

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR-KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE
Département de Génie Industriel



جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: هندسة صناعية

Mémoire de Master

No. Réf. :/...../2023

Domaine : Sciences et Technologie.
Filière : **Génie des procédés.**
Spécialité : Génie Des Procédés de l'environnement.

Réalisé par :

GHOUL AMINA

BOUTTOBBA ROUMAISSA

Thème

**Production de bioéthanol à partir des
déchets agricoles locaux : carotte de
Mtoussa.**

Soutenu le/...../..... devant la commission d'examen composée de :

M.

Président

Pr.

Benounis messaoud

Directeur du Mémoire

M.

.....

Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

The image features the Basmala in a highly stylized, bold black calligraphic font. The text is arranged in a curved path from the top left towards the bottom right. The letters are thick and interconnected, with prominent horizontal strokes. Small, light-colored Arabic characters are placed above and below the main letters to indicate diacritics and stroke directions. Three solid black squares are positioned around the text: two on the left side and one on the right side, serving as decorative accents. The entire composition is set against a plain white background.



DIDICAS

*Je suis honoré de dédier cet humble travail
à mes honorables parents,
A ma chère soeur Abir et ma tante Karima
A toute ma famille et à tous ceux qui m'ont
soutenu dans mon cheminement
A mon amie Amina, qui a partagé ce travail
avec moi
A Tous mes amis de promotion de 2 MASTER
GPE
Quelqu'un qui a une place dans mon cœur.*

ROUMAÏSSA.

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à mes
parents
(Boumaaraf et Seraya),
A toute ma famille et à tous ceux qui m'ont
soutenu dans mon cheminement
À ma chère amie Roumaïssa, ainsi qu'à toute la
promotion de génie des procédée 2022/2023.*

AMINA.



Remerciements

En premier, nous remercions le tout puissant ALLAH, notre créateur qui nous a donné la force d'accomplir ce travail.

*Nous tenons à remercier vivement, le chargé du suivi de ce travail, Pr. **Messaoud Benounis**, pour ses encouragements, ses conseils précieux et sa disponibilité.*

Nous tenons à remercier Dr. Touati Amina pour les efforts considérables déployés pour nous aider ainsi que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Nous souhaitons dire un grand merci à tous les enseignants du département des génies des procédés et pour de nous avoir enrichis de savoir au long de ces cinq années.

Un remerciement particulier à Bourouba Laïla pour les conseils qu'elle nous a données et les informations qu'elle nous a fournies dès nos présences au laboratoire.

Nous remercions nos familles pour le soutien et l'encouragement pendant ces années.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre 01

GENERALITE SUR LE DECHETS ET L'ENERGIES RENOUVLABLE.....	1
1.1 . Généralité sur les énergies renouvelables	Error! Bookmark not defined.
1.2. Développement des énergies renouvelables.....	Error! Bookmark not defined.
1.2.1. Le cadre générale	1
1.2.2. Les énergies renouvelables en Algérie.....	2
1.3. Énergies renouvelables et déchets.....	4
1.4. Généralité sur la gestion des déchets en Algérie.....	5
1.4.1. Les déchets ménagers et assimilés.....	5
1.4.2. Les déchets industriels	7
1.5. Ethanol	8
1.5.1. Généralité	8
1.5.2. Propriétés physiques	9
1.5.3. Propriétés chimiques	10
1.5.4. Bioéthanol	10
1.5.4.1. Généralité	10
1.5.4.2. Utilisations du bioéthanol	10
1.5.4.3. Production du bioéthanol	11
1.5.4.3. Générations de bioéthanol.....	12
1.5.4.4. Avantages et Inconvénients du bioéthanol.....	15
1.5.4.5. Avenir de bioéthanol.....	15
1.6. Fermentation alcoolique	17
1.6.1. Types de fermentation	17
1.6.2. Micro-organismes utilisés dans la fermentation alcoolique	18
1.6.3. Paramètres influent sur la fermentation	19
1.7.Procédé de distillation	22
1.7.1. Définition	22
1.7.2. Principe	22
1.7.3. Types de distillation.....	23

Chapitre 02

MATÉRIELS ET TECHNIQUES DE PRODUCTION DU BIOETHANOL.....	24
2.1. Généralité	24
2.2. Évolution de la culture carottière dans la wilaya de kenchela	25
2.3. Matériels utilisés.....	26

2.3.1. Matériel végétal.....	26
2.3.2. Matériel biologique (Micro-organisme).....	28
2.3.3. Le principe de fermentation.....	30
2.3.4 Principe de filtration.....	31
2.3.5. Principe de distillation.....	31
2.4. Appareils utilisés.....	32
2.4.1. PH-mètre.....	32
2.4.2. Spectrophotométrie.....	33
2.4.3. Spectromètre FT IR.....	35
2.4.4. Réfractomètre.....	37
2.4.5. Densimètre électronique.....	39

Chapitre 03

RESULTATS ET DISCUSSION.....	42
3.1. 3.1. Objectif.....	42
3.2. Matière première.....	42
3.3. Microorganisme utilisé pour la fermentation	43
3.4. Méthodes d'expériences	43
3.4.1. Prétraitement.....	43
3.4.2. Fermentation.....	44
3.4.3. Filtration.....	46
3.4.4. Distillation.....	47
3.4.5. Identification de l'éthanol.....	48
3.4.6. Rendement de fermentation de déchets de carotte et comparaison avec les travaux ultérieurs....	49
3.5. Propriétés physico-chimiques	51
3.6. Résultats d'analyse infrarouge.....	53
3.7. Résultats de Spectrophotométrie UV.....	56
CONCLUSION GENERALESET PERSPECTIVE	57

Liste des figures

Figure 1.1 Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables.....	3
Figure 1.2 : Énergies renouvelables et déchets (source, IEA).....	5
Figure 1.3 : Modes de traitement des déchets en Algérie (AND, 2014).....	6
Figure 1.4 : Structure de la molécule d'éthanol.....	8
Figure 1.5 : Production mondiale de bioéthanol.....	11
Figure 1.6 : Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération.....	12
Figure 1.7 : Production de bioéthanol à partir de la biomasse de deuxième génération.....	13
Figure 1.8 : Filières de production de biocarburants de troisième génération.....	14
Figure 1.9 : Schéma résume les différentes générations de production de bioéthanol.....	14
Figure 1.10 : Évolution du marché mondial de bioéthanol en milliards de litre par année	16
Figure 1.11 : Effet de température de fermentation sur le rendement de l'éthanol.....	20
Figure 1.12 : Effet de concentration de matière première (source de carbone) sur le rendement d'éthanol.....	20
Figure 1.13 : Effet de pH sur la production d'éthanol.....	21
Figure 1.14 : Schéma représente le principe de distillation.....	22
Figure 2.1 : diagramme présentée les différentes étapes de fabrication d'éthanol.....	25
Figure 2.2: la production de carottes dans la willaya de khenchela.....	26
Figure 2.3 : Les carottes.....	27
Figure 2.4 : La structure morphologique et les constituants de la levure type (saccharomyces cerisaie.....	29
Figure 2.5 : pH-mètre.....	33
Figure 2.6: Spectre électromagnétique de la lumière et domaine UV-visible.....	34
Figure 2.7: Spectrophotomètre (Shimadzu UV 1800).....	35
Figure 2.8: Spectromètre FT IR (PerkinElmer).....	36
Figure 2.9 : accessoires de spectroscopie FT IR.....	37
Figure 2.10: Réfractomètre (Zuzi)	39
Figure 2.11 : Densimètre portable (Densito)	41
Figure 3.1 : Déchets des carottes utilisés	42
Figure 3.2: Levure Saccharomyces Cerevisiae (saf-instant).....	43
Figure 3.3 : Mélange de carotte après traitement.....	43
Figure 3.4 : protocole de fermentation.....	44
Figure 3.5 : préparation de levure.....	45
Figure 3.6 : filtration après la fermentation.....	46
Figure 3.7 : mout de carottes (avec levure et sans levure) après la fermentation.....	47
Figure 3.8 : Dispositifs utilisés pour la distillation.....	47
Figure 3.9: La flamme résultant de la combustion de l'alcool extrait de carotte.....	49
Figure 3.10: Histogramme des volumes d'éthanol obtenue à partir de la Valorisation des déchets végétaux des volumes d'éthanol obtenue à partir de la Valorisation des déchets végétaux.....	50
Figure 3.11: les outils utilisées (PH-mètre / densimètre/refractomètre).....	51
Figure 3.12 : les mesures de l'indice de réfraction.....	52
Figure 3.13: Comparaison des spectres infrarouge des différents produits.....	54
Figure 3.14 : spectre infrarouge de bioéthanol issu de déchets de carotte sans levure.....	55
Figure 3.15 : spectre infrarouge de bioéthanol issu de déchets de carotte avec levure.	55
Figure 3.16 : Evolution de l'absorbance en fonction da la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de carotte..	56

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Les capacités cumulées du programme EnR sur la période 2015 – 2030.	4
Tableau 1.2 Propriétés physiques de l'éthanol (source : (INRS)).....	9
Tableau 2.1 : composition chimique dz carotte	27
Tableau 2.2 Conditions de croissance de la levure <i>Saccharomyces cerisaie</i>	30
Tableau 3.1. Résumé des résultats. De notre travail	48
Tableau 3.2 Variation de rendement, conversion et degré de bioéthanol obtenue issu de carotte.	49
Tableau 3.3 : comparaison de rendement bioéthanol des travaux précédents et notre travail.....	50
Tableau 3.4: Propriétés physico-chimique de bioéthanol obtenir par déchet de carottes.....	52
Tableau 3.5 : Comparaison de propriété physique – chimique de bioéthanol obtenu de déchets de carottes et de l'éthanol commercial.....	53

INTRODUCTION GENERALE

Rien de plus rationnel que de produire une énergie à base de déchets riches en matière organique renouvelable (biomasse) qui constitue de nouvelles matières premières pour de nombreuses industries.

La valorisation de bioéthanol par les procédés biotechnologiques représente une solution de choix dans la mesure où elle contribue à l'élimination de la pollution que subit l'environnement et permet de produire des substances à forte valeur ajoutée en contribuant au développement industriel et agricole du pays.

L'éthanol biologique est conçu pour être utilisé comme un substituant des sources d'énergie fossiles (gaz, essence et diesel). Il pourrait être utilisé également comme une source pour la production de l'éthylène, éthyle, acrylate, et l'acétaldéhyde.

Plusieurs travaux ont été réalisés dans notre laboratoire et qui visent la production de bioéthanol à partir des déchets agricoles locaux de la région de kenchela. Les déchets de pommes, d'abricots, de pêches, de melons, et de pastèques ont été utilisés comme source de bioéthanol.

Dans le première travail, des déchets de pommes et de pêches ont été utilisés comme matière première pour la production de bioéthanol. bioéthanol es obtenu à la suite de la fermentation et selon le protocole simple et représenté (prototype), ils purent obtenir de bons résultats en termes de qualité du bioéthanol et un rendement important.

Dans le deuxième travail, ils ont utilisé des pommes et des abricots, du fait que la région de Bouhamama dans la wilaya de Khenchela est la plus productive de ces fruits, où le rendement de bioéthanol extrait a été estimé à 60%.

Dans le troisième travail, ils ont utilisé la pastèque, car la quantité de production est estimée dans la wilaya de Khenchela d'environ 300.000 quintaux de pastèques et 50.000 quintaux de melon selon les prévisions des services agricoles, où le rendement de bioéthanol extrait a été estimé à (42.6 % - 30 %).

Ce présent travail est une continuation des travaux réalisés dans notre laboratoire de recherche et se concentre sur la production de bioéthanol à partir de déchets de carottes issus de la région agricole de Mtoussa notre choix de la carotte se justifie en abondance dans notre Wilaya car c'est les

premières cultures maraîchères avec une production d'environ 81 000,00 quintaux dans une superficie d'environ 355,00 hectares. On pensait qu'il serait logique de produire de l'éthanol à partir de déchets de carotte. Les paramètres qui affectent le processus de production ont été optimisés. Notre travail se compose de trois parties :

- La première partie est une étude bibliographique englobe un aperçu sur la position de l'éthanol dans le monde, sa production mondiale, ses générations, les domaines d'utilisation et finalement l'avenir de bioéthanol, un aperçu sur la fermentation alcoolique et les microorganismes utilisés dans le procédé principalement la levure *Saccharomyces cerevisiae*, un aperçu sur le procédé de distillation et une étude sur la filière maraîchère utilisée pour la production de l'éthanol.
 - Une deuxième partie comprend le matériel, les produits utilisés dans les expériences et les méthodes d'analyse utilisés pour l'analyse des résultats.
 - La troisième partie comprend l'analyse et la discussion des résultats obtenus pour tirer des conclusions.
-

Chapitre 01

GENERALITE SUR LES DECHETS ET L'ENERGIES RENOUVLABLE

1.1. Généralités sur les énergies renouvelables :

L'énergie renouvelable (EnR) est une énergie obtenue à partir de ressources renouvelables, elle est définie comme une énergie exploitée par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas. En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation.[1] Il existe plusieurs formes d'énergie renouvelables, dérivées directement ou indirectement du soleil ou de la chaleur produite au plus profond de la Terre, notamment l'énergie générée par le soleil, le vent, la biomasse et la biomasse solide, la chaleur terrestre, l'eau des fleuves, des lacs, des mers et des océans, le biogaz et les biocarburants liquides.

1.2. Développement des énergies renouvelables :

1.2.1. Le cadre générale :

Depuis 1990, les sources d'énergie renouvelable dans le monde ont progressé à un rythme annuel moyen de 1,7 %, soit légèrement plus que le rythme de croissance de la production totale d'énergie primaire. Cette croissance a été particulièrement marquée pour les « nouvelles » énergies renouvelables (éolienne, solaire), lesquelles ont progressé en moyenne de 19 % par an. Les énergies renouvelables se développent intensément partout dans le monde, portées par la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Selon l'agence internationale de l'énergie (IEA), 13,8 % d'énergie été produite à partir de ressources renouvelable en 2014 [2].

En 2015, un nouveau record a été établi pour l'investissement dans le domaine des énergies renouvelables avec l'adhésion des pays en voie de développement. Tout cela s'est produit dans une année où les prix des combustibles fossiles ont chuté, causant de la détresse à de nombreuses entreprises impliquées dans le secteur des hydrocarbures. Jusqu'à présent, les moteurs de l'investissement dans les énergies renouvelables, y compris les politiques relatives aux changements climatiques et l'amélioration de la compétitivité des coûts, ont été plus que suffisants pour permettre aux énergies renouvelables de continuer à accroître leur part de la production mondiale d'électricité au détriment des sources émettrices de carbone [3].

Cette tendance a été maintenue en 2016 propulsée par la poursuite de prix bas des combustibles fossiles et la baisse considérables des prix de plusieurs technologies des énergies renouvelables.

Les capacités des énergies renouvelables sont installées, en majorité, dans les pays en voie de développement, notamment en Chine qui est le plus grand développeur d'énergie renouvelable au cours des huit dernières années. En 2016, les énergies renouvelables se propagent à un nombre croissant d'économies en développement et émergentes, dont certaines sont devenues des marchés importants.

La politique gouvernementale à tous les niveaux est restée importante pour le développement des énergies renouvelables. L'accord de Paris de 2015 concernant le Convention-cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) est entré en vigueur à la 22ème Conférence des Parties (COP22) en novembre 2016. Toutefois, les marchés des énergies renouvelables ont été affectés uniquement indirectement au cours de l'année. Un certain nombre de gouvernements ont mis en place de nouveaux objectifs en matière d'énergies renouvelables et plusieurs villes ont établis de nouveaux engagements en faveur d'une énergie 100 % renouvelable [4].

