



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ «Abbes LAGHROUR» DE KHENCHELA  
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE  
Département de Génie industriel



N° de série :.....

## Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)*

**Filière: Génie des procédés**

**Spécialité: Génie des procédés de l'environnement**

**PRODUCTION DE BIOÉTHANOL À PARTIR DES  
DÉCHETS AGRICOLES LOCAUX (POMME DE  
BOUHMAMA ET FRAISE DE SKIKDA)**

*Réalisé par : - BOUGHOUAL Abd Elghani  
- BOURICHE Nadhir*

*Membres de jury :*

<i>BENOUNIS Messaoud</i>	<i>Pr. Président</i>
<i>TOUATI Amina</i>	<i>MCA Rapporteur</i>
<i>NEDJAR Zouhir</i>	<i>Pr. Examineur</i>

*Présenté le .....*

**Année universitaire: 2022/2023**

# Remerciements

---

---

*Je remercie tout d'abord « Allah » qui m'a donné la force et la patience  
nécessaire pour réaliser ce modeste travail.*

*Je Remercie aussi, mon Encadreur Madame AMINA TOUATI.*

*Je Remercie également les enseignants Dr. "BOUROUBA Lilia" et Dr.  
"AMARA Amer" et Mr. "GHENIMI Aissa"*

*Mes collègues et tous les étudiants de Promotion.*

*En fin je remercie tous ceux qui m'ont aidé De Près ou de loin à réaliser  
ce travail.*

---

---

# *Dédicace*

---

*A ma très chère mère*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A mon très cher père*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

*A mon très cher frère DJALEL*

*Mes sœurs*

*que dieux vous donne santé, bonheur et réussite.*

*A mes chers amis surtout RAMZI .*

*AbdelGhani*

---

## *Dédicace*

---

*Je dédie ce travail aux deux plus chères personnes  
au monde qui sont mes parents, pour tous leurs  
amours, encouragements, conseil, sacrifices,  
patiences et confiance.*

*A mes frères*

*mes sœurs*

*A toute ma famille*

*mes chers amis Surtout Abdelhak guentas, alla  
hoggas et djemai zouaid*

*Nadhir*

---

## Table des matières

### Remercîment

### Dédicace

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## **CHAPITER I:**

### **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

I.1 Introduction .....	4
1.2. Généralité et Caractéristiques de l'éthanol .....	4
1.2.1. Propriétés physiques .....	4
1.3 Généralité sur le Bioéthanol .....	6
1.3.1 Production mondiale de bioéthanol:.....	6
Figure 1.3. Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération [9] .....	8
1.3.2. Avantages et Inconvénients du bioéthanol .....	9
1.3.3. Domaines d'utilisation du bioéthanol .....	10
1.3.4. Avenir de bioéthanol .....	10
1.4. Fermentation alcoolique.....	11
1.4.1. Types de fermentation.....	12
1.4.2. Micro-organismes utilisés dans la fermentation alcoolique .....	13
a. Généralités sur la levure <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	14
b. Morphologie et structure .....	14
c. Besoins nutritionnel de la levure .....	15
d. Métabolisme .....	16
1.4.3. Paramètres influent sur la fermentation .....	17
1.5. Procédé de distillation.....	19
1.5.1. Définition .....	19
1.5.2. Principe.....	20
1.5.3. Types de distillation .....	21
1.6. Déchets agroalimentaire .....	23
1.6.1. Pomme.....	23
1.6.2. Fraise .....	29

## **CHAPITRE II:**

### **Partie expérimentale**

2.1. Introduction .....	34
2.2. Matériels et produits utilisés .....	34
2.2.1. Matières végétales .....	34
2.2.2. Microorganismes utilisés pour la fermentation .....	34
2.3. Méthode expérimentales .....	35
2.3.1. Prétraitement .....	35
2.3.2. Fermentation des déchets .....	36
2.3.3. Filtration .....	37
2.3.4. Distillation .....	37
2.4. Méthodes d'analyses .....	38
2.4.1. Spectrophotométrie d'absorption moléculaire UV visible .....	38
a. Définition .....	38
2.4.2. Spectromètre FT IR : .....	39
2.4.3. Réfractomètre .....	40

## **CHAPITRE III:**

### **Résultat et discussion**

3.1. Introduction .....	45
3.2. Interprétation de résultats .....	45
3.2.1. Résultats d'analyse infrarouge .....	45
3.5. Comparaison des spectres infrarouge des différents produits fraise .....	48
3.2.2. Résultats d'analyse UV .....	50
3.3. Caractérisation de bioéthanol .....	51
3.3.1. Indice de réfraction .....	51
3.3.1. Identification de l'éthanol .....	52
3.4. Conclusion .....	53
Conclusions générales .....	55
Références Bibliographiques .....	56
Résumé .....	63

