrogen, *Studies in Surface Science and Catalysis*. Volume 114, 2007; Pages 525-528.
- [31]- Gregory Cameron, Linda Le, Julie Levine, Nathan Nagulapalli, *Process Design for the Production of Ethylene from Ethanol*, Department of Chemical & Biomolecular Engineering, 2012.
- [32]- *Saccharomyces cerevisiae* is a yeast cell more and more involved in urinary tract infections: about 3 cases. 2020.
- [33]- Modulation de la transition respiro-fermentaire chez *Saccharomyces cerevisiae* par l'oléate : analyse cinétique et métabolique en culture continue sur substrats mixtes.
- [34]- Yan Lin, Shuzo Tanaka, *Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects*, 2005.
- [35]- Aldiguié, S.A., Alfenore, S., Cameleyre, X., Goma, G., Uribelarrea, J.L., Guillouet, S.E., Molina-Jouve, C. Synergistic temperature and ethanol effect on *Saccharomyces cerevisiae* dynamic behaviour in ethanol bio-fuel production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2004; p26.
- [36]- Jones. R.P. Pamment, N., Greenfield, P.F. Alcohol fermentation by yeasts - the effect of environmental and other variables. *Process Biochemistry*, 1981; p16 (3).
- [37]- Birch, R., Walker, G. Influence of magnesium ions on heat shock and ethanol stress responses of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*, 2000; p26.
- [38]- Kasemets, K., Kahru, A., Laht, T. M., Paalme, T. Study of the toxic effect of short-and medium- chain monocarboxylic acids on the growth of *Saccharomyces cerevisiae* using the CO₂ auxo acetostat fermentation system. *International Journal of Food Microbiology*, 2006; p111.
- [39]- Ferreira, M.M., Loureiro-Dias, M.C., Loureiro, V. Weak acid inhibition of fermentation by *Zygosaccharomyces bailii* and *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Food Microbiology*, 1997 ; 36(3).
- [40]- Anonyme. *Statistiques Agricoles. Série A Palmiers Dattiers*, 1996 ; p 5-7.
- [41]- M. Cot. *Etudes Physiologiques de l'Adaptation et de la Résistance de la Levure Saccharomyces Cerevisiae au Cours de la Production Intensive d'Ethanol*. Thèse de Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [42]- Fayrouz. K, Abdelkader, T. *Production de Bioalcool à Partir des Déchets de Dattes. Production et Valorisation – Biomasse*, 2001 ; 75-78.
- [43]- *Pratiques culturelles Grandes Cultures, Betteraves : fertilisation et travail du sol. La betterave sucrière : première culture industrielle de la région Nord-Pas-de-Calais*. article, 2011.

Références bibliographiques

- [44]- A. Boulal, Z. Ben Brahim, B. Benali, S. Ladjel. Faculté des Sciences, Techniques et Sciences de la Matière Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algeria (Tinaceur et Aghmou) de Sud – Ouest de l’Algérie 2013.
- [45]- DADI. A, KORICHI. M. Etude des méthodes d'extraction de jus de dattes, 2015 /2016.
- [46]- BERRABAH. A. Evaluation des propriétés physico-chimiques et sensorielles d’un yaourt à texture améliorée par l'extrait d'amidon de pomme de terre blanche (*Solanum tuberosum*). 2019-2020.
- [47]- Seyed. A. B. Modification des Propriétés Physico-Chimiques de l’Amidon par Procèdes Hydrothermiques : Contribution à l’étude des Transferts Couples Chaleur-Masse. Thèse de doctorat , 2012.
- [48] –franck. S. Categorié : dictionair A, chimie.
- [49]- Valorisation énergétique de la betterave sucrière. Article. 2016.
<https://www.researchgate.net/publication/348409192>.
- [50]- wertz J. Prétraitement de la biomasse lignocellulosique. Revuerecontre de labiomasse. 2012 ; n09 ; pages 60-62.
- [51]. Anand. R. G, and Daniel. M. K Molasses for ethanol: the economic and environmental impacts of a new pathway for the lifecycle greenhouse gas analysis of sugarcane ethanol.
- [52]-ZEROUALI. A, HAMAMI. H, Valorisation de la mélasse de canne à sucre (raffinerie groupe Berrahel) pour la production du bioéthanol, 2019.
- [53]- A. Boulal, B. Benali, M. Moulai , A. Touzi, Transformation des déchets de dattes de la région d’Adrar en bioéthanol. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3*, 2010 ; p455 – 463.
- [54]- S. Acourène, M. Tama, Utilisation des Dattes de Faible Valeur Marchande (Rebuts de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) comme Substrat pour la Fabrication de la Levure Boulangère. *Revue des Energies Renouvelables, Production et Valorisation, Biomasse*, 2001 ; p1 – 10.
- [55]- D. Ghobrini, K, Aïboud ý, L. Kebbab , L. Koumad, S. Yakoub-Bougdal. Production de bioéthanol à partir de rebuts de dattes par fermentation en milieu solide, *Energies Renouvelables SIENR’12 Ghardaïa*, 2012 ; p 109 – 114.
- [56]- S. Acourène, M. Tama. Utilisation des Dattes de Faible Valeur Marchande (Rebuts de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) Comme Substrat pour la Fabrication de la Levure Boulangère, article. *Ren. : Production et Valorisation – Biomasse* ,2001 ; p1-10.
- [57]- D. Fabienne, *Génie Fermentaire*, Edition Doin Editeurs, 1991 ; p 226 - 229.
- [58]- F. Kaidi, A. Touzi. Production de Bioalcool à Partir des Déchets de Dattes. *Revue des Energies Renouvelables, NS: Biomasse Production et Valorisation*, 2001; p75 – 78.
- [59]- Alfa ARZATE, EXTRACTION DU SUCRE DE BETTERAVE.ACER. 2005.

Références bibliographiques

[60]- S. Djeddou¹, K. Boutemak, B. Cheknane³, A. Hadj-Ziane² et F.M. Ayoub¹, Etude de la production de bioéthanol de deuxième génération à partir d'un déchet agroalimentaire Energies Renouvelables Vol. 21 N°3 2018 ; p385 – 390.

[61]- S. Acourène, M. Tama. Utilisation des Dattes de Faible Valeur Marchande (Rebuts de Deglet-Nour, Tinissine et Tantboucht) comme Substrat pour la Fabrication de la Levure Boulangère. Revue des Energies Renouvelables, Production et Valorisation, Biomasse, 2001 ; p1 – 10.

[62]- Dr. MANSOURI. Kh., Polycopie de cour de distillation, département Génie des Procédés, Université de Ghardaïa. 2019/2020.

Site web

[e1]- Les biocarburants, un enjeu d'avenir pour les besoins futurs de notre planète.
<http://biocarburants-parlons-chimie.e-monsite.com/>

[e2]- <http://biocarburants-parlons-chimie.e-monsite.com/pages/les-biocarburants/troisieme-generation.html>.

[e3]- <https://slideplayer.fr/slide/13762137/>.

[e4]- <https://www.toutvert.fr/fecule-de-pomme-de-terre-ali/>.

[e5]- Pharmacie des Rosiers, PRÉPARATIONS MAGISTRALES, TABLE DE MOUILLAGE (DILUTION ALCOOL), <HTTPS://WWW.PHARMACIE-DES-ROSIERS.COM/TABLE-MOUILLAGE>

[e6]- <https://tice.ac-montpellier.fr/ABCDORGA/Famille/Produit/ethanol.html>

e