1.2.2. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'Algérie, à l'instar d'autres pays producteurs de pétrole et de gaz conventionnels commence à réaliser l'importance du développement des énergies renouvelables afin de limiter la dépendance de l'économie nationale et de protéger l'environnement. Un programme de développement des énergies renouvelables a été initié en 2014 afin de mettre en valeur les ressources renouvelables dont l'Algérie dispose en grande capacité et s'engageant, ainsi dans une nouvelle ère énergétique durable. À la faveur de ce nouveau programme, les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique se placent au cœur des politiques énergétique et économique menées par l'Algérie. Ainsi d'ici 2030, 37 % de la capacité installée et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable. La répartition de ce programme par filière technologique est présentée dans la Figure 1 suivante :

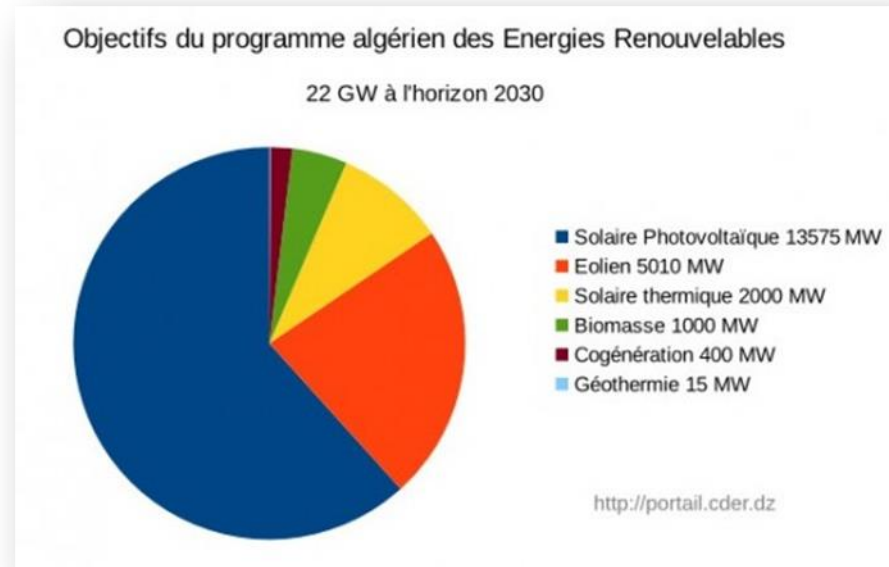


Figure 1.1 : Objectifs du programme algérien des énergies renouvelables [5].

La réalisation du programme permettra d'atteindre à l'horizon 2030 une part de renouvelables de près de 27% dans le bilan national de production d'électricité et 37 % de la capacité installée. Le volume de gaz naturel épargné par les 22 000 MW en renouvelables, atteindra environ 300 milliards de m³, soit un volume équivalent à 8 fois la consommation nationale de l'année 2014.

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois.

Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets en biomasse, en géothermie et en cogénération.

Tableau 1.1 : Les capacités cumulées du programme EnR sur la période 2015 – 2030 [6].

Unité(MW)	1ère phase 2015-2020	2ème phase 2021-2030	Total
Photovoltaïque	3000	10575	13575
Eolien	1010	4000	5010
Csp	--	2000	2000
Cogénération	150	250	400
Biomasse	360	640	1000
Géothermie	05	10	15
Total	4525	17475	22000

1.3. Énergies renouvelables et déchets :

Les déchets sont un combustible composé de matériaux divers issus des déchets de l'industrie, des administrations, des hôpitaux et des ménages, comme le caoutchouc, le plastique, les déchets de combustibles fossiles et d'autres produits semblables. Ils sont soit solides soit liquides, renouvelables ou non renouvelables, biodégradables ou non biodégradables.

La biomasse solide (essentiellement le bois de chauffage utilisé pour cuisiner dans les pays en développement) est de loin la principale source d'énergie renouvelable. Elle représente plus de 10% de la production totale d'énergie primaire de la planète et les trois quarts de l'offre mondiale d'énergies renouvelables.

L'ensemble de la biomasse peut être considérée comme source de bioénergie, ce qui permet autant d'applications énergétiques.

L'IEA classe les énergies renouvelables et déchets en trois grands groupes :

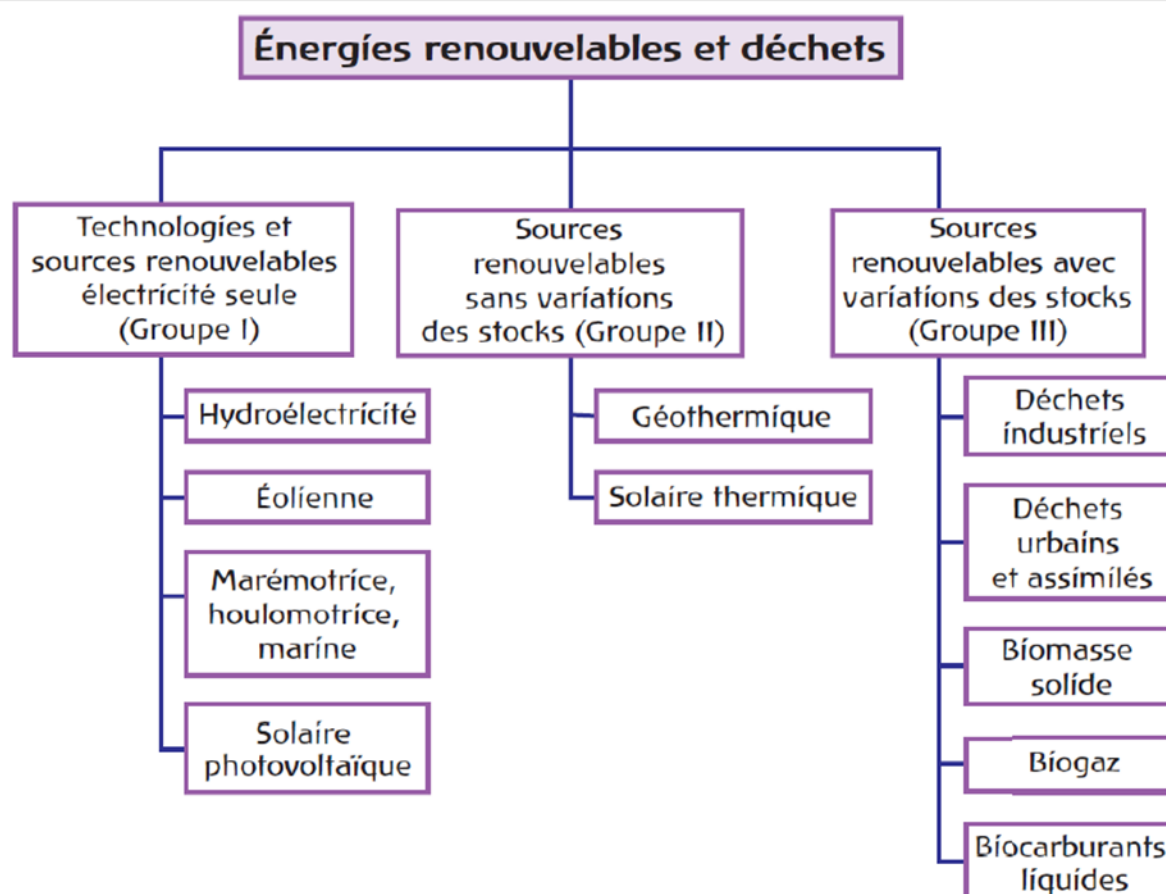


Figure 1.2 : Énergies renouvelables et déchets (source, IEA).

- le groupe I comprend les produits qui doivent être transformés en électricité pour pouvoir être utilisés (tels que l'énergie hydraulique ou photovoltaïque solaire).

- le groupe II comprend les produits qui sont fabriqués et consommés pour de multiples usages dans les secteurs de la transformation et de la consommation (tels que l'énergie géothermique ou solaire thermique). De par leur nature, ces produits ne peuvent pas être stockés au sens conventionnel du terme et, par conséquent, ils ne font l'objet d'aucunes statistiques sur les variations des stocks.

_le groupe III comprend les produits qui sont fabriqués et utilisés pour de multiples usages dans les secteurs de la transformation et de la consommation finale (les déchets, le bois de chauffage, le biogaz et les biocarburants liquides). La nature de ces produits permet de les stocker au sens conventionnel du terme. Ils peuvent donc faire l'objet de statistiques sur les variations des stocks.

1.4. Généralité sur la gestion des déchets en Algérie :

1.4.1. Les déchets ménagers et assimilés :

En Algérie, à l'instar des autres pays du monde, la production des déchets ne fait qu'augmenter. La croissance démographique, l'urbanisation de plus en plus forte et les transformations socio-

économiques que connaît le pays ces dernières années ont été accompagnées par des changements notables au niveau des quantités et de la qualité des déchets produits.

La loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit le cadre général du contrôle et de l'élimination des déchets et consacre les principes d'une gestion rationnelle et saine des déchets et l'ensemble des activités qui s'y rapportent notamment la collecte, le transport, le tri, la valorisation et le traitement.

La production globale des déchets industriels (y compris les déchets industriels banals) est évaluée à 2 547 000 tonnes/an avec une quantité en stock de 4 483 500 tonnes. Les déchets spéciaux générés sont de l'ordre de 325 100 T/an. Les quantités de déchets stockés en attente d'une solution d'élimination sont de l'ordre de 2 008 500 tonnes.[7]

Parmi les déchets solides générés en Algérie, les déchets ménagers et assimilés (DMA) représentent la fraction la plus importante avec environ 11 millions de tonnes/an (2014). La maîtrise de leur composition est donc nécessaire pour évaluer au préalable leur potentiel risque pour le milieu récepteur et le choix du mode de traitement le plus optimal [8].

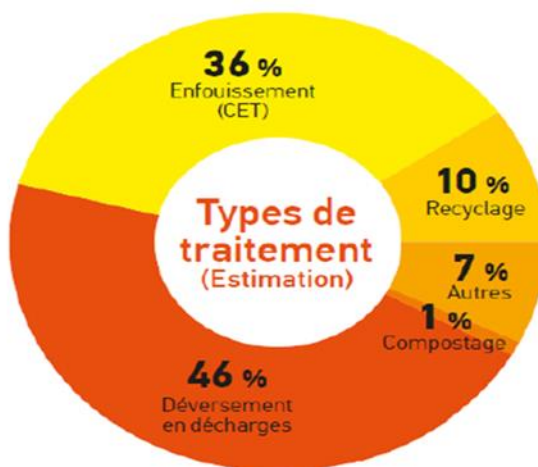


Figure 1.3 : Modes de traitement des déchets en Algérie (AND, 2014).

A ce jour, la mise en décharge est la destination finale la plus privilégiée pour l'élimination des déchets ménagers et assimilés du fait, de son faible coût par rapport aux autres filières comme l'incinération ou le compostage (Figure 03).

Cet état de fait a provoqué la saturation des décharges existantes et a engendré des problèmes d'hygiène et de salubrité publique (odeurs nauséabondes, problèmes respiratoires, allergie...). Ajouter à cela, le potentiel risque que constituent les lixiviats pour les nappes phréatiques ainsi que les émissions des gaz à effet de serre.

Selon les services du Ministère des ressources en eau et de l'environnement (MREE), pour la seule année 2000, les décharges ont émis environ 7 542 000 Teq.CO2.

1.4.2. Les déchets industriels :

L'activité industrielle en Algérie est diversifiée. Les activités les plus importantes, du fait de leur taille et de leur impact sur l'environnement sont l'agroalimentaire, l'industrie du textile, le tannage du cuir, l'industrie automobile, l'industrie métallurgique, imprimerie, l'industrie chimique, traitement de surface, cimenterie. L'activité industrielle se déroule principalement autour des grandes agglomérations urbaines et le long des côtes.

Les principaux problèmes environnementaux générés par les entreprises sont :

- Utilisation excessive d'eau et d'énergie dans les process
- Perte importante de matière première dans la production
- Importante quantité d'eaux usées générées et non traitées
- Rejets atmosphériques souvent non contrôlés
- Mauvaise gestion des déchets

Les déchets agroalimentaires sont de plus en plus croissants, polluants et coûteux à gérer, les principales formes de pollution sont les suivantes :

- Pollution hydrique due aux eaux de procédés, eau de nettoyage, etc. Ces rejets sont, de leur origine, riches en matières organiques et renferment des acides aminés, des sucres et des hydrates de carbone, des graisses animales et végétales, des acides organiques, des alcools et des aldéhydes et cétones, sous forme originelle ou modifiée suite à la fermentation, etc.
- Déchets solides.
- Selon [9], les quantités des déchets industriels sont estimées à 2,5 millions de tonnes par an, alors que le taux de récupération ne dépasse pas les 7%.
- Pour faire face à cette situation, le gouvernement algérien a adopté, depuis l'année 2001, la loi 01- 19 du 12 (décembre 2001), relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. La valorisation des déchets industriels par leur réemploi et leur recyclage constituent une préoccupation majeure des autorités algériennes. Cela s'est traduit par le lancement et la mise en

oeuvre de plusieurs projets dont notamment le Programme National de Gestion des Déchets Industriels et Spéciaux (PNAGDES) lancé en 2006, mis en place pour trouver des solutions pour le traitement de ce type de déchets par :

- ❖ La promotion des métiers et services liés à la gestion des déchets spéciaux ;
- ❖ La mise en place des filières de collecte, de transport, de regroupement, de traitement et de valorisation des déchets spéciaux.

Selon l'Agence Nationale des Déchets (AND), il existe 873 micro-entreprises spécialisées dans la récupération et la valorisation des déchets, dont seulement 247 entreprises sont opérationnelles. Cela montre clairement que le secteur de la valorisation des déchets reste vierge en Algérie. Sur un autre plan, la réduction des ressources financières extérieures de l'Algérie nous incite à rechercher de nouvelles voies et de nouveaux moyens pour contribuer à la substitution de la production locale aux importations, pour exploiter au maximum les ressources productives disponibles en Algérie notamment par la récupération et le recyclage des déchets et pour encourager l'investissement dans les nouvelles activités et la création de nouvelles entreprises.

1.5. Ethanol :

1.5.1. Généralité :

L'éthanol (EtOH), ou encore alcool éthylique, molécule de formule développée C_2H_5OH comporte deux atomes de carbone liés (C), l'un portant trois atomes d'hydrogène (H), l'autre deux atomes d'hydrogène et une fonction hydroxyle

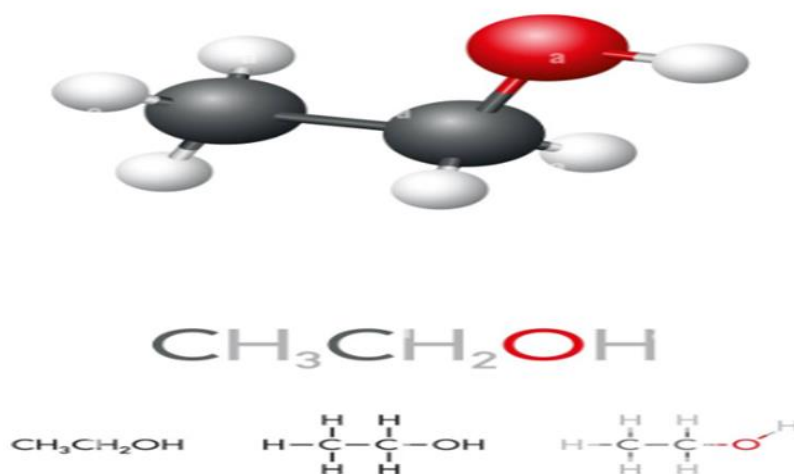


Figure 1.4 : Structure de la molécule d'éthanol [11].

1.5.2. Propriétés physiques :

- L'éthanol est un liquide mobile, incolore, volatil, d'odeur plutôt agréable, décelable dès 84 ppm.
- L'éthanol est miscible à l'eau, le mélange se faisant avec dégagement de chaleur et contraction du liquide (INRS, Éthanol, Fiche toxicologique n°48). Par contre il y a expansion du liquide lorsque l'éthanol est mélangé à de l'essence.
- L'éthanol est également miscible à la plupart des solvants usuels. C'est un bon solvant des graisses.
- Le titre d'un mélange eau/éthanol est le rapport entre le volume d'alcool absolu contenu dans ce mélange et le volume de celui-ci à 15 °C ; il est exprimé en % en volume (INRS, Éthanol, Fiche toxicologique n°48).
- L'éthanol peut être commercialisé sous forme anhydre (éthanol à 100 % en volume appelé aussi alcool absolu) ou à différentes concentrations dans l'eau, principalement à 95 % et, pour des usages antiseptiques, à 70 %.
- Pour les usages autres qu'alimentaires, des dénaturants sont ajoutés. L'éthanol dénaturé, que l'on trouve également dans le commerce sous le nom d'alcool à brûler, est de l'éthanol dans lequel on a dissous divers produits pour le rendre impropre à la consommation.

Tableau 1.2 : Propriétés physiques de l'éthanol (source : (INRS)).