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
<b>Figure 1.1:</b> Formule chimique de l'éthanol	<b>4</b>
<b>Figure 1.2:</b> Rapport sur le marché du bioéthanol   Taille, part, croissance et tendances (2023-28)	<b>7</b>
<b>Figure 1.3 :</b> Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération	<b>8</b>
<b>Figure 1.4.</b> Filières de production de biocarburants de troisième génération	<b>9</b>
<b>Figure 1.5.</b> Évolution du marché mondial de bioéthanol en milliards de litre par année	<b>11</b>
<b>Figure 1.6 :</b> Fermentation du glucose sous l'effet de la levure	<b>12</b>
<b>Figure I. 7:</b> Aspect microscopique des levures après culture	<b>13</b>
<b>Figure 1.8</b> Représentation idéalisée d'une cellule de levure	<b>15</b>
<b>Figure 1.9.</b> Effet de température de fermentation sur le rendement de l'éthanol	<b>17</b>
<b>Figure 1.10.</b> Effet de concentration de matière première (source de carbone) sur le rendement d'éthanol.	<b>18</b>
<b>Figure 1.11 :</b> Effet de ph sur la production d'éthanol Effet de ph sur la production 'éthanol	<b>19</b>
<b>Figure 1.12.</b> Schéma représente le principe de distillation	<b>20</b>
<b>Figure 1.13.</b> Schéma représente le principe de distillation fractionnée	<b>22</b>
<b>Figure 1.14.</b> Fruits de pommes	<b>23</b>
<b>Figure 1.15.</b> Coupe transversale d'une pomme	<b>24</b>
<b>Figure 1.16.</b> Fruits de fraise	<b>30</b>
<b>Figure 2.1</b> Déchets des pommes et des fraises utilisés	<b>34</b>
<b>Figure 2.2</b> Mélange de fraise après traitement	<b>35</b>
<b>Figure 2.3</b> Mélange des pommes après traitement	<b>35</b>
<b>Figure 2.4</b> Fermentation des pommes avec et sans levure	<b>36</b>
<b>Figure 2.5</b> Fermentation des fraises avec et sans levure	<b>36</b>

<b>Figure 2.6</b> Jus après fermentation	<b>37</b>
<b>Figure 2.7</b> Filtration des extraits	<b>37</b>
<b>Figure 2.8</b> Dispositifs utilisés pour la distillation	<b>38</b>
<b>Figure 2.9</b> : Spectrophotomètre (Shimadzu UV 1800	<b>39</b>
<b>Figure 2.10</b> : Spectromètre FT IR (PerkinElmer	<b>40</b>
<b>Figure 2.11</b> : Réfractomètre	<b>41</b>
<b>Figure 3.1</b> Comparaison des spectres infrarouge des différents produits pomme ( avec et sans levure et éthanol –sigma-aldrich ) .	<b>45</b>
<b>Figure 3.2.</b> Spectre infrarouge de jus de pomme fermenté avec et levure (fait au laboratoire).	46
<b>FIGURE 3.3.</b> Spectre infrarouge de Ethanol sigma aldrich	47
<b>Figure 3.4.</b> Spectre infrarouge de l'eau	48
<b>FIGURE 3.5.</b> Comparaison des spectres infrarouge des différents produits fraise	49
<b>Figure 3.6</b> Évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de pomme.	50
<b>Figure 3.7</b> Évolution de l'absorbance en fonction la longueur d'onde pour le bioéthanol issu	51
<b>Figure 3.8</b> Flamme de l'éthanol extrait de pomme.	52
<b>Figure 3.9</b> Flamme de l'éthanol extrait de fraise.	52

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b> Caractéristiques physiques de l'éthanol .	5
<b>Tableau I.2</b> Les principaux avantages et inconvénients des biocarburants	9
<b>Tableau I.3</b> les éléments nutritifs consommé par le ( <i>saccharomycecerevisiae</i> ) lors de sont métabolisme fermentaire .	16
<b>Tableau 1.4</b> Teneur en sucres simples et pariétaux des pommes .	<b>25</b>
Tableau 1.5 Pourcentage de lipides dans les pommes .	27
<b>Tableau 1.6</b> Concentrations des minéraux dans les pommes	<b>28</b>
<b>Tableau 1.7</b> Composition nutritionnelle de la fraise	32
<b>Tableau 2.1</b> Essais de fermentations	<b>36</b>
<b>Tableau 2.2</b> : Quelques valeurs d'indice de réfraction de liquide et solide	<b>43</b>
<b>Tableau 3.1</b> Principales bandes de vibration IR pour la pomme .	49
<b>Tableau 3.2</b> Principales bandes de vibration IR pour Pomme .	50
<b>Tableau 3.3</b> : l'indice de réfraction en fonction du pourcentage volumique de bioéthanol dilué.	52