Aspect	Liquide
Couleur	Incolore
Odeur	Caractéristique
PH	Neutre (20°C)
Température d'ébullition	75°C
Température de fusion	-117°C
Solubilité dans l'eau	20°C (soluble)
Masse volumique	0,79 g.cm-3
Masse moléculaire	46,07 g.mol-1

1.5.3. Propriétés chimiques :

- Dans les conditions normales, l'éthanol est un produit stable. Il possède les propriétés générales des alcools primaires (réactions d'oxydation, déshydrogénation, déshydratation et estérification).
- Il peut réagir vivement avec les oxydants puissants : acide nitrique, acide perchlorique, perchlorates, peroxydes, permanganates, trioxyde de chrome....
- La réaction avec les métaux alcalins conduit à la formation d'éthylate et à un dégagement d'hydrogène ; elle peut être brutale sauf si elle est réalisée en l'absence d'air pour éviter la formation de mélanges explosifs air-hydrogène.
- Le magnésium et l'aluminium peuvent également former des éthylates, la plupart des autres métaux usuels étant insensibles à l'éthanol.

1.5.4. Bioéthanol :

1.5.4.1. Généralité :

Le bioéthanol est un carburant obtenu à partir de la fermentation naturelle de plantes contenant du saccharose (betteraves, canne à sucre) ou de l'amidon (céréales, pommes de terre), ou bien fermentation des déchets organiques riche en glucose [12]. Il s'agit du carburant de provenance naturelle le plus utilisé au monde, et est fabriqué en utilisant le phénomène de biomasse, à base de matière première végétale.. Ce carburant se présente sous forme liquide bien entendu et il est adapté pour les moteurs à essence [13].

1.5.4.2. Utilisations du bioéthanol :

- Solvant utilisé dans l'industrie des peintures, vernis, encres, matières plastiques, adhésifs, explosifs, parfums, cosmétiques, l'industrie pharmaceutique...
- Matière première pour la production de nombreux composés : acide acétique, acrylate d'éthyle, acétate d'éthyle, éthers de glycol, éthylamine, éthylène, éthers-oxydes notamment l'ETBE (éthyl-tert-butyl-éther)...
- Constituant de carburants : le « bioéthanol », éthanol obtenu à partir de matières premières végétales, peut être utilisé seul ou avec de l'essence ; les mélanges essence-éthanol renferment 5 à 95 % de bioéthanol selon les pays. En France, la réglementation fixe à 5,75 % le taux d'incorporation de bioéthanol dans l'essence en 2008 pour atteindre 10 % en 2010 ; toutefois la

commercialisation d'un carburant renfermant 85 % de bioéthanol et 15 % d'essence sans plomb autorisée fin 2007, se généralise dans les stations service (E85).

- Désinfectant, biocide.
- Composant de boissons alcoolisées.

1.5.4.3. Production du bioéthanol :

Le bioéthanol peut être produit à partir:

- De substrats riches en sucrose (canne à sucre, betterave sucrière, etc.), en amidon (maïs, orge, blé, pomme de terre, etc.),
- De substrats celluloseux tels que les résidus agricoles (la paille ou les cannes de maïs), les résidus forestiers, cultures énergétiques (le panic érigé ou des arbres à courte rotation),
- Des algues.

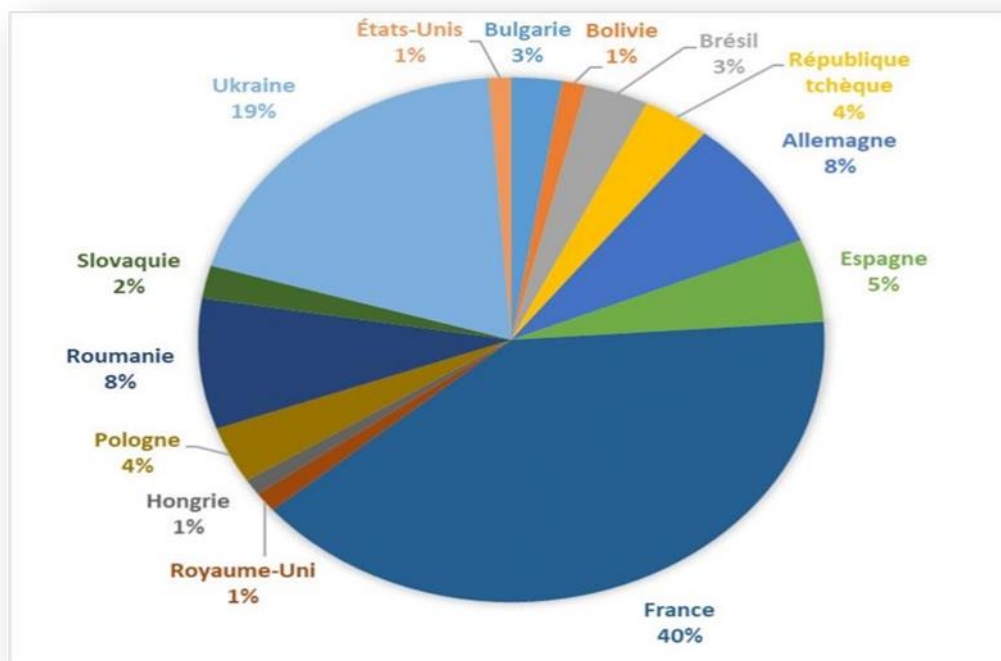


Figure 1.5 : Production mondiale de bioéthanol [14].

1.5.4.4. Générations de bioéthanol :

Sur la base des différentes procédées de production, il existe trois générations de bioéthanol.

a) Bioéthanol de première génération :

Il est produit à partir de canne à sucre, de betterave sucrière, de céréales et de l'amidon de pommes de terre. Il est utilisé dans les moteurs à essence, Les biocarburants de première génération entrent en concurrence directe avec la chaîne alimentaire. Ils sont produits à partir de matières premières qui peuvent être utilisées dans une chaîne alimentaire animale ou humaine. Aujourd'hui, seule cette génération est produite à l'échelle industrielle.

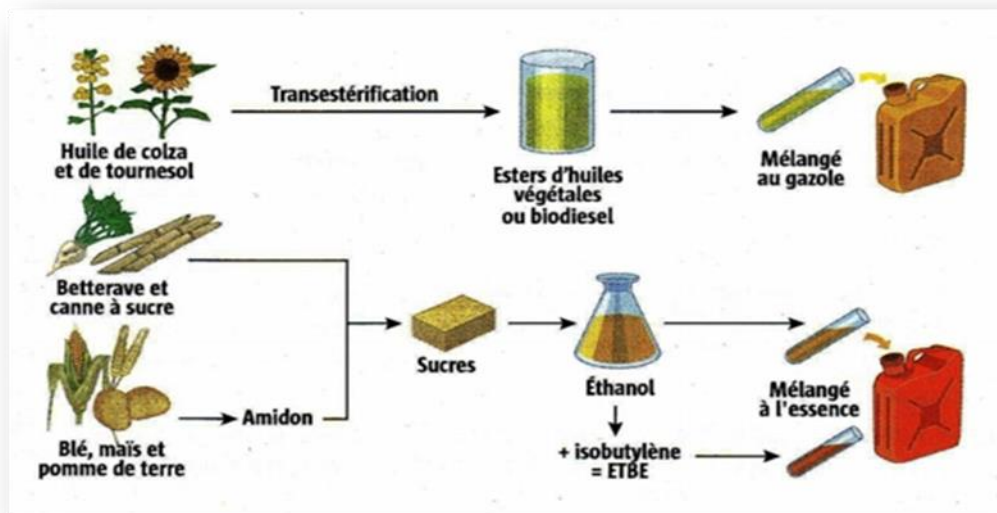


Figure 1.6 : Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération [15].

b) Bioéthanol de deuxième génération :

Des technologies sont actuellement mises au point pour exploiter les matières cellulosiques telles que le bois, les feuilles et les tiges des plantes ou celles issues de déchets. On qualifie ces matières de biomasse ligno-cellulosique car elles proviennent de composants ligneux ou à base de carbone qui ne sont pas directement utilisés dans la production alimentaire. Ces caractéristiques présentent un avantage de disponibilité supérieure et de non concurrence alimentaire par rapport à la première génération de biocarburants. Cette technologie permet de produire du bioéthanol dit de deuxième génération [12].

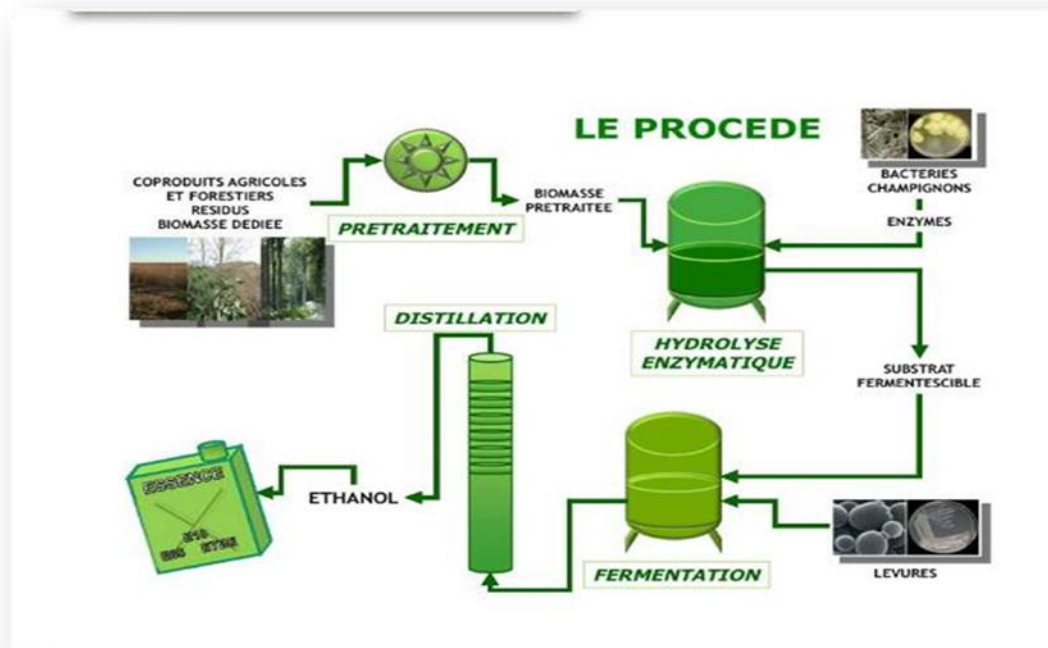


Figure 1.7 : Production de bioéthanol à partir de la biomasse de deuxième génération [16].

c) Bioéthanol de troisième génération :

Les biocarburants de troisième génération sont principalement produits par des micro-algues. On distingue deux façons de les cultiver. D'une part avec des procédés dit « intensifs » où les micro algues croissent dans des photo-bioréacteurs fermés où l'on contrôle les paramètres physicochimiques et d'autre part, les procédés dit « extensifs » dans des bassins en extérieur. Le milieu de culture circule grâce à des roues à aubes. Les éléments nutritifs sont apportés de manière à garantir, dans les conditions standards, une croissance optimale des algues. Un bullage assure l'apport en CO₂. Ces systèmes, de part leur caractère ouvert, sont très sensibles à la contamination [17].



Figure 1.8 : Filières de production de biocarburants de troisième génération [18].

La figure (1.9) suivante présente un schéma des différentes générations de la production de bioéthanol.

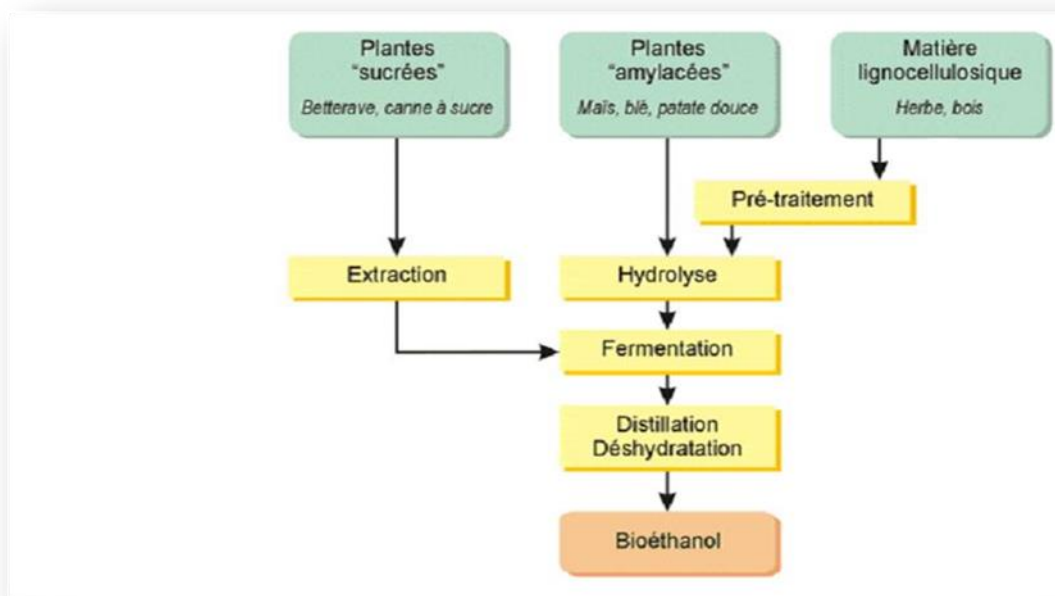


Figure 1.9 : Schéma résume les différentes générations de production de bioéthanol [19].

1.5.4.5. Avantages et Inconvénients du bioéthanol :

-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

-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.

1.5.4.6. Avenir de bioéthanol :

Comme tous les biocarburants, le bioéthanol est en constante évolution dans le monde. Du Brésil à gaz la Suède, puis aux États-Unis, de nombreux pays ont décidé de réduire leurs émissions de à effet de serre et de réduire leur dépendance au pétrole et aux autres énergies fossiles. L'Europe a deux objectifs spécifiques pour les biocarburants. D'une part, il espère augmenter progressivement la présence de biocarburants dans l'essence (notamment avec un objectif de 10% d'ici 2015). D'autre part, l'Europe espère promouvoir l'utilisation du bioéthanol E-85 (le plus écologique de loin) et des voitures FlexFuel, qui conviennent à différents carburants, tels que le sans plomb et le E-85 (c'est ce qu'on appelle le (bi-carburant). Modèle de carburant). Mais cet objectif est limité par le fait que les automobilistes ne sont pas encore prêts à entrer dans l'ère «post-pétrole». Par conséquent, en France, le sort du bioéthanol semble encore déroutant. La production mondiale de bioéthanol

devrait croître rapidement au cours des dix prochaines années (voir graphique). Son marché mondial augmentera également et, selon les prévisions, il triplera presque d'ici 15 ans [21].

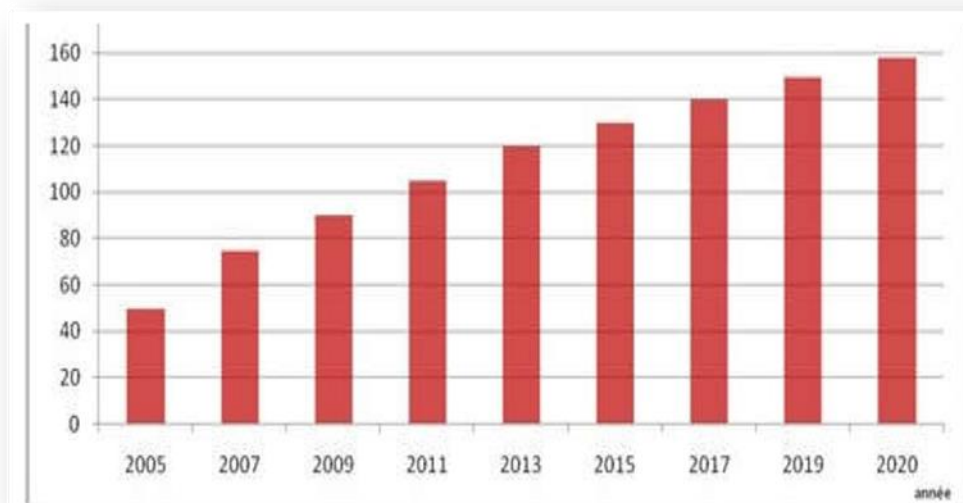


Figure 1. 10 : Évolution du marché mondial de bioéthanol en milliards de litre par Année [21].

Les États-Unis devraient maintenir leur statut de grand producteur et consommateur de bioéthanol. De plus, en raison de la baisse attendue des prix du sucre brut, le prix du bioéthanol fabriqué à partir de la canne à sucre sera plus compétitif qu'en 2010. Les exportations du Brésil devraient reprendre au début de la période de projection. D'ici 2020, l'utilisation de matières premières issues de la biomasse augmentera considérablement (d'ici 2020, elle atteindra 8 milliards de litres de bioéthanol), et elle deviendra la matière première la plus importante pour la production de bioéthanol [21].

Concernant la production de bioéthanol, contrairement à la canne à sucre, la part de la production céréalière restera stable à environ 65 milliards de litres, tandis que la production de canne à sucre doublera presque d'ici dix ans. La production de betterave sucrière ne changera pas, elle continuera à produire environ 5 milliards de litres de bioéthanol. À terme, la production de bioéthanol à partir de la biomasse inutilisée augmentera, passant de 0 litre en 2013 à 8 milliards de litres en 2020 [21].

1.6. Fermentation alcoolique :

La fermentation alcoolique consiste en une biotransformation des jus de fruits ou toute solution sucrée en vin et fait intervenir des phénomènes physiques, biochimiques et biologiques complexes. Elle consiste en la transformation par les levures, principalement *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone [22].

En milieu anaérobie, la levure transforme le glucose en éthanol et dioxyde de carbone selon l'équation:

Sucre + levures alcool + gaz carbonique

$C_6H_{12}O_6$ + levures $2CH_3CH_2OH$ + $2CO_2$

Dans cette équation, la levure ne participe pas directement, mais joue le rôle d'un catalyseur, L'éthanol en excès étant toxique pour les levures, la fermentation alcoolique ne peut pas être utilisée pour la fabrication d'alcools à haut degré (au-delà de 14% à 16%). Ces derniers sont donc produits par distillation.

1.6.1. Types de fermentation :

a) Fermentation discontinue :

Dans la fermentation discontinue, à la base, des nutriments et des micro-organismes sont ajoutés et exécutent le processus. C'est un système fermé et un fermenteur relativement grand est utilisé. La croissance microbienne se produit via la phase de latence, la phase logarithmique et la phase stationnaire. Une fois le processus de fermentation terminé, le processus est arrêté et les produits sont récoltés. Avant le prochain lot, le fermenteur est nettoyé et le second lot est démarré de Nouveau.

b) Fermentation continue :

La fermentation en continu est un autre type de processus de fermentation industrielle dans lequel la fermentation est effectuée pendant une période de temps plus longue tout en ajoutant des éléments nutritifs au début et entre le processus et la récolte à intervalles réguliers. La fermentation continue s'effectue dans un petit fermenteur et convient à la production de métabolites primaires des microorganismes. À l'intérieur du fermenteur, la croissance exponentielle des micro-organismes est maintenue en fournissant et en modifiant les conditions et les nutriments [23].

c) Fermentation soumi-continue (feed-batch) :

La fermentation feed-batch est le mode de fonctionnement préféré de l'industrie car l'ajout contrôlé de substrat permet d'augmenter le rendement et la productivité du processus, où l'alimentation en substrat et en suppléments peut prolonger la durée d'une culture pour obtenir des densités cellulaires plus élevées ou pour changer de métabolisme afin de produire, par exemple, une protéine recombinante [24].

1.6.2. Micro-organismes utilisés dans la fermentation alcoolique :

Une grande variété de micro-organismes produit de l'éthanol à partir de polysaccharides. Cependant, peu sont réellement compétitifs en termes :

- De rendement en éthanol par rapport au substrat consommé.
- De capacité fermentaire.
- De tolérance à l'éthanol élevée.
- D'adaptation aux conditions de fermentation

a) Bactéries :

Les bactéries sont des procaryotes, organismes monocellulaires dont la paroi donne la forme et la rigidité. L'appareil nucléaire libre dans la cellule ne comporte qu'un seul chromosome. Le cytoplasme contient les ribosomes, sites de la synthèse protéique. La cellule peut être munie d'un flagelle lui conférant sa mobilité. Leur taille est comprise entre 0.5 et quelques micromètres. Des bactéries de types Gram négatif sont utilisées dans la production de vinaigre (*Gluconobacter* ; *Acetobacter*), de gommes (*Xanthomonase*). La préparation du yaourt, du fromage, légumes et viandes fermentés fait appel à des bactéries de types Gram positif (*Lactobacilles*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, etc.) .Les bactéries capables de réaliser la fermentation alcooliques sont peu nombreuses. Les plus utilisées sont *Zymomonas mobilis* et *Bacillus subtilis* [25].

b) Champignons/moisissures :

Les champignons (fungi) font partie de la classe des eucaryotes. Ce sont des hétérotrophes saprophytes ou parasites qui peuvent être mono ou pluricellulaires et dont les cellules contiennent souvent plusieurs noyaux. Les moisissures peuvent être considérées généralement comme des contaminants indésirables. Bien que non pathogènes, elles peuvent produire des mycotoxines. Dans

certaines cas elles se montrent utiles, telles différentes sous- espèces de *Penicillium* et *Aspergillus* dans la fabrication de fromages et dans les fermentations alcooliques [25].

c) Levures :

Une levure est un champignon unicellulaire apte à provoquer la fermentation des matières organiques animales ou végétales. Les levures sont employées pour la fabrication du vin, de la bière, des alcools industriels, des pâtes levées et des antibiotiques. La dénomination « levure » découle de l'observation des fermentations et tout particulièrement celle qui a lieu durant la fabrication du pain : on dit communément et depuis longtemps que le pain lève. Ce n'est pas, à proprement parler, une dénomination scientifique actuelle. Mais l'importance des levures dans le domaine des fermentations conduit à conserver ce terme générique qui continue à être correctement perçu[26]. Ces sont les microorganismes les mieux adaptés à la production d'éthanol à partir de sucres fermentescibles tel le genre *Saccharomyces cerevisiae*[25].

1.6.3. Paramètres influent sur la fermentation :

a) Température :

Les rôles de la température pour *S. cerevisiae* dans la fermentation du sucre et la production d'éthanol ont été étudiés. Les résultats d'études précédentes montrent que les cellules de *S. cerevisiae* augmentent de façon exponentielle au début de l'incubation, puis entrent en phase stationnaire après une incubation prolongée à toutes les températures de fonctionnement. Les expériences prouvent qu'à mesure que la température augmente progressivement, le temps nécessaire à la fermentation diminue. Néanmoins, à des températures très élevées, la croissance des cellules de *S. cerevisiae* est inhibée et la baisse de la production d'éthanol est drastique (Figure 11) Cela peut être dû au fait que la température affecte le système de transport ou que le niveau de substances solubles et de solvant dans les cellules de *S. cerevisiae* est saturé, ce qui provoque à son tour l'accumulation de toxines éthanol, y compris à l'intérieur des cellules Alors qu'une température basse ralentit le taux de croissance des cellules, ce qui peut être dû à leur faible tolérance à l'éthanol à des températures plus basses[27].

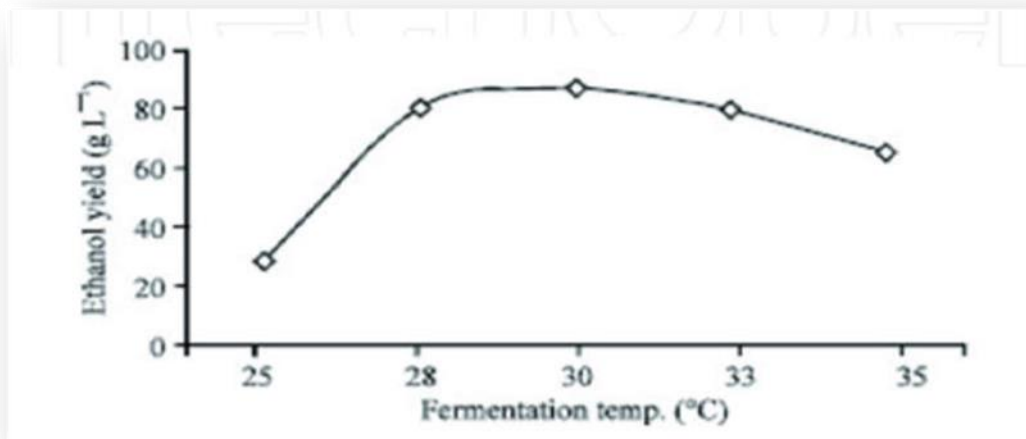


Figure 1. 11 : Effet de température de fermentation sur le rendement de l'éthanol.

b) Concentration de matière première :

La matière première contient des nutriments pour la croissance des micro micro-organismes pendant le processus de fermentation. À une concentration élevée de matière première, la vitesse d'hydrolyse est accélérée car plus de composé est lié au site actif des enzymes. Avec un nombre fixe d'enzymes et une faible quantité de substrat, la diminution de la production d'éthanol est liée au site actif de l'enzyme. Ainsi, l'augmentation de la concentration de la matière première favorise la production d'éthanol (figure 12). Cependant, prolonger l'exposition à diminuer la production de bioéthanol [27].

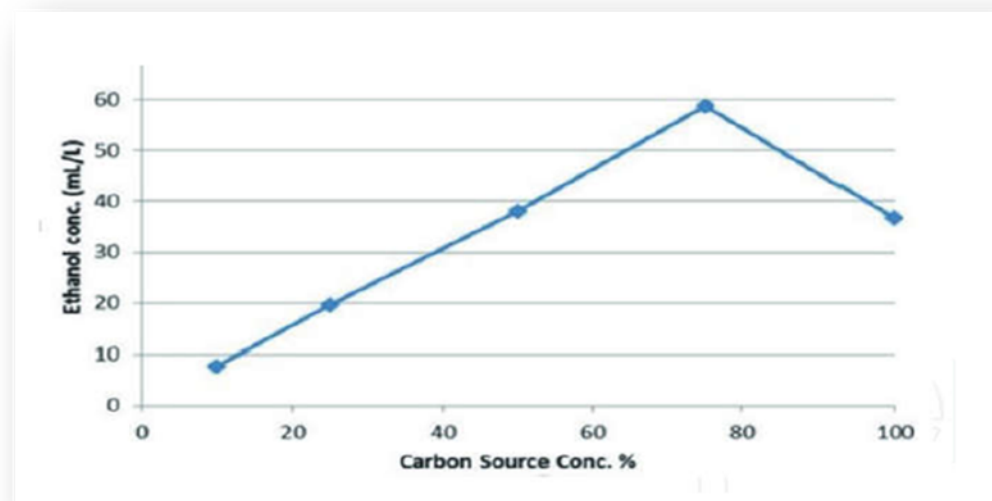


Figure 1.12 : Effet de concentration de matière première (source de carbone) sur le rendement d'éthanol [27].

c)Effet de pH :

Le processus de fermentation est sensible au pH. En milieu acide à pH modéré, une forte production d'éthanol a été observée (figure .13). Modérément acide pH, la perméabilité cellulaire à certains nutriments essentiels est influencée par la concentration de H⁺ dans le bouillon de fermentation. Il a été observé expérimentalement que le taux de croissance et de survie de *S. cerevisiae* est influencé par un pH compris entre 2,75 et 4,25. Cependant, pendant la fermentation pour la production d'éthanol, (4,0-4,25) est la plage optimale de pH. Lorsque le pH est 4,0, une période d'incubation plus longue que nécessaire est requise même si elle n'entraîne pas de diminution significative de la production d'éthanol. Une réduction substantielle de la production d'éthanol à été observée à un pH supérieur à 5,0 [27].

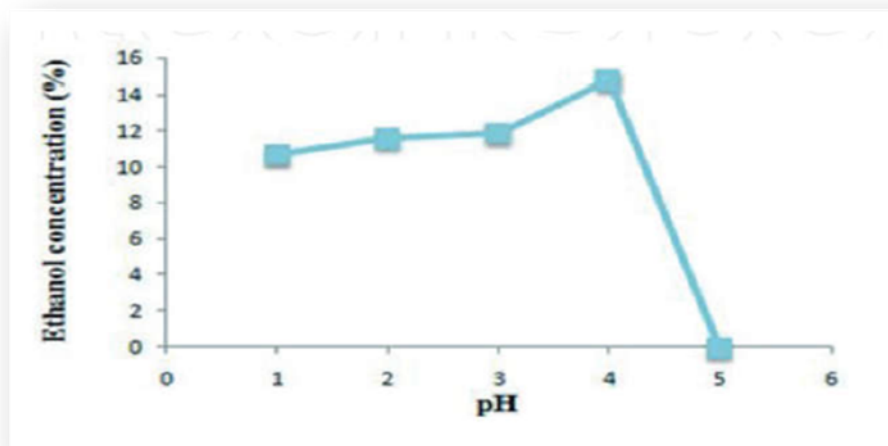


Figure 1.13 : Effet de pH sur la production d'éthanol [27].

d)Temps de fermentation :

La vitesse à laquelle la croissance des micro-organismes se produit est affectée par le temps de fermentation. Plus les temps de fermentation sont courts, plus la fermentation est inefficace en raison d'une croissance inadéquate des micro-organismes. De même, un temps de fermentation plus long affecte la croissance de *S. cerevisiae* en raison de la concentration élevée d'éthanol dans le bouillon. Cependant, l'utilisation d'une basse température et d'une longue fermentation permet d'obtenir le plus faible rendement en éthanol [27].

1.7. Procédé de distillation :

1.7.1. Définition :

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur, les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est condensée pour donner le distillat [28].

1.7.2. Principe :

La distillation consiste à chauffer (source de chaleur) un liquide dans un récipient scellé (ballon ou cornue) sauf à un endroit où un tuyau apparaît. Ce tuyau guide la vapeur à s'évaporer dans le système qui les refroidit (colonne de distillation). Après refroidissement, les vapeurs condensées sont recueillies dans un récipient. Selon le distillateur, il peut être chauffé directement ou à l'aide d'un bain-marie. Nous utilisons le bain-marie pour faire des réfutations qui ne supportent pas directement le feu. Ce gaz a une flamme forte et chaude, qui peut écraser le verre et même le verre résistant à la chaleur.

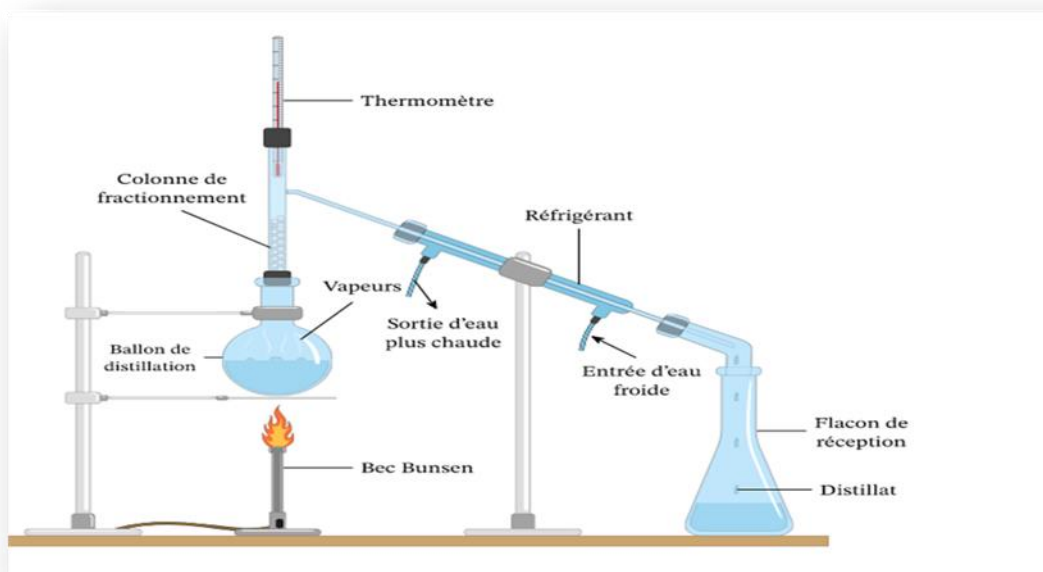


Figure 1.14 : Schéma représente le principe de distillation [29].

1.7.3. Types de distillation :

La distillation peut être effectuée selon plusieurs manières :

a) Distillation discontinue :

La distillation discontinue est une distillation dans laquelle le mélange à séparer est chargé une fois dans l'installation, d'où les composants sont distillés un par un pendant le processus d'installation et à partir de là. Ça signifie la Modification permanente de la composition et du profil de température du mélange initial.

b) Distillation continue :

La distillation continue est un type de distillation dans lequel l'équipement de distillation est le mélange à séparer est alimenté en continu. Ce type d'installation permet de travailler sans besoin de modifier la composition et le profil de température.

c) Distillation sous vide :

Certains produits ne sont pas faciles à volatiliser ou à se décomposer sous une pression normale avant l'évaporation due au point d'ébullition élevé. Dans ce cas, la pression du système est Utilisez une pompe à vide pour abaisser le point d'ébullition.

d) Distillation fractionnée :

Aussi désignée rectification, c'est un procédé de séparation par fractionnement. Son but est de séparer les différents constituants d'un liquide miscible, possédant des températures d'ébullition différentes. Pour cela, elle exploite le même principe que la distillation ordinaire (classique) mais se distingue par l'application d'une colonne de séparation, qui permet une Meilleure ségrégation des constituants de mélange.