## LISTE DES ABRÉVIATIONS 36

<b>ETBE</b> : éther éthyle tertio butyle	<b>t</b> : temps	<b>ATP</b> : Adénosine TriPhosphate
<b>ppm</b> : partie par million	<b>h</b> : heure	<b>CE</b> : Conseil Européen
<b>Mhl</b> : millions hectoliters	<b>Bio-MTBE</b> : methyl-tertio- butyl-ether	<b>NAD+</b> : Nicotinamide Adénine Di nucléotide, forme oxydée
<b>USA</b> :united states of America	<b>B°</b> : degré d'alcool	<b>NADH</b> : Nicotinamide Adénine Di nucléotide, forme réduite
<b>E85</b> : super éthanol	<b>Bio-DME</b> : Dimethylether	<b>I</b> : intencité transmise
<b>SP95</b> : éthanol sans plomb	<b>OMS</b> : organisation mondiale de santé	<b>I0</b> : intensité
<b>C</b> : carbone	<b>Mg<sup>2+</sup></b> : ion magnésium	<b>Exp</b> : exponentiel
<b>H</b> : Hydrogène	<b>Fe<sup>2+</sup></b> : ion fer	<b>K</b> : constante de proportionnalité
<b>OH</b> : groupe hydroxyle	<b>Ca<sup>2+</sup></b> : ion calcium	<b>C</b> : constante de la solution en soluté absorbable
°C : degrés celsius	<b>Mn<sup>2+</sup></b> : ion manganèse	<b>L</b> : épaisseur de la solution traversée par le flux lumineux
<b>g/mol</b> : gramme par mol	<b>Cl</b> : ion chlorure	<b>Log</b> : logarithme
<b>kg/l</b> : kilogramme par litre	<b>mM</b> : milli mole	<b>ε</b> : coefficient d'extinction de la molécule
<b>CO2</b> : Dioxyde de carbone	<b>CO<sup>2+</sup></b> : ion cobalt	<b>λ</b> : longueur d'ande
<b>Kj</b> : kilojoule	<b>Cd<sup>2+</sup></b> : ion cadmium	<b>A</b> : absorbance
<b>C6H12O6</b> : glucose	<b>Cr<sup>2+</sup></b> : ion cromium	<b>IR</b> : infrarouge
<b>CH3CH2OH</b> : alcool	<b>I</b> : ion iodure	<b>Cm</b> : centimètre
<b>µm</b> : micrometer	<b>MO<sup>+</sup></b> : ion molybdène	<b>hc/ λ</b> : énergie individuelle des photons
<b>K<sup>+</sup></b> : ion potassium	<b>Ni<sup>+</sup></b> : ion nickel	<b>IRTF</b> : spectre infrarouge transformé de Fourier
<b>Zn<sup>2+</sup></b> : ion zinc	<b>MM</b> : micromole	<b>P</b> : prisme
<b>D</b> : densité	<b>H<sup>+</sup></b> : ion Hydrogène	
<b>m</b> : masse	<b>Qtx/ha</b> : quintaux par hectare	
<b>V</b> : volume	<b>mg/g</b> : milligramme par grame	
<b>INRA</b> : institut national de la recherche agronomique	<b>ha</b> : hectare	
<b>Bio-ETBE</b> : ethyl-tertio-butyl- éthe	<b>Qtx</b> : quinteaux	
	<b>Nm</b> : nanomètre	

**C** : vitesse de lumière

**V** : vide

**ml** : millilitre

**g** : gramme

**I** : incidence

**m/s** : mètre par seconde

**n** : indice de réfraction

---

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Dans un monde où la population continue de croître, l'énergie durable est une tâche importante. À mesure que la population augmente, la demande d'énergie continue d'augmenter, mais les ressources en combustibles fossiles diminuent de plus en plus, faisant grimper les prix du pétrole et incitant les chercheurs à trouver des moyens alternatifs de produire des carburants à partir de ressources biologiques durables. 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.

Le bioéthanol représente une source d'énergie très prometteuse. Il peut être produit par des ressources naturelles renouvelables comme les végétaux contenant du saccharose (betterave, canne à sucre...) ou de l'amidon (blé, maïs, pomme de terre...). Cependant, des pays comme les États Unis ou le Brésil consacrent des cultures pour la production de l'éthanol ce qui est en compétition avec leurs utilisations pour l'alimentation humaine et animale.

Le bioéthanol n'est pas un produit pétrolier et peut être facilement fabriqué à partir de matières premières agricoles ou de déchets de fruits. La production de biocarburants à partir de la fermentation de biomasse, de micro-algues ou d'autres déchets est une affaire sérieuse pour sauver la nature et l'environnement.

Les déchets de l'agriculture et des industries alimentaires offrent cette opportunité. Ils attirent l'attention sur la production d'éthanol pour son abondance, sa disponibilité, sa biodégradabilité, sa richesse en carbone et sa teneur en nutriments, ainsi que pour s'attaquer aux problèmes de déchets industriels à la fois économiquement et environnementalement. Dans la région de Bouhamama, la wilaya de Khenchela dans l'est algérien, premier producteur de pommes, avec environ 1,300 millions de quintaux, Une quantité généreuse de déchets des pommes et des abricots refusés est généralement mise en décharge, ces fruits sont enrichis de fructose, de glucose et de saccharose ainsi que de cellulose et d'hémicellulose qui pourraient potentiellement être converties en biocarburants et produits biochimiques. Le présent travail se concentre sur la production d'éthanol à partir de déchets de pommes en faisant optimiser les paramètres qui affectent le processus de production, le 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

## **Introduction générale**

---

finaleme nt l'ave nir de bioétha nol, un aperc u sur la fermentation alcoolique et les micro-organismes utilisés dans le procédé principaleme nt la levure *Saccharomyces-cerevisiae*, un aperc u sur le procédé de distillation et une étude sur la filière fruitière utilisé pour la production de l'étha nol.

\_ 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.

---

# **CHAPTER I :**

## **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

## I.1 Introduction

La production d'éthanol par fermentation alcoolique de ressources agricoles riches en sucre ou en amidon est une source importante et une alternative. Dans ce chapitre, nous discutons d'une étude biographique sur l'éthanol. La fermentation alcoolique, est le processus de distillation utilisé dans la production d'éthanol.

## 1.2. Généralité et Caractéristiques de l'éthanol

L'éthanol ou encore alcool éthylique, molécule de formule chimique  $C_2H_5OH$  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 (OH) [1]. Sa formule développée est :

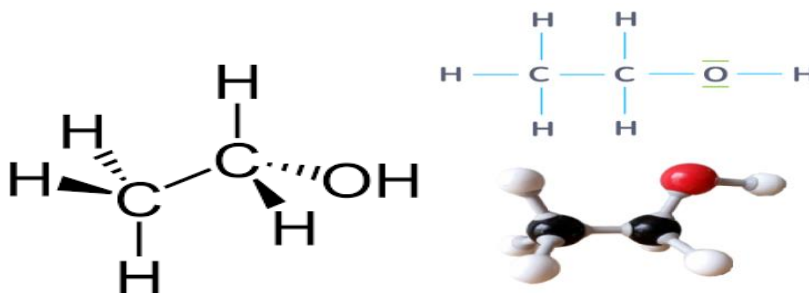


Figure 1.1: Formule chimique de l'éthanol [2]

### 1.2.1. 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 la chaleur et contraction de liquide : un volume d'éthanol + un volume d'eau donnent 1,92 volume de mélange. Par contre il y a expansion de liquide lorsque l'éthanol est mélangé avec l'essence. L'éthanol est également miscible à la plupart des solvants usuels. C'est un bon solvant des graisses et il dissout de nombreuses matières plastiques. Les principales caractéristiques physiques de l'éthanol sont représentées sur le (Tableau 1)

<b>Caractères physique</b>	
<b>Masse molaire</b>	<b>46.06</b>
<b>Point de fusion</b>	<b>-114°C</b>
<b>Point d'ébullition</b>	<b>78-78.5°C</b>
<b>Densité à 20°C</b>	<b>0.789</b>
<b>Tension de vapeur</b>	<b>5.9KP à 20°C / 10Kpa à 30°C / 29.3 KPa à 50°C</b>
<b>Température d'auto- inflammation</b>	<b>423 °C à 425 °C</b>
<b>Limites d'explosivité dans l'air (% en volume)</b>	<b>Inférieur 3.3%</b> <b>Supérieur 19%</b>

**Tableau I.1** : Caractéristiques physiques de l'éthanol [3] (INRS, 2007).

L'éthanol est un liquide très inflammable : le point d'éclair en coupelle fermée = 13°C dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs. Les solutions aqueuses d'éthanol sont également inflammables : le point d'éclair d'une solution à 70% est de 21°C, celui d'une

### 1.2.2. Propriétés chimiques

Dans les conditions normales l'éthanol est un produit stable. Il possède les propriétés générales des alcools primaires (réaction d'oxydation, déshydrogénation, déshydratation et estérification). Il peut réagir vivement avec les oxydants puissants (acide nitrique, acide perchlorique...) et d'une manière générale avec tous les composés chimiques ou minéraux riche en oxygène et instables. Une oxydation brutale (par exemple combustion) le transforme en dioxyde de carbone et en eau. L'oxydation ménagée conduit principalement à l'aldéhyde et l'acide acétique [3]

solution à 10% est de 49°C.

### 1.2.3 Utilisation de l'éthanol

- Matière première pour la production de nombreux composés : acide acétique, acrylate d'éthyle, acétate d'éthyle, éthers de glycol, éthylamine, éthylène, éthers-oxydes notamment

- Constituant de carburants : le « bioéthanol », éthanol obtenu à partir de matières premières végétales, peut être utilisé seul ou avec de l'essence.
- Solvant utilisé dans l'industrie des peintures, vernis, encres, matières plastiques, adhésifs, explosifs, parfums, cosmétiques, l'industrie pharmaceutique... l'ETBE (éthyle-tert-butyle-éther)... [4] .

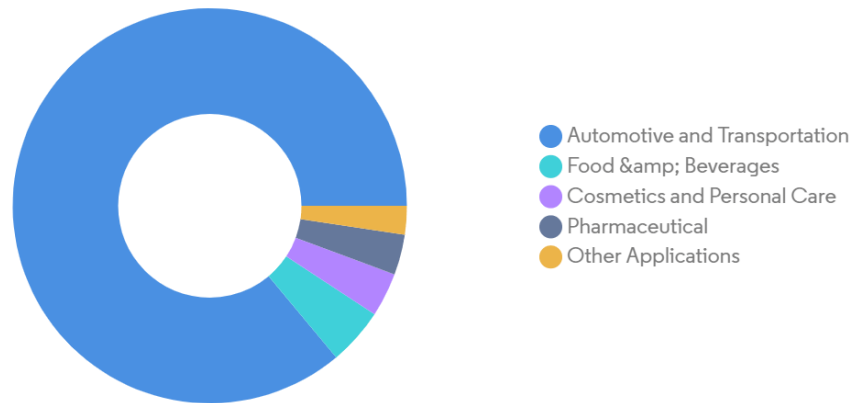
### **1.3 Généralité sur le Bioéthanol**

Le bioéthanol ou agroéthanol est un biocarburant qui peut être utilisé dans certains moteurs à essence. Le terme bioéthanol est un malgama entre le préfixe bio du grec bios, vie, vivant et le terme éthanol. Le préfixe bio indique que l'éthanol est produit à partir de matière organique (biomasse) et n'a aucun lien avec le terme « bio » généralement utilisé pour désigner l'agriculture biologique. Le préfixe « bio » est donc contesté dans certains pays francophones. C'est un vecteur énergétique issu de l'agriculture ou des déchets de l'industrie forestière [5] et appartenant à la famille des énergies renouvelables