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 02

MATÉRIELS ET TECHNIQUES DE PRODUCTION DU BIOETHANOL

2.1. Généralité :

Dans un but de mettre en oeuvre des manipulations en vue de produire du bioéthanol à partir de résidus d'agriculture, des méthodes expérimentales inspirées de travaux antérieurs ont été sélectionnées. Ces méthodes ont particulièrement trait à :

- La caractérisation de l'espèce de levures choisie à cet effet et la définition des conditions de croissance.
- Le choix de la matière première nécessaire à ce procédé ainsi que l'élaboration du prétraitement en vue d'extraire le jus (substrat).
- La caractérisation du substrat par la mesure de certains paramètres physico-chimiques et biochimiques dont les techniques sont succinctement exposées.
- L'élaboration du procédé de fermentation et de la méthode d'analyse mettant en évidence ce procédé.
- La distillation du vin en vue de récupérer le bioéthanol formé. - Les techniques analytiques utilisées pour caractériser le produit désiré. Chaque méthode et technique est accompagnée de schéma et protocole explicatifs rendant la lecture aisée et la reproduction possible.

Les étapes de fabrication l'éthanol est représenté dans la figure :

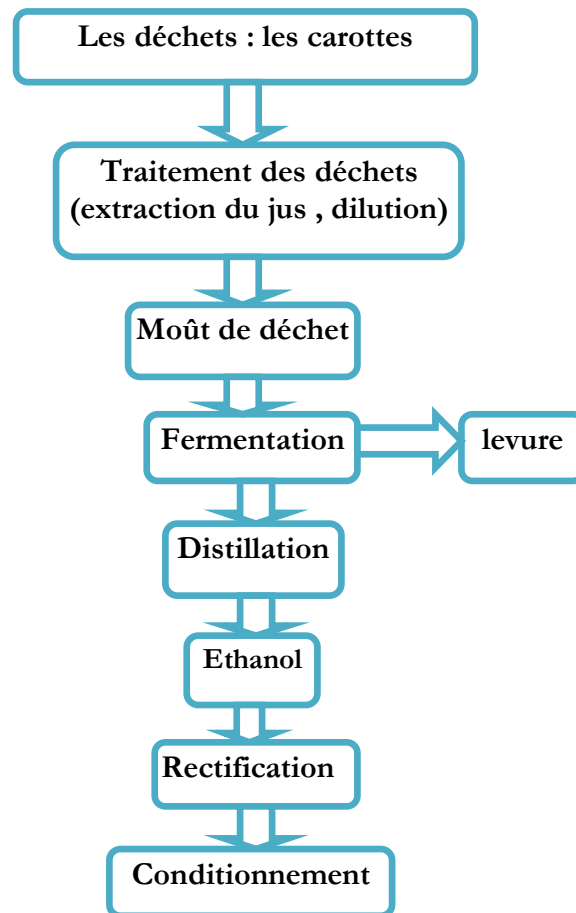


Figure 2.1 : diagramme présentée les différentes étapes de fabrication d'éthanol.

2.2.Évolution de la culture du carottière dans la wilaya de kenchela :

Superficie agricoles pour la culture de la carotte sont situées principalement au milieu de la wilaya de Kenchela, où elles sont estimées à 355 hectares et la production en 2020 est de 81 000 qx.

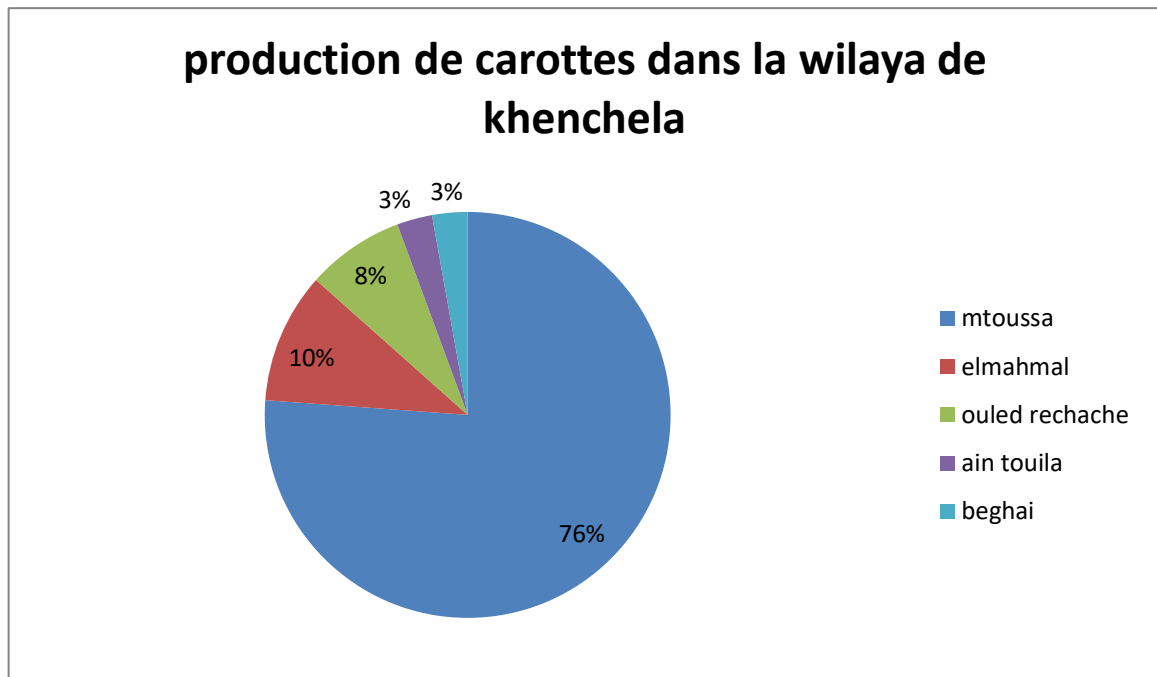


Figure 2.2: la production de carottes dans la wilaya de khenchela.

2.3. Matériels utilisés :

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'ensemble des dispositifs expérimentaux et toutes les méthodes d'analyses utilisées.

2.3.1. Matériel végétal :

Le bioéthanol peut être produit à partir de toute biomasse contenant des quantités importantes d'amidon ou de sucres actuellement.

Dans ce travail, nous avons essayé d'expérimenter avec des carottes

- **Définition de carotte :**

La Carotte est une plante bisannuelle de la famille des Apiécées (aussi appelées Ombellifères), largement cultivée pour sa racine pivotante charnue, comestible, de couleur généralement orangée, consommée comme légume. La carotte représente, après la pomme de terre, le principal légume-racine cultivé dans le monde [30].



Figure 2.3 : Les carottes.

- **Composition chimique de carotte :**

La carotte a un goût sucré qui lui est conféré par le saccharose, un sucre soluble (Liu, 2018).

Tableau 2.1 : composition chimique dz carotte .

Eau	88,10g
Glucides	7,59g
Fibres	2,70g
Provitamine ABéta-caroténe	8290 µg
Vitamine B9	59,40µg

- **Jus de carotte :**

Le jus de carotte et le sucre et la cellulose de carotte sont extraits en les faisant fermenter puis en les mixant dans un mélangeur électrique et en les filtrant.

2.3.2. Matériel biologique (Micro-organisme):

a) Définition de la levure boulangère type (*saccharomyces cerevisiae*) :

Les levures peuvent être définies comme des eucaryotes microscopiques. Elles sont des Hétérotrophes faisant partie du groupe des champignons dont on les distingue par leur caractère Unicellulaire et l'absence de vrai mycélium (au moins dans la plus grande partie de leur cycle biologique) largement distribuées dans la nature. Elle a été découverte, isolée et identifiée au milieu du XIXème siècle. Ce champignon, capable de métaboliser des sucres, (saccharo-) responsable de la fermentation fut appelé *Saccharomyces cerevisiae* par Mayen en 1837 [31].

b) Morphologie et Structure :

Les levures se caractérisent par la présence d'un :

- Noyau.
- Mitochondrie.
- Appareil de Golgi.
- Chromosomes.

Les cellules végétatives sont généralement ovoïdes ou sphériques. Leur taille cellulaire varie de quelques microns jusqu' à 25 à 30 microns [32].

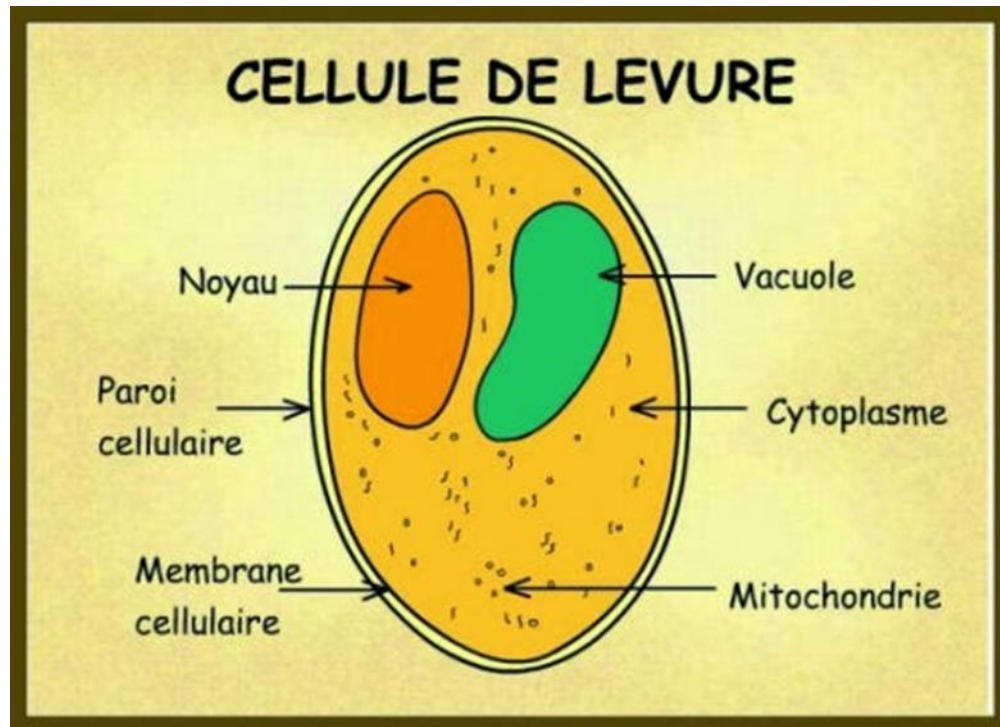


Figure 2.4 : La structure morphologique et les constituants de la levure type (*saccharomyces cerevisiae*) [46].

c) Le métabolisme fermentaire des (*saccharomyces cerevisiae*) :

En absence totale d'oxygène, (*Saccharomyces cerevisiae*) présente un métabolisme fermentaire. L'oxygène n'est plus l'accepteur final d'électrons, ce rôle est joué par des molécules organiques comme l'acétaldéhyde. Comme pour le métabolisme oxydatif, le glucose est dégradé par la voie de la glycolyse jusqu'au pyruvate. A ce niveau-là, le pyruvate n'est plus dirigé vers le cycle de Krebs mais est converti en éthanol et CO₂. La première étape est la décarboxylation du pyruvate en acétaldéhyde par la pyruvate décarboxylase, puis la réduction finale de l'acétaldéhyde en éthanol est catalysée par l'alcool déshydrogénase utilisant le NADH, H⁺ comme coenzyme [33]. Le métabolisme fermentaire produit beaucoup moins d'énergie que le catabolisme aérobie et le cycle de Krebs n'a qu'un rôle anabolique (synthèse de précurseurs), seule la synthèse d'éthanol permet la production d'énergie nécessaire aux besoins de la cellule et la ré-oxydation du NADH produit lors de la glycolyse [33].

Une souche de *Saccharomyces cerevisiae* (*Saccharomyces cerevisiae*) a été utilisée pour fermenter les carottes. La souche a été stockée sur gélose inclinée à 4°C, pour maintenir la viabilité du microorganisme.

Tableau 2.2: Conditions de croissance de la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

Paramètres physico-chimiques	Conditionnes optimales pour l'activité Levurienne
Température	30°C
PH	4,5
Type de fermentation	Anaérobie
Sucres fermentés	Glucose. Saccharose
Sucres non fermentés	Lactose

2.3.3..Le principe de fermentation :

La fermentation est une opération connue depuis les anciens temps. Elle a été utilisée par divers peuples (égyptiens, sumériens, Babyloniens, ...) pour la préparation de produits alimentaires comme le pain, les fromages, les boissons alcoolisées, etc. Actuellement, la fermentation est utilisée industriellement pour la fabrication de produits d'intérêt alimentaire (yaourts, bière), pharmaceutique (antibiotiques, vitamines, anticorps, etc.) et chimique (bioéthanol, acides gras, etc.).

La fermentation alcoolique (qui produit des alcools) consiste en une biotransformation des jus de fruits ou toute solution sucrée en vin et fait intervenir des phénomènes physiques, biochimiques et biologiques complexes. Elle consiste en la transformation par les levures, principalement *Saccharomyces cerevisiae* des sucres du moût, principalement le glucose et le fructose en éthanol et en dioxyde de carbone. Dans une fermentation alcoolique en batch, environ 30 à 35% de la source de carbone est convertie pour produire la biomasse cellulaire tandis que 50% d'hydrates de carbone est transformée en éthanol. Le reste des sucres est utilisé pour la production de l'énergie et l'entretien des cellules. Par ailleurs, les méthodes moléculaires basées sur l'analyse de l'ADN sont maintenant utilisées pour identifier rapidement la levure jusqu'à son espèce [34]

Les fermentations sont des procédés multiphasiques. Ceci pose des contraintes biologiques et physico-chimiques. Les cellules vivantes constituent un système organisé avec des entrées de substrats, d'oxygène, de facteurs de croissance et des sorties de déchets comme le CO₂ et l'éthanol.

La partie active de la matière vivante, que constituent les protéines, nécessite un environnement adéquat du point de vue du pH, de la température. Ceci permet le développement, la maintenance et la reproduction des cellules dans de bonnes conditions [35].

La levure varie en fonction de la température et du pH dans lesquels elle travaille, de ce qu'elle consomme et du type d'air pour ses performances optimales [36].

2.3.4 Principe de filtration :

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux.

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration est nommé filtrat ou perméat, tandis que la fraction retenue par le filtre est nommée résidu, rétentat ou gâteau.

La filtration peut aussi désigner le phénomène passif d'épuration naturelle ou de diminution de la turbidité qui se produit quand l'eau pénètre un lit de sable ou de sédiment pour rejoindre la nappe.

La filtration est une technique très utilisée dans le domaine de l'agroalimentaire, de la chimie, de la pharmacie et par de nombreuses espèces animales, principalement aquatiques. Chez les animaux filtreurs (éponges, bivalves...), c'est un mode actif d'alimentation. Le rein assure également une fonction de filtration. [37].

2.3.5. Principe de distillation :

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression (loi des gaz parfaits), les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le distillat. [38]

Le procédé utilise la différence de volatilité (capacité à s'évaporer selon la température) entre les constituants afin de les séparer : le composé le plus volatil s'évaporerait plus facilement et composerait la majeure partie des vapeurs. Il est ainsi possible de créer une phase gazeuse ayant une composition différente du mélange initial. Par condensation de ces vapeurs, un liquide appelé distillat peut être récupéré avec une concentration élevée du composé le plus volatil.

Le distillat n'est pas un produit pur : il contient une certaine proportion des autres composés du mélange initial. Il faut dès lors répéter l'opération d'évaporation-condensation avec le distillat afin de concentrer davantage le composé le plus volatil. Pour ne pas répéter l'opération, et séparer

proprement les composants du mélange en une seule passe, on utilise une colonne de distillation et ce procédé se nomme distillation fractionnée ou rectification.

En fonction des propriétés physiques des constituants, il arrive que des composés aient des volatilités constantes par rapport au mélange initial, et que les vapeurs d'un tel mélange gardent toujours la même composition même si on répète l'opération évaporation-condensation plusieurs fois. Il s'agit d'un mélange azéotropique qui nécessite des conditions spéciales afin de séparer les composants (voir distillation azéotropique). [39]

La distillation peut être effectuée de plusieurs manières : discontinue, continue, sous vide.

2.4. Appareils utilisés :

Dans le présent travail, nous avons utilisé divers produits : végétal, biologique et chimique. Nous avons également eu recours à des appareils.

2.4.1. PH-mètre :

Le pH-mètre (Figure 16) est généralement constitué d'un boîtier électronique permettant l'affichage de la valeur numérique du pH et d'une sonde de pH constituée d'une électrode de verre permettant la mesure et d'une électrode de référence. Son fonctionnement est basé sur le rapport qui existe entre la concentration en ions H_3O^+ (définition du pH) et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre une fois plongé dans la solution étudiée.