#### **1.3.1 Production mondiale de bioéthanol:**

Actuellement, les plus grands producteurs mondiaux de bioéthanol se concentrent dans trois régions. En tête : les Etats Unis avec une part de 48 % de la production mondiale de biocarburants (bioéthanol) ; le Brésil avec 22 % ; l'Union Européenne avec 16 % (2012). Ces trois régions produisent, à elles seules, plus de 86 % de la production mondiale des biocarburants **Figure I.2**. Ainsi, les Etats-Unis se fixent un objectif de 36 milliards de gallons (136,27 milliards de litres) de biocarburants, dont 79,5 milliards de litres provenant de carburants de nouvelle génération. En avril 2009, le Conseil Européen a adopté la Directive 2009/28/CE16 relative à la promotion et l'utilisation des énergies renouvelables, portant ainsi l'objectif de consommation d'énergie renouvelable dans le secteur des transports à 10%. Par ailleurs, de nombreux pays prévoient d'accroître leur consommation de carburants renouvelables. D'après les projections faites par le FAO et l'OCDE, la production annuelle mondiale en 2020 devrait pratiquement doubler par rapport à la production de 2008 pour atteindre 196,87 milliards de litres [6].

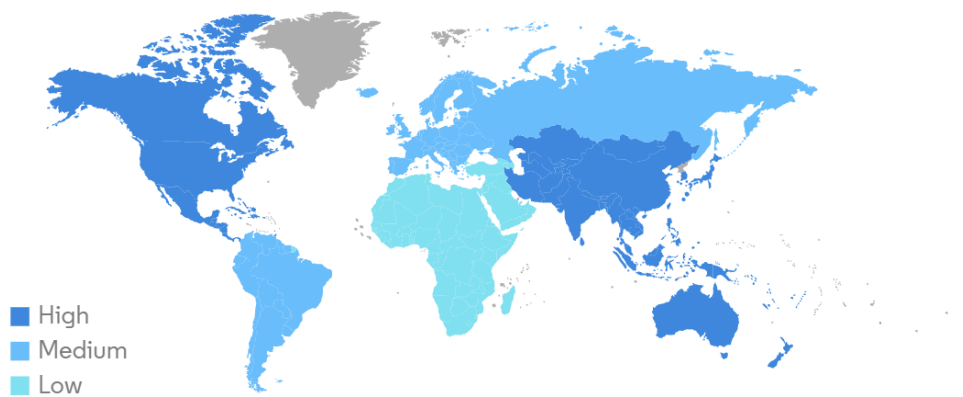
Bio-ethanol Market, Volume Share (%), by Application, Global, 2021



Source: Mordor Intelligence



Bio-ethanol Market - Growth Rate by Region, 2022-2027



Source: Mordor Intelligence



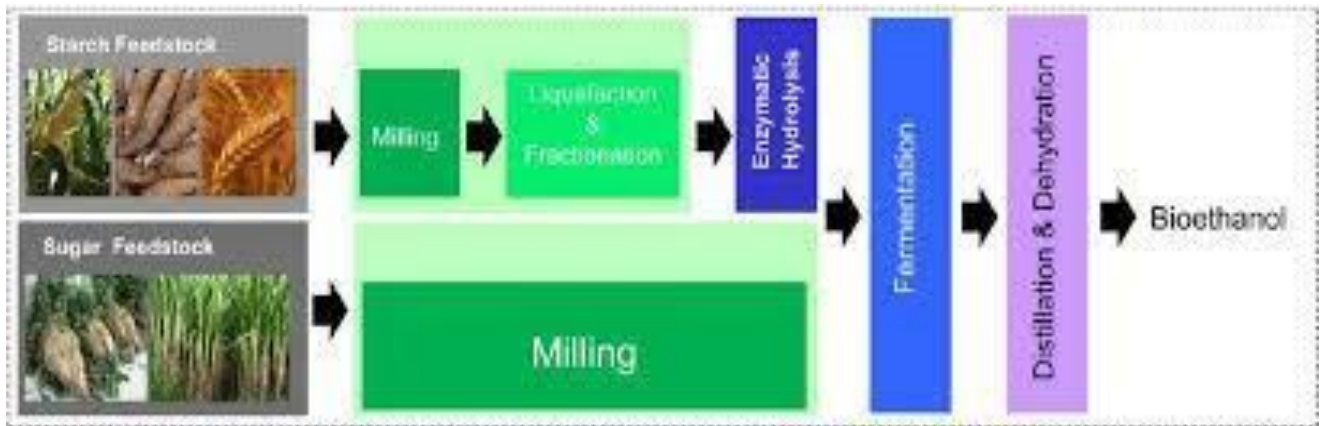
**Figure 1.2:** Rapport sur le marché du bioéthanol | Taille, part, croissance et tendances (2023-28) [7].

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

**1.3.1.1 Bioéthanol de première génération :**

Le bioéthanol de première génération est obtenu par fermentation alcoolique de sucres fermentescibles (glucose, saccharose, etc.). Ces sucres sont soit directement présents dans la

plante, soit obtenus après hydrolyse enzymatique, la figure 1.3 suivant expliqué la production de bioéthanol de première génération [8].



**Figure 1.3.** Production de bioéthanol à partir de la biomasse de première génération [9]

### 1.3.1.2. Bioéthanol de deuxième génération

Le bioéthanol de deuxième génération, également appelé «biocarburant avancé», est produit par des matières premières lignocellulosique et des résidus de forêts agricoles. Les avantages de ces matières premières sont la facilité de disponibilité. Toutefois, l'expansion industrielle du bioéthanol de deuxième génération a connu l'obstacle dû à certains problèmes technologiques. Il s'agit du coût élevé et du rendement moyen du bioéthanol en raison de sa composition de lignine. D'autres problèmes principaux liés à la production de bioéthanol de deuxième génération sont l'exigence de technologies et d'installations de pointe [10].