Celui-ci est constitué de deux électrodes, l'une standard dont le potentiel est constant et connu (appelée électrode de référence), l'autre à potentiel variable (fonction du pH, appelée électrode de verre). Ces deux électrodes peuvent être combinées ou séparées [40].



Figure 2.5 : pH-mètre.

2.4.2. Spectrophotométrie :

La spectrophotométrie correspond à l'étude des variations de grandeurs photométriques Spectrales ou de leur équivalent énergétique résultant de l'interaction du rayonnement avec une substance placée sur le faisceau [41]

Le domaine de longueur d'onde de l'UV se situe entre 10 nm à 400 nm, celui du visible se situe entre 400 nm à 800 nm.

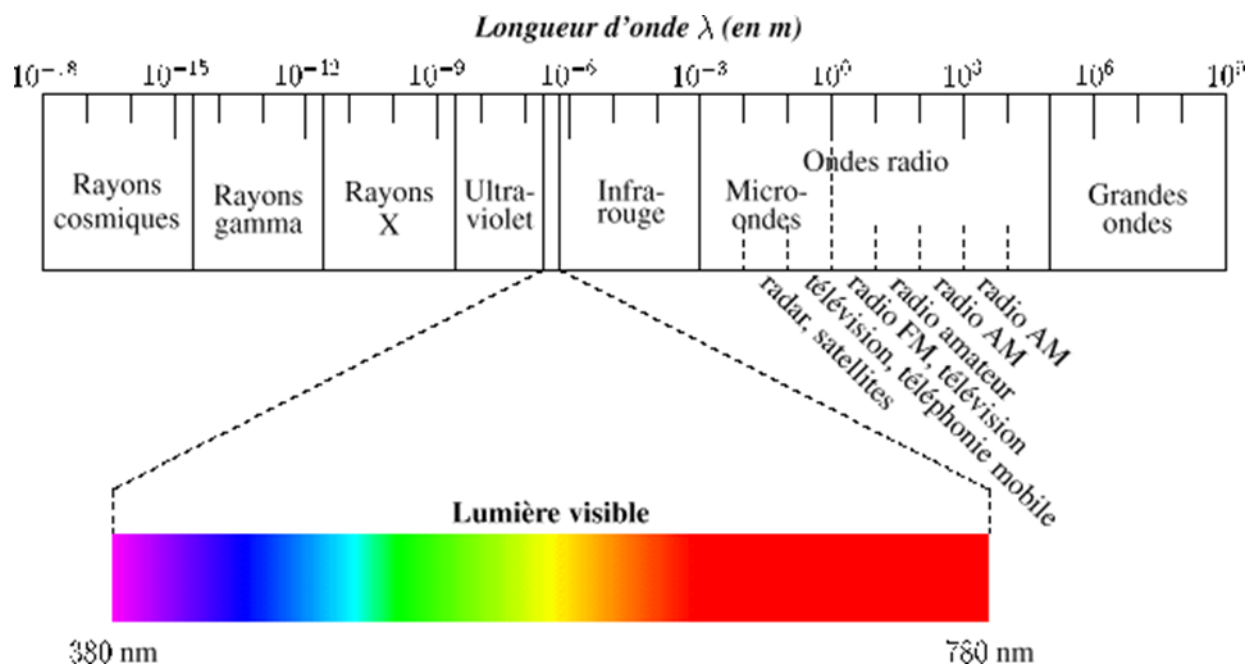


Figure 2.6: Spectre électromagnétique de la lumière et domaine UV-visible [42].

Le terme photométrie signifie que l'on mesure une densité de photons. En spectrophotométrie d'absorption moléculaire, on sélectionne des photons de fréquence ν_0 absorbables par la molécule à étudier. Ainsi, lorsqu'un faisceau d'intensité I_0 traverse une solution de molécule absorbante, le faisceau transmis présente une intensité I inférieure à I_0 .

Les applications analytiques de la spectrophotométrie d'absorption moléculaire UV-visible concernent les molécules en solution, elles peuvent être qualitatives ou (et) quantitatives. Dans les deux cas, elles font appel à la loi de Beer-Lambert qui établit la relation existante entre intensité transmise I et intensité incidente I_0 .

$$I = I_0 * \exp(-kcl)$$

I = intensité transmise I_0 = intensité incidente

K = constante de proportionnalité

C = constante de la solution en soluté absorbable

L = épaisseur de la solution traversée par le flux lumineux

Le phénomène d'absorption ne peut être évalué que par le rapport entre intensité incidente I_0 et intensité transmise I du faisceau transmis dans la même direction.

L'absorbance (A) ou densité optique se définit par :

$$IOA = \log_{10} \varepsilon = s * CI$$

I

$$\varepsilon = K/2.033$$

ε est le coefficient d'extinction de la molécule, qui s'exprime de façon différente selon les unités choisies pour exprimer la concentration.



Figure 2.7: Spectrophotomètre (Shimadzu UV 1800).

2.4.3. Spectromètre FT IR :

La spectrométrie infrarouge permet d'identifier les composés organiques et inorganiques, qu'ils soient cristallins ou amorphes. Elle saisit seulement les mouvements (vibrations) des atomes les uns par rapport aux autres.

Cette technique connaît un regain d'intérêt particulièrement avec l'apparition des spectromètres à transformée de Fourier. L'analyse des produits inorganiques peut se faire de manière très efficace, sur de faibles quantités par des micro- prélèvement (~30 mg), à condition d'avoir des produits soigneusement broyés.

L'utilisation d'un support en bromure de césium (CsBr de l'ordre de 100mg) permet d'analyser les échantillons dans l'infrarouge lointain allant de 4000 à 200cm⁻¹, mais on utilise couramment un support de bromure de potassium KBr plus abordable (sur le plan du prix) peut permettre l'analyse entre 4000 et 400cm⁻¹.

Le domaine de signature des matériaux se situe entre ~ 1500 et 400 cm^{-1} , cette partie du spectre FTIR est nommée fingerprint.

Cette technique d'analyse complète ainsi les informations obtenues à partir des méthodes d'analyses dites classiques telles que la diffraction des rayons X ou la microscopie électronique à balayage. La conjugaison de tous les résultats expérimentaux permet de voir, d'analyser et d'affiner au mieux la structure des matériaux [43].



Figure 2.8: Spectromètre FT IR (PerkinElmer)

- **Mode opératoire et accessoires de spectroscopie FT IR :**

- 10-100 mg d'oxydes, hydroxyde, sulfure ou carbonate sont prélevés (poudre, ou oxyde grattée).
- La poudre est mélangée (pendant au moins une minute) dans un mortier en Agathe avec ~ 100 mg de KBr,
- Le mélange est introduit dans le moule avant pastillage,
- Le mélange a été ensuite comprimé-pastillé dans presse hydraulique (à une pression de 10 Tonnes),
- La pastille est ensuite extraite du moule pour être placée dans un porte échantillon
- L'appareillage analyse préalablement un spectre background relatif à l'atmosphère qui régné dans la salle d'analyse,
- Une fois l'échantillon placé dans l'appareil,

- Les spectres de transmission ont été obtenus, après une 20 de secondes. Tous les spectres infrarouges sont des rapports d'absorbance ($A = -\log(I/I_0)$) en fonction des nombres d'ondes incidentes.



Figure 2.9 : accessoires de spectroscopie FT IR.

2.4.4. Réfractomètre :

Le réfractomètre permet la mesure de l'indice de réfraction d'un milieu. Nous allons ici nous restreindre, comme c'est en général le cas en chimie organique, à la mesure de l'indice de réfraction d'un liquide. Cette détermination d'indice de réfraction peut permettre :

- D'identifier une espèce chimique et de contrôler sa pureté,
- De déterminer la composition d'un mélange (fraction molaire).

On appelle réfraction le changement de direction que subit un rayon lumineux en passant d'un milieu optique donné à un autre. Ce changement est dû à une modification de la vitesse de propagation à partir du point, appelé point d'incidence, où le rayon lumineux incident frappe l'interface. Par analogie, on peut apparenter le phénomène de réfraction à la chute d'un nageur dans

de l'eau suite à un plongeon. En effet, lors de sa rencontre avec le plan d'eau, sa vitesse diminue brusquement.

En réalité la totalité de la lumière ne pénètre pas dans le second milieu pour être réfracté ; une fraction subit le phénomène de réflexion. On suppose qu'il n'y a pas d'absorption. Sous certaines conditions que nous préciserons dans la suite, le faisceau peut subir une réflexion totale.

On appelle dioptre l'interface entre deux milieux d'indices optiques différents. Une vitre par exemple est constituée de deux dioptres. Une lentille est aussi constituée de deux dioptres non plans limitant une partie en verre... Les lois de Snell - Descartes indiquent ce que devient un rayon lumineux lorsqu'il traverse le dioptre en question.

L'indice n d'un milieu caractérise la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu. Plus précisément, pour une onde monochromatique, de longueur d'onde λ à température et pression fixées l'indice n d'un milieu est défini par le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide, notée c et celle mesurée dans ce milieu, notée v : $n = c / v$.

Pour la lumière visible et les milieux transparents, n 'est un réel supérieur à 1 et décroît avec un accroissement de la température ou lorsque la longueur d'onde augmente selon la formule empirique approchée de Cauchy :

$n(\lambda) = A + B / \lambda^2$ où A et B sont des constantes positives, spécifiques du milieu. Il s'agit en fait des premiers termes du développement limité de n en puissances paires de $1/\lambda$.

Afin de préciser la température et la longueur d'onde considérées, on fait suivre l'indice de réfraction n d'un exposant représentant la température et d'un indice indiquant la nature de la radiation monochromatique de référence considérée. Dans la littérature, l'indice de réfraction est souvent donné à 20°C, à la longueur d'onde de référence de la raie D du sodium (589 nm), il s'écrit donc n_{D20} .

Afin de ramener la valeur de l'indice de réfraction mesuré pour un liquide à une température T , en degré Celsius, à la valeur référencée à 20°C, on peut utiliser une relation affine valable pour de faibles écarts de température :

$n_T = n_{20} + 0,00045 \cdot (T - 20)$ où T est la température exprimée en degré Celsius.

L'indice de réfraction d'une solution varie également en fonction de la concentration ou de la fraction molaire des constituants de la solution. Ceci peut être mis à profit pour déterminer la composition d'un mélange. Cependant, il faut au préalable tracer une droite d'étalonnage de l'indice de réfraction en fonction de la fraction molaire.

La pression est rarement mentionnée car elle a une influence moins importante que la température sur l'indice de réfraction des liquides. En effet, une augmentation de pression d'une atmosphère (soit de $1,013 \cdot 10^5$ Pa) fait accroître l'indice de réfraction de $3 \cdot 10^{-5}$; alors qu'une augmentation de 1°C de la température fait décroître l'indice de réfraction de $4,5 \cdot 10^{-4}$. Par conséquent une faible variation de la pression atmosphérique produit un moindre changement de la valeur de l'indice de réfraction. Par ailleurs cet effet s'avère encore plus faible pour les solides.



Figure 2.10: Réfractomètre (Zuzi) [47].

2.4.5. Densimètre électronique :

Un densimètre est un instrument de mesure la masse volumique d'échantillons liquides. La masse volumique mesurée peut ensuite être automatiquement convertie en d'autres unités et concentrations pour certaines applications spécifiques : densité, API, degré d'alcool, degré Brix, etc. Faites votre choix parmi notre gamme de densimètres, avec une offre qui s'étend des modèles portables ultralégers jusqu'aux instruments de paillasse de haute précision.

est un appareil de laboratoire de type détecteur de densité capable de faire des mesures de densité sur des liquides ou des gaz. Il permet de déterminer rapidement des concentrations quand les tables de conversion densité/concentration existent ou tout simplement connaître le rapport masse/volume d'une substance à une température de référence.

- **Principe :**

Le densimètre électronique ou densimètre à tube en U oscillant a été inventé par le professeur Stabinger en 1967 et produit depuis cette date par la société Autrichienne Anton Paar.

Son principe de fonctionnement est basé sur le maintien en oscillation d'un tube en U généralement en verre borosilicate (volume environ 1 ml) dont la mesure de la fréquence résultante est directement proportionnelle à la masse volumique du liquide ou gaz injecté. Pour certaines applications nécessitant un travail à température élevée ou la mesure de liquides incompatibles avec le verre borosilicate (corrosion du verre par l'acide fluorhydrique (HF) par exemple), le tube en U peut être en Hastelloy C276 (inox) ou un autre alliage.

Attention : il est important de ne pas confondre le densimètre à tube en U oscillant et le densimètre à force de Coriolis dont le fonctionnement est différent.

L'équation suivante montre comment l'utilisation de la fréquence d'oscillation est transformée en mesure de masse volumique :

$$\rho = A \cdot T^2 - B \quad [44].$$

- ρ (rho) : masse volumique (densité)
- T : période d'oscillation, soit $1/f$
- A : constante liée au coefficient d'élasticité du verre et la constante de rappel
- B : constante liée à la masse et le volume du tube en U.

Ainsi, pour déterminer une masse volumique, il suffit de déterminer A et B en injectant dans la cellule de mesure deux substances étalon qui sont en général l'air et l'eau (simple d'utilisation et disponible facilement pour tous) et résoudre ainsi le système obtenu de 2 équations à 2 inconnues (réalisé automatiquement sur les densimètres électroniques d'aujourd'hui).

Le densimètre électronique est généralement équipé d'un système de régulation de la température par effet Peltier afin d'assurer une température constante de l'échantillon au moment de la mesure.

Les récentes innovations techniques ont permis de développer des densimètres qui ne s'étalonnent que sur une seule température pour une utilisation à différentes températures, la viscosité de l'échantillon n'a plus d'influence sur la mesure de densité et la détection d'hétérogénéité ou bulles d'air permet d'effectuer des mesures sûres.



Figure 2.11 : Densimètre portable (Densito) [45].

Chapitre 03

RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre représente la partie expérimentale de notre travail et description de différente appareillage et produit chimique qui est utilisé au niveau du laboratoire pédagogique khenchela .

3.1. Objectif :

Les objectifs tracés dans ce travail sont les suivants :

1. La synthèse de bioéthanol à partir de matières premières différentes (déchets de carottes).
2. Déduire lequel de ces déchets va donner une 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.

3.2. Matière première :

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé les déchets agricoles , Nous avons récupéré les déchets de carottes provenant de marché située dans la willaya de Khenchela.



Figure 3.1 : Déchets des carottes utilisés (6kg).

3.3. Microorganisme utilisé pour la fermentation :

La levure de *Saccharomyces cerevisiae* a été utilisée pour fermentés les carottes. La souche a été stockée sur gélose inclinée à 4°C, pour maintenir la viabilité du microorganisme.



Figure 3.2: Levure *Saccharomyces Cerevisiae* (saf-instant).

3.4. Méthodes d'expériences :

3.4.1. Prétraitement :

En prétraitement des déchets, feuilles et brindilles présentes dans les déchets retiré. Les carottes sont coupées et mixées, C'est pour Faciliter le processus de fermentation.



Figure 3.3 : Mélange de carotte après traitement.

3.4.2. Fermentation :

- **Protocole de fermentation :**

Nous avons édité des jerricans pour la fermentation avec une vanne d'air qui laisse sortir les gaz sans laisser entrer l'oxygène afin que nous ayons un environnement anaérobie pour que la fermentation alcoolique se produise.

Les récipients sont fabriqués à partir de jerricans et les vannes d'air sont constituées de bouchons et de longs tubes en plastique reliés et soudés d'une extrémité aux bouchons et l'autre extrémité du tube est émergée dans l'eau, les figures ci-dessous montrent :



Figure 3.4 : protocole de fermentation.

- **Préparation de levure (activation) :**

- On prépare 57g de sucre cristaux et 11g de levure *Saccharomyces Cerevisiae*

et on les mélange avec 228mL d'eau.

- Après on pèse la levure et le sucre cristaux et on le mit dans un bécher de 700mL contient 228mL d'eau à une température de 33C° 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 3.5 : préparation de levure.

Le processus de fermentation se termine lorsque vous arrêtez de regarder les bulles de gaz dans les bouteilles d'eau.

3.4.3. Filtration :

Une fois le processus de fermentation terminé qui est indiqué lorsque les bulles cessent de s'élever à l'intérieur de chacune des bouteilles d'eau, nous passons à la phase de filtration où nous séparons les solides des liquides avec un chiffon normal (tull) après on utilise le papier filtre pour faciliter le processus de distillation.



Figure 3.6 : filtration après la fermentation.