### 1.3.1.3. Bioéthanol de troisième génération

Les algues sont considérées comme la matière première potentielle pour la production de bioéthanol de troisième génération car la biomasse peut être convertie directement en énergie. Généralement, l'utilisation de cette matière première pour la production de bioéthanol dépend de facteurs tels que la technologie et l'environnement marin, la figure I.2 suivant expliqué la production le bioéthanol de troisième génération [10].



Figure 1.4. Filières de production de biocarburants de troisième génération [11]

### 1.3.2. Avantages et Inconvénients du bioéthanol

Les principaux avantages et inconvénients des biocarburants se résument sur le tableau 1 :

Les AVANTAGES	LES INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Renouvelables</li> <li>• Limitent les émissions de gaz à effet de serre (GES) et les consommations d'énergie non renouvelable.</li> <li>• Émettent moins de polluants tels que le soufre (à l'origine des pluies acides), les suies, les particules fines.</li> <li>• Ils permettent de diversifier les sources de production d'énergie et de réduire la dépendance à l'or noir et de valoriser des ressources domestiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'augmentation de la demande en biocarburants a eu pour conséquence le renchérissement des cours mondiaux des céréales et des oléagineux.</li> <li>• Ils sont gourmands en énergie, coûteux à cultiver, à collecter et à transformer.</li> <li>• Ils instaurent une concurrence redoutable entre cultures énergétiques et cultures alimentaires.</li> <li>• Le développement des biocarburants issus de cultures énergétiques peut être une menace pour les écosystèmes et les puits.</li> </ul>

Tableau I.2: Les principaux avantages et inconvénients des biocarburants<sup>[12]</sup>

(Touati.L, 2013).

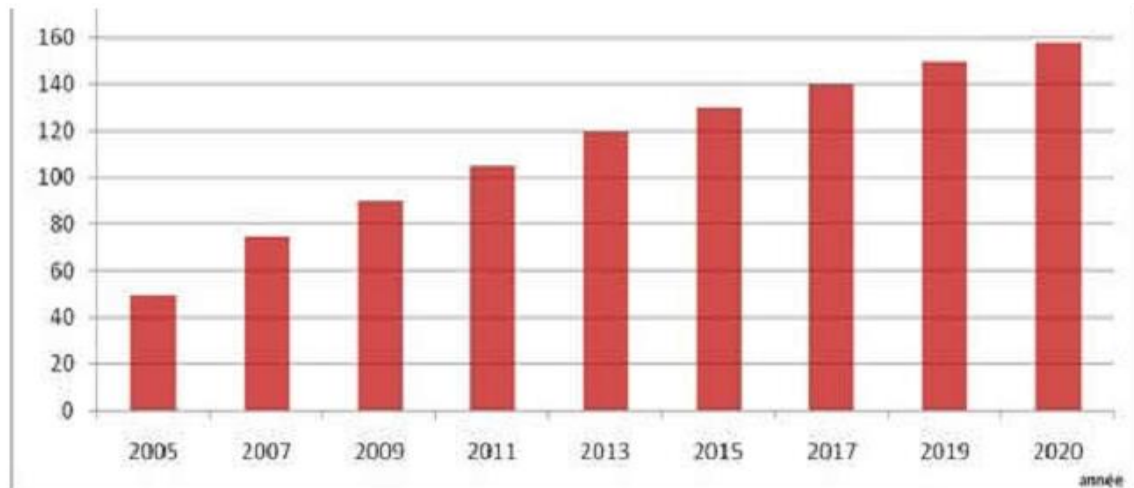
**1.3.3. Domaines d'utilisation du bioéthanol**

Le bioéthanol peut être utilisé, sous certaines conditions, comme carburant dans les moteurs à essence, soit de 5 à 20% dans les moteurs à essence sans modification et/ou de 85 à 100% dans des moteurs à essence spécifiquement adaptés. En outre, l'éthanol peut être converti en divers produits de base de l'industrie chimique tels que, l'éthylène, l'éther et l'éthyle tertio butyle (ETBE), conventionnellement, produits à partir du pétrole figI.4. Il est à signaler que le plastique résulte de la polymérisation de l'éthylène et de l'ETBE mélangé à raison de 15% à l'essence, permet d'augmenter l'indice d'octane du carburant, contrairement à l'éthanol, il ne favorise pas l'évaporation des carburants et n'absorbe pas l'humidité de l'air [13,14].

**1.3.4. Avenir de bioéthanol**

Comme tous les biocarburants, le bioéthanol est en constante évolution dans le monde. Du Brésil à la Suède, puis aux États-Unis, de nombreux pays ont décidé de réduire leurs émissions de gaz 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 [15].