Figure 3.7 : mout de carottes (avec levure et sans levure) après la fermentation.

3.4.4. Distillation :

Après fermentation, le mout filtré est placé dans un système de distillation. Dans ce cas le type de distillation choisit est une distillation simple (non fractionnée), le système comporte : un ballon de 1000 ml, un chauffe ballon, une colonne de séparation, un réfrigérant droit, une coude de 45°, un thermomètre, ainsi qu'un erlenmeyer pour récupérer le distillat. En élevant la température du liquide jusqu'au point d'ébullition de l'éthanol qui est de 78 degrés Celsius.



Figure 3.8 : Dispositifs utilisés pour la distillation.

Tableau 3.1 : Résumé des résultats de notre travail.

	Echantillon	
	Carotte (sans levure)	Carotte (avec levure)
Biomasse	6kg	6kg
Volume de l'eau ajoutée	500ml	500ml
Temps de fermentation	20 jours 27/02/2023—19/02/2023	20 jours 02/02/2023—22/03/2023
Quantité de liquide extrait après fermentation	3200ml	3800ml
Volume du mout extrait de filtration	2000ml	2500ml
Durée de distillation (balon de 1000ml)	10h	12h
Volume de Bioéthanol extrait	65ml	70ml

3.4.5. Identification de l'éthanol :

Bien qu'il existe de nombreuses techniques pour détecter la présence d'alcool avant de commencer la méthode d'analyse, on a choisit le test d'inflammation comme la plus simple méthode. Une flamme bleue brûlante a été observée.



Figure 3.9: La flamme résultant de la combustion de l'alcool extrait de carotte.

3.4.6. Rendement de fermentation de déchets de carotte et comparaison avec les travaux ultérieurs :

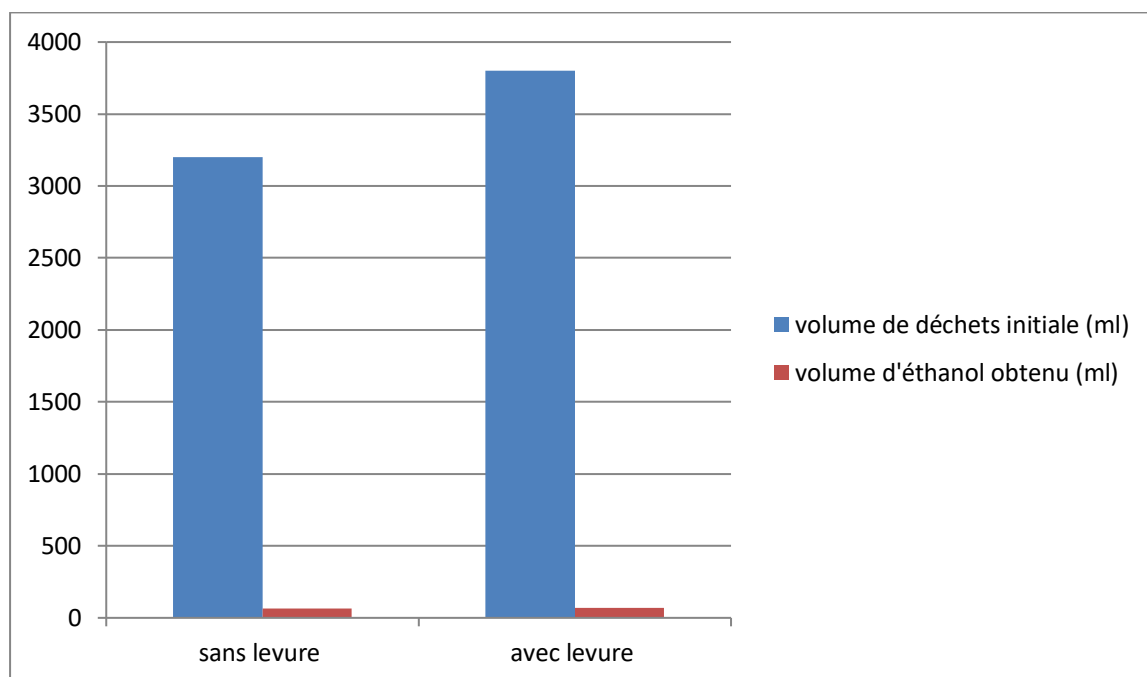
On utilise la même quantité pour des déchets (carottes sans et avec levure) 500ml chacun avec ajout de levure 11g pour favoriser la fermentation avec un temps de séjour de 20 jours. Après nous avons procédé à la filtration du substrat (mout) qui a résulté du processus de fermentation : 2 litres du jus de carotte sans levure et 2.5 litres du jus de carotte avec levure. Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.2 : Variation de rendement, conversion et degré d'éthanol obtenue issu de carotte.

Volume Déchets (carotte)	Volume initial de déchet utilisé (L)	Volume du Mout extrait de filtration (L)	Volume de bioéthanol pur obtenu (ml)	Rendement de bioéthanol (%)
Sans levure	3,2	2	65	45,36
Avec levure	3.8	2.5	70	50.01

Tableau 3.3 : comparaison de rendement bioéthanol des travaux précédents et notre travail.

les déchets utilisés pour extraire le bioéthanol	Rendement de bioéthanol (%)
La pomme	48
L'abricot	60
La pêche	56
La pastèque	42.8
Le melon	30
La carotte	50.01

**Figure 3.10**: Histogramme des volumes d'éthanol obtenue à partir de la Valorisation des déchets végétaux des volumes d'éthanol obtenue à partir de la Valorisation des déchets végétaux.

3.5. 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) [47].

On mesure la densité, l'indice de réfraction et le PH par les outils suivants :

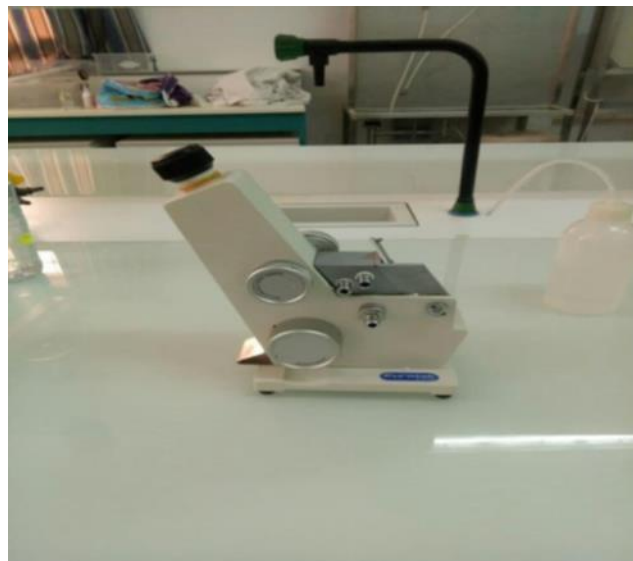


Figure 3.11: les outils utilisées (PH-mètre / densimètre/refractomètre).

Tableau 3.4: Propriétés physico-chimique de bioéthanol obtenir par déchet de carottes.

propriétés	PH	Densité	Indice de refraction
Déchets (sans levure)	4.43	0.79	1.360
(avec levure)	4.60	0.86	1.361

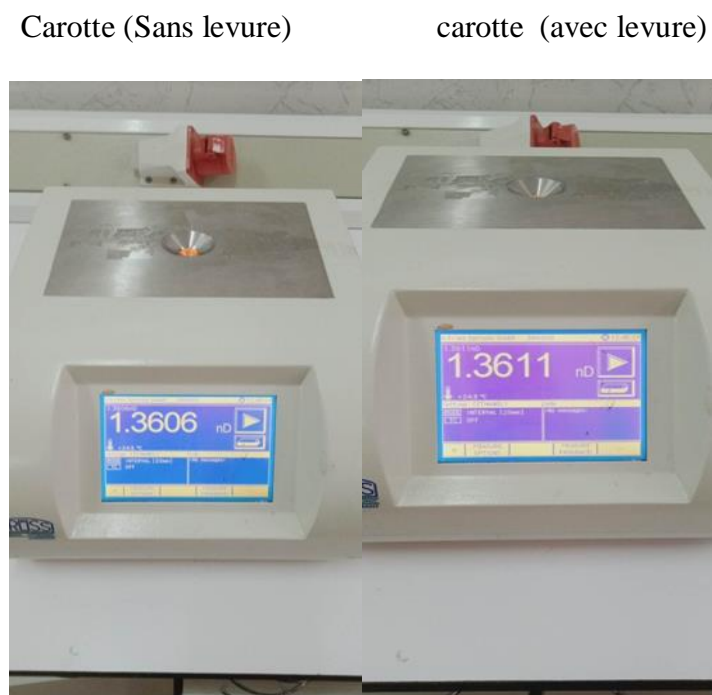
**Figure 3.12 :** les mesures de l'indice de réfraction.

Tableau 3.5 : Comparaison de propriété physique – chimique de bioéthanol obtenu de déchets de carottes et de l'éthanol commercial.

Propriétés Matières	PH	Densité	Indice de réfraction
Bioéthanol (sans levure)	4.43	0.79	1.360
Bioéthanol (avec levure)	4.60	0.86	1.361
Ethanol commercial	7	0.88	1.361

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.

3.6. Résultats d'analyse infrarouge :

Par identification des différents spectres infrarouge de l'éthanol pur et celui de bioéthanol produit à partir des jus de carotte fermenté on remarque des bandes d'absorption communes (figure 3.13).

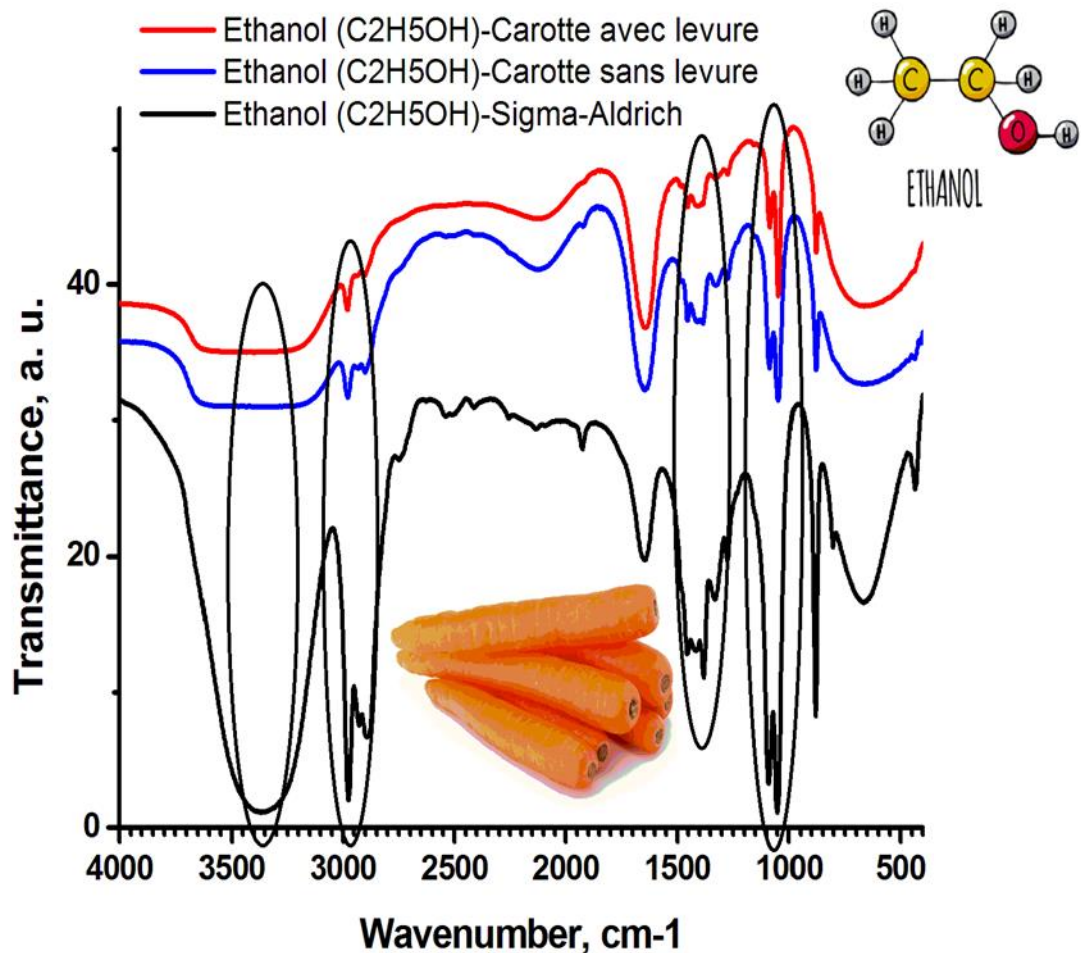


Figure 3.13: Comparaison des spectres infrarouge des différents produits (éthanol commerciale et bioéthanol de déchets de carottes).

Selon [3.13] le spectre infrarouge, on peut voir les bandes d'absorption suivantes :

- 1- la bande 3400-3300 cm⁻¹, pics sont associées aux modes de vibration du groupe hydroxyle (OH) caractéristiques des alcools.
2. La bande de la liaison -C-H à 2980-2800 cm⁻¹.
3. La bande de déformation caractéristique des groupements CH₃ et CH₂ située entre 1480-1430 cm⁻¹ présente dans les hydrocarbures (l'éthanol est aussi un hydrocarbure).
4. La bande de la liaison -C-O de 1290-1050 cm⁻¹ présente dans les alcools et les esters.

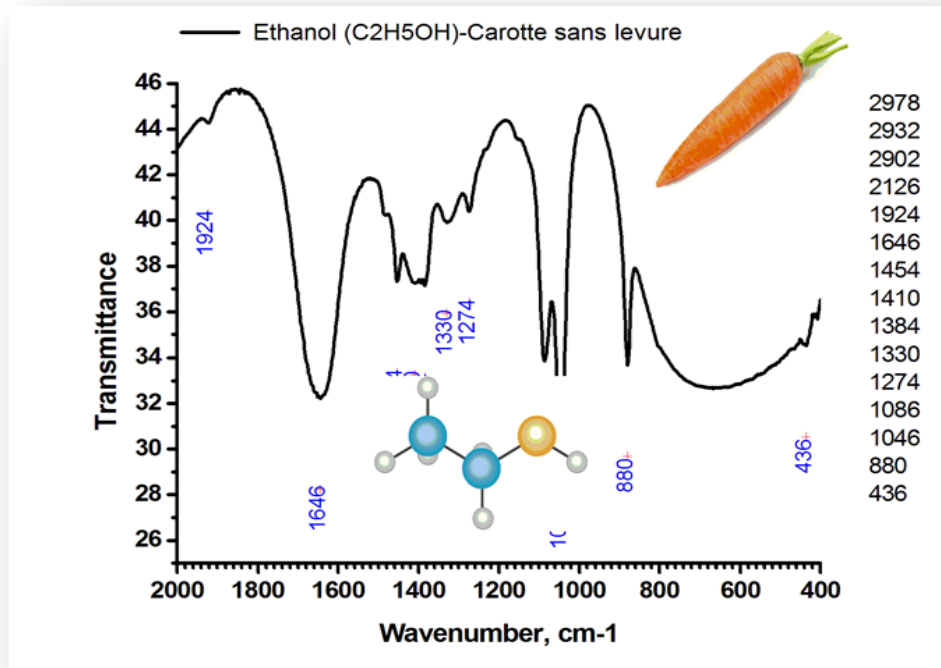


Figure 3.14 : spectre infrarouge de bioéthanol issu de déchets de carottes sans levure.

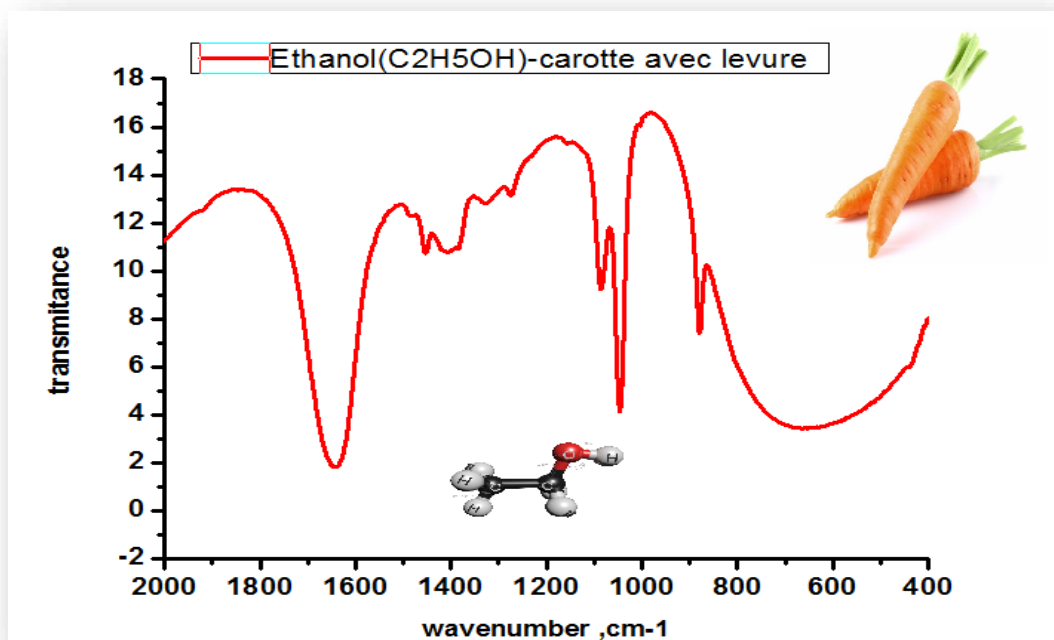


Figure 3.15 : spectre infrarouge de bioéthanol issu de déchets de carotte avec levure.

3.7. Résultats de Spectrophotométrie UV :

L'absorbance de chacune des solutions préparées de bioéthanol et d'éthanol commercial est déterminée à partir d'un spectrophotomètre UV visible, dans une gamme spectrale de 200 à 400 nm.

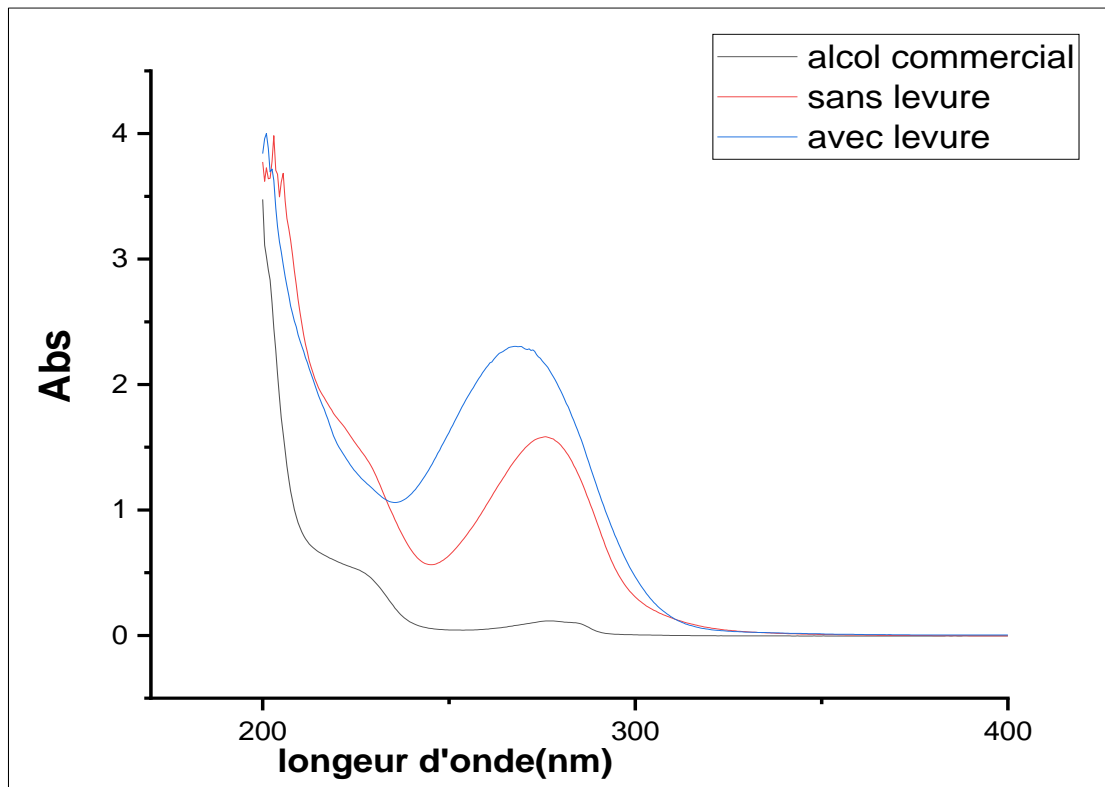


Figure 3.16 : Evolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de carotte.

L'éthanol présente une absorbance dans l'UV-Visible vers 200 à 400 nm, d'après (la figure 3.16), L'ensemble des bioéthanols produit de jus de carotte fermentés avec et sans levures ont donnés des spectres peu différents du spectre d'éthanol de référence apparaissant un pic d'environ 260 à 290 nm.

On peut voir la similitude entre les deux graphiques d'alcool extrait de carottes sans et avec levure, et cela indique la continuité de l'obtention des résultats et la réussite de l'expérience.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE

Dans ce présent travail, des déchets de carottes ont été utilisés comme matière première pour la production de bioéthanol. Notre choix de la carotte se justifie en abondance dans notre Wilaya car c'est les premières cultures maraîchères en termes de superficie et de production où une grande quantité est réservée à l'usage alimentaire. On pensait qu'il serait logique de produire de l'éthanol à partir de déchets de carotte.

Le Bioéthanol est obtenu à la suite de la fermentation, Où nous avons abordé la production d'éthanol de manière simple, et nous avons obtenu de bons résultats en termes de qualité du bioéthanol et un rendement important et en peu de temps, où le rendement de bioéthanol issu de déchets de carotte sans levure est 45.36% et avec levure est 50.01%. Il sera intéressant d'étudier et de mener à bien ce projet simple et de lui donner vie, avec les énormes quantités de déchets de carottes exploitées dans notre état.

Nos résultats de fermentation de déchets de carottes pour la production de bioéthanol montrent que La valorisation de la biomasse par les procédés biotechnologiques représente une solution de choix dans la mesure où elle contribue à l'élimination de la pollution que subit l'environnement et permet de produire des substances à forte valeur ajoutée en contribuant au développement industriel et agricole du pays. A la lumière de tout cela, une attention particulière doit être accordée à une meilleure gestion des déchets organiques et en particulier les sous-produits provenant des résidus d'agriculture (les fruits, pomme, pêche, banane, etc.) et les exploiter dans la production de matériaux plus importants

Enfin, La filière de l'éthanol est considérée comme une énergie alternative qui s'inscrit dans la lignée des énergies renouvelables. Une énergie qui vient apporter, en partie, une solution à la forte dépendance du secteur du transport à l'égard des produits pétroliers dont les impacts sur l'environnement sont dénoncés par la communauté internationale. Cette source d'énergie alternative ouvre la voie à de nouvelles avenues.

Références Bibliographiques

- [1] Renewables Information - 2016 edition - excerpt - Key Renewables Trends, disponible sur le site de l'IEA : www.iea.org
- [2] ISO/IEC 13273-2:2015(E). Energy efficiency and renewable energy sources — Common international terminology — Part 2: Renewable energy sources.
- [3] E1758 – 01 (2015). Standard Test Method for Determination of Carbohydrates in Biomass by High Performance Liquid Chromatography. ASTM International.
- [4] AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE. Manuel sur les Statistiques de l'énergie. 2005. Disponible sur le site de l'AIE :
- [5] <https://www.bioenergie-promotion.fr>
- [6] <https://www.researchgate.net>
- [7] Armelle GARCIA. Contribution à l'étude du fractionnement chimique de l'amidon de pomme de terre, caractéristiques physico-chimiques de ses constituants. Thèse de doctorat. L'université des sciences techniques de Lille. 1981.
- [8] Bai, F., Anderson, W., Moo-Young, M., 2008. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnol. Adv.* 26(1), 89-105.
- [9] Amory B. LOVINS, Stratégies énergétiques planétaires, édition Christian Bourgeois, Paris, 1975, page 97
- [10] BENABDALLAH Fatima Zohra et BENDAOU Malika. Contribution à la production d'éthanol à partir des épiluchures de pomme de terre. Mémoire de Master. Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen. 2016.
- [11] <https://www.alamyimages.fr/>
- [12] Biocarburants, Fiche pédagogique, énergies renouvelables, <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biocarburant> .
- [13] Le bioéthanol dans le monde, article publié le 9juillet2014 <https://www.bioethanolcarburant.com/actualite/le-bresil-champion-du-monde-de-lethanol/>
- [14] <https://www.ecologie.gouv.fr/>
- [15] <https://biocarburantscontroverse.wordpress.com/>
- [16] <https://www.bioethanolcarburant.com/>
- [17] Les biocarburants de troisième génération posté le 30septembre2009 <https://www.techniquesingenieur.fr/actualite/articles/les-biocarburants-de-troisieme-generation-6831>
- [18] <https://www.maisondelenergie.fr/>
- [19] <http://leaaptpe.centerblog.net/>
- [20] M2/GC/2018, Farouk.CHA,"production de bioéthanol. Analyse et modélisation par loi de Mzchaelis-Menten" mémoire de fin d'études de master académique, département de génie civil, université Abdelhamid ibn Badis de Mostaganem <http://ebiblio.univmosta.dz/bitstream/handle/123456789/13605/memoire.pdf>
- [21] Le bioéthanol une source d'énergie pour l'avenir, par Paul.ISNARDON ET Sébastien.CAMBRON <https://sites.google.com/site/tpebioethanolavenir05/>
- [22] Maîtrise de la fermentation alcoolique sous stress éthanologique, thermique et osmotique de la souche *Saccharomyces cerevisiae* YSDN1 en vue de la préparation du vinaigre de fruits, Mounir et al.: Fermentation alcoolique de *Saccharomyces cerevisiae* pour préparation du vinaigre de fruits,
- [23] . The difference between Batch, Feed-Batch and continuous fermentation, rédigé par Tonny.ALLMAN le 23/7/2020 <https://www.infors-ht.com/fr/blog/the-difference-between-batch-fedbatch-and-continuous-processes/>
- [24] The difference between Batch, Feed-Batch and continuous fermentation, rédigé par Tonny.ALLMAN le 23/7/2020 <https://www.infors-ht.com/fr/blog/the-difference-between-batch-fedbatch-and-continuous-processes/>
- [25] anol", par ZEROUALI. Amine et HAMAMI. Habib, mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme de master, université Abdelhamid Ibn-Badis Mostaganem, département de biologie, 2019 <http://ebiblio.univmosta.dz/bitstream/handle/123456789/13565/valorisation%20de%20la%20m%C3%A9lass e%20de%20canne%20a%20sucre%20pour%20la%20production%20du%20bio%C3%A9thanol.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] Valois, S., Merwin, I. A. and Padilla-Zakour, O. I. (2006) 'Characterization of fermented cider apple cultivars

- grown in upstate New York', *Journal of the American Pomological Society*, 60(3), pp. 113–128. Cidre
- [27] Bio-Ethanol Production from Fruit and Vegetable Waste by Using *Saccharomyces cerevisiae*, Mohammad Moneruzzaman Khandaker, Umar Aliyu Abdullahi, Mahmoud Dogara Abdulrahman, Noor Afiza Badaluddin and Khamsah Suryati Mohd, 20 November 2020, <https://www.researchgate.net/publication/345920767>
- [28] Cour distillation, Tsp1.3-0a crs distillation/ D. Galy Lycée Borde Basse
file:///C:/Users/pc/Downloads/Tsp1.3-0a%20crs%20distillation%20VI%20(3).pdf
- [29] <https://www.nagwa.com/>
- [30] F. Villeneuve et J. Leteinturier, *La carotte, état des connaissances*, tome 2, Éditions Ctifl, 1992,
- [31] Fromentin F., Dauriat A., Lucas H., Marchaud D., Sarlos G., 2000. Caractérisation de filière de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. *Revue l'office fédérale de l'énergie*, no69809, 120 pages.
- [32] Riess J., 2012. intensification de la brique « fermentation alcoolique » des substrats betteraviers et autre substrats pour la production d'éthanol. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. France, 177 pages.
- [33] Amillastre A., 2012. Amélioration de la robustesse de souches de levures aux stress technologiques par une stratégie de génie microbiologique. Application à la production industrielle de bioéthanol à partir de matières premières agricoles. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France. 294 pages.
- [34] Riess J., 2012. intensification de la brique « fermentation alcoolique » des substrats betteraviers et autre substrats pour la production d'éthanol. Thèse de doctorat, Université de Toulouse. France, 177 pages.
- [35] Amillastre A., 2012. Amélioration de la robustesse de souches de levures aux stress technologiques par une stratégie de génie microbiologique. Application à la production industrielle de bioéthanol à partir de matières premières agricoles. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France. 294 pages.
- [36] Novak M H., 2004. Valorisations non alimentaires des coproduits de la transformation de la Betterave sucrière. Etude menée par la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux pour le compte de ValBiom, avec le soutien du Ministère de la Région wallonne – Direction générale de l'Agriculture. 14 pages
- [37] Sparks, Trevor; Chase, George (2015). *Filters and Filtration Handbook* (6th ed.). Butterworth-Heinemann. ISBN 9780080993966
- [38] Zosime de Panopolis (trad. du grec ancien), *LES ALCHEMISTES GRECS, ZOSIME DE PANOPOLIS, Mémoires authentiques* (textes établis et traduits par Michèle Mertens), Paris, Les Belles Lettres, 2002, 299 p.
- [39] Colin Archibald Russell, *Chemistry, society and environment : a new history of the British chemical industry*, Cambridge, Royal Society of Chemistry, 2000, 372 p. (ISBN 0-85404-599-6), p. 69.
- [40] Patrick Gormley, « The facts about pH », 2003.
- [41] Lafont R. Université Pierre et Marie Curie - UFR de Biologie. *Méthodes physiques de séparation et d'analyse et méthodes de dosage des biomolécules C-Techniques spectroscopiques*
- [42] Richard Giasson. *Cours de chimie de l'université de Montréal. Spectroscopie*
- [43] W.S. Lau, *Infrared characterization for microelectronics*, World Scientific, 1999
- [44] OIV, « MISE À JOUR DE LA MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DU VIN (MÉTHODE OIV-MA-AS2-01A) » [archive], 22 juin 2012 (consulté le 24 janvier 2020)
- [45] <https://www.usinenouvelle.com/>
- [46] <https://www.google.com/>
- [47] « Une nécessaire transition énergétique pour garantir le développement durable de l'Algérie » Ecole Nationale Polytechnique : Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles 18e Journée de l'Energie : Youm el 'Ilm Hôtel Hilton Alger 8 avril 2014
<https://developpementhumaindurabledealgerie.files.wordpress.com/2016/03/rc3a9sumc3a9s.pdf>

ملخص:

الإيثانول الحيوي هو بديل جذاب للغاية للطاقت التقليدية. زاد إنتاج الإيثانول الحيوي في العالم زيادة حادة منذ أزمة النفط في عام 1970 ويمكن إنتاج الإيثانول عن طريق تخمير العديد من الركائز.

يهدف عملنا إلى إنتاج الإيثانول الحيوي عن طريق تخمير النفايات العضوية. يتم استخدام بقايا الجزر كمواد.

تم إجراء تخمير نفايات الجزر وفقاً لاختيار عدد قليل من المعلمات مثل الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ووقت التخمر.

تمت استعادة الإيثانول بالتقطير لإنتاج 65 جم / لتر من الإيثانول و 70 جم/لتر من الإيثانول.

أظهرت النتائج أن نفايات الجزر لديها إمكانات كبيرة لإنتاج الإيثانول.

Résumé :

Le bioéthanol est une alternative très intéressante aux énergies conventionnelles. La production de bioéthanol dans le monde a fortement augmenté depuis le choc pétrolier de 1970. L'éthanol peut être produit par la fermentation de plusieurs substrats. Notre travail vise à produire du bioéthanol par fermentation de déchets organiques. les résidus de carotte sont utilisés comme matière.

La fermentation des déchets de carottes a été réalisée selon le choix de quelques paramètres tels que le pH, la température et le temps de fermentation. L'éthanol a été récupéré par distillation pour produire 65 g/l d'éthanol et 70g/l d'éthanol.

Les résultats montrent que les déchets de carotte ont un grand potentiel pour la production d'éthanol.

Abstract:

Bioethanol is a very attractive alternative to conventional energies. The production of bioethanol in the world has increased sharply since the oil crisis in 1970. Ethanol can be produced by the fermentation of several substrates.

Our work aims to produce bioethanol by fermentation of organic waste. residue of the carrot are used as material. The fermentation of the carrot waste was carried out according to the choice of a few parameters such as pH, temperature, and fermentation time. The ethanol was recovered by distillation to produce 65 g / l of ethanol and 70g/l of ethanol.

The results show that carrot waste has great potential for the production of ethanol.