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 [15]



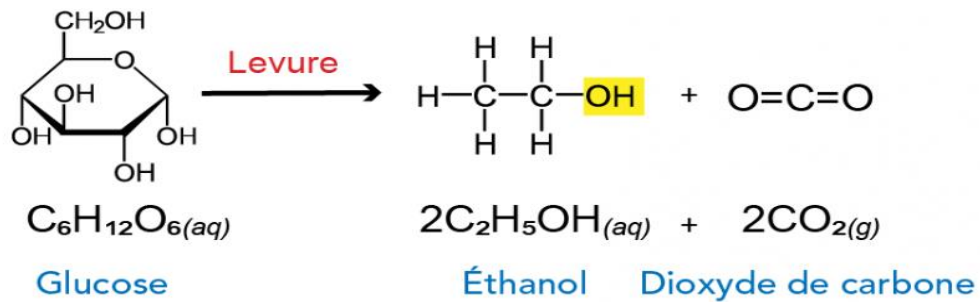
**Figure 1.5.** Évolution du marché mondial de bioéthanol en milliards de litre par année [16] .

#### 1.4. Fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique consiste à transformer les sucres fermentescibles en anaérobiose par des levures en alcool et gaz carbonique avec dégagement de calories selon la réaction suivante :



La fermentation alcoolique Figure II.3 est réalisée dans un milieu riche en sucres. Le moût est introduit dans le fermenteur puis inoculé avec le milieu de pré-fermentation. La fermentation dure de 40 à 72 heures et la température est fixée entre 28 et 30 °C [18]. Les sucres les plus abondants sont le glucose et le fructose. L'espèce de levures principalement responsable de la fermentation alcoolique est *Saccharomyces cerevisiae*. La voie métabolique utilisée pour la consommation de sucres, en condition anaérobie, qui comporte la glycolyse, produit dans cette étape deux molécules d'ATP pour une molécule de sucre consommé. Durant cette réaction, deux molécules de cofacteur NAD<sup>+</sup> sont réduits en NADH. La production d'éthanol à partir du pyruvate de la glycolyse est la conséquence de la réoxydation de ces cofacteurs. Lors de la fermentation alcoolique, la macération provoque l'extraction de la couleur. La fermentation se déroule en milieu non renouvelé. La croissance de *Saccharomyces cerevisiae* peut être limitée par l'accumulation de substances toxiques. Signale que les acides gras (l'acide octanoïque, decanoïque, formés par les levures, deviennent toxiques pour elle. Pour remédier à ce phénomène, une pincée de charbon était additionnée aux moûts avant ensemencement pour faciliter la reprise de la fermentation [19].



**Figure 1.6** : Fermentation du glucose sous l'effet de la levure [20]

### 1.4.1. Types de fermentation

#### 1.4.1.1. Fermentation discontinue (batch)

Dans la fermentation discontinue, essentiellement des nutriments et des micro-organismes sont ajoutés, Exécutez le processus. Il s'agit d'un système fermé utilisant un fermenteur relativement grand. La Croissance microbienne à travers la phase de latence, la phase logarithmique et la phase Stationnaire. Une fois le processus de fermentation terminé, le processus est arrêté et le produit être récolté. Avant le lot suivant, le fermenteur a été nettoyé, le deuxième lot de nouveau.[21]

#### 1.4.1.2. 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 [22]

#### 1.4.1.3. 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 [22].

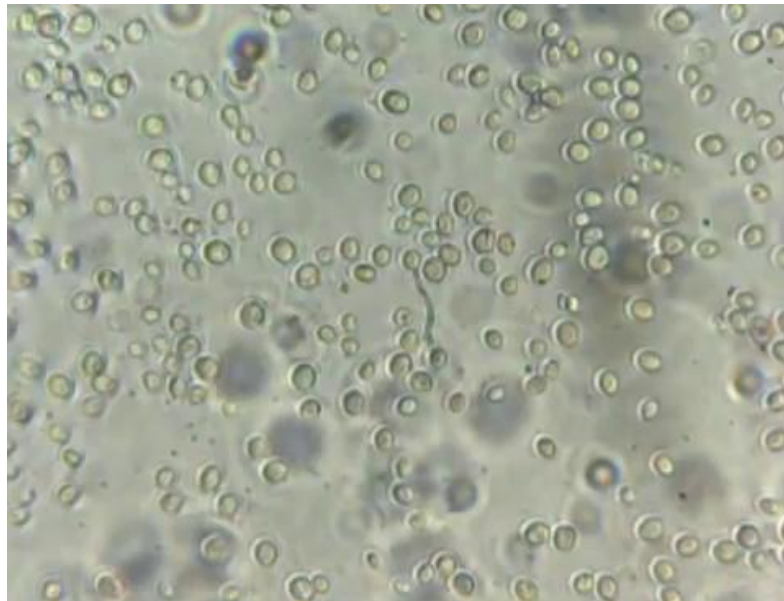
**1.4.2. Micro-organismes utilisés dans la fermentation alcoolique**

Dans le processus de fermentation anaérobie de matières organiques pour produire de l'éthanol, nous utilisons des micro-organismes comme [23].

- Les bactéries
- Les levures

- **Levure**

*Saccharomyces cerevisiae* est un champignon ascomycète ubiquitaire. C'est une levure qui est retrouvée chez l'homme sous forme commensale. Elle est largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour son rôle dans la fabrication de plusieurs aliments, notamment le pain et les boissons fermentées. Elle est aussi utilisée en tant que supplément nutritionnel et en tant que probiotique [24].



**Figure I. 7:** Aspect microscopique des levures après culture

Les levures sont des microorganismes unicellulaires qui ont une forme ovale ou sphérique et leur morphologie peut varier selon les conditions d'environnement ou leur état [25].

- **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* [26] .

- **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 certains cas elles se montrent utiles, telles différentes sous-espèces de *Penicillium* et *Aspergillus* dans la fabrication de fromages et dans les fermentations alcooliques [27].

- a. Généralités sur la levure *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. La levure a été découverte, isolée et identifiée au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. Ce champignon, capable de métaboliser des sucres, (*saccharo*) responsable de la fermentation fut appelé *Saccharomyces cerevisiae* par Mayen en 1837 [28].

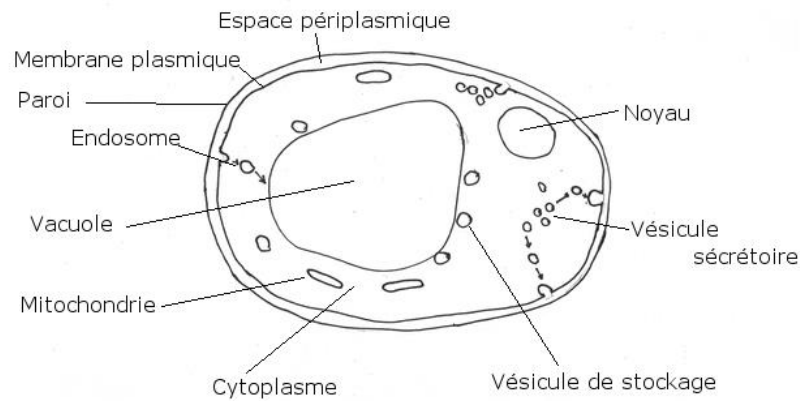
- b. Morphologie et structure**

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 [29].

Représentation idéalisee d'une cellule de levure



**Figure 1.8** Représentation idéalisée d'une cellule de levure [30].

### **c. Besoins nutritionnel de la levure**

Le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires à la croissance et aux besoins énergétiques de la levure. La biomasse est composée principalement d'eau et des éléments CHON (carbone, hydrogène, oxygène, azote) ; le milieu doit donc fournir ces éléments pour permettre la croissance. Les besoins des levures pour leur croissance sont les suivants :

Les éléments nutritifs	exemples
L'eau	Les levures sont constituées de 75% d'eau et 25% de matière sèche
Une source de Carbone	représente environ 50% du poids sec de la levure
une source d'azote	Les levures contiennent 10% environ d'azote, entrant dans la composition des acides aminés, des acides nucléiques et de certaines vitamines. Il est apporté par le milieu de culture sous la forme de sels d'ammonium (phosphate, sulfate, chlorure et nitrate)
une source des vitamines	des régulateurs et des cofacteurs importants des voies métaboliques. Elles agissent généralement comme coenzymes ou précurseurs d'enzymes. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> est auxotrophe pour les vitamines suivantes qui seront ajoutées au milieu de culture
des oligo-éléments (ions inorganiques)	es macroéléments : $K^+$ , $Mg^{2+}$ , $Ca^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ , $Mn^{2+}$ , $Cl^-$ dont la concentration nécessaire varie entre 0,1 et 1 mm.
	les micro-éléments : $Co^{2+}$ , $B^{2+}$ , $Cd^{2+}$ , $Cr^+$ , $u^{2+}$ , $I^-$ , $Mo^+$ , $Ni^{2+}$ pour lesquels une concentration de 0,1 à 100 $\mu M$ est suffisante

**Tableau I.3.** les éléments nutritifs consommé par le (*saccharomycecerevisiae*) lors de sont métabolisme fermentaire [31].

**d. Métabolisme**

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 CO<sub>2</sub>. 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<sup>+</sup> comme coenzyme [31]. Le métabolisme fermentaire produit beaucoup moins d'énergie que le catabolisme aérobie et le cycle de Krebs n'a qu'un rôle anabolique

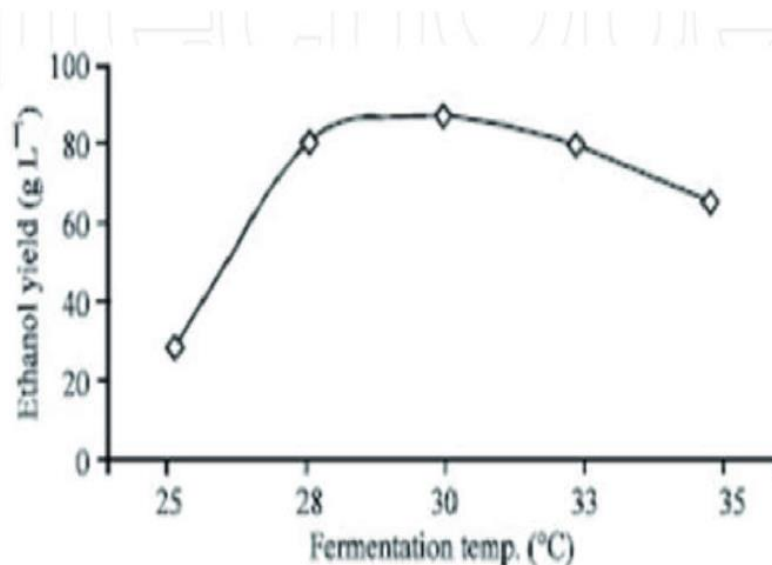
(synthèse de précurseurs), seule la synthèse d'éthanol permet la production d'énergie nécessaire aux besoins de la cellule et la ré-oxydation du NADH produit lors de la glycolyse [31].

### 1.4.3. Paramètres influent sur la fermentation

#### 1.4.3.1. 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 1.9). 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 [32]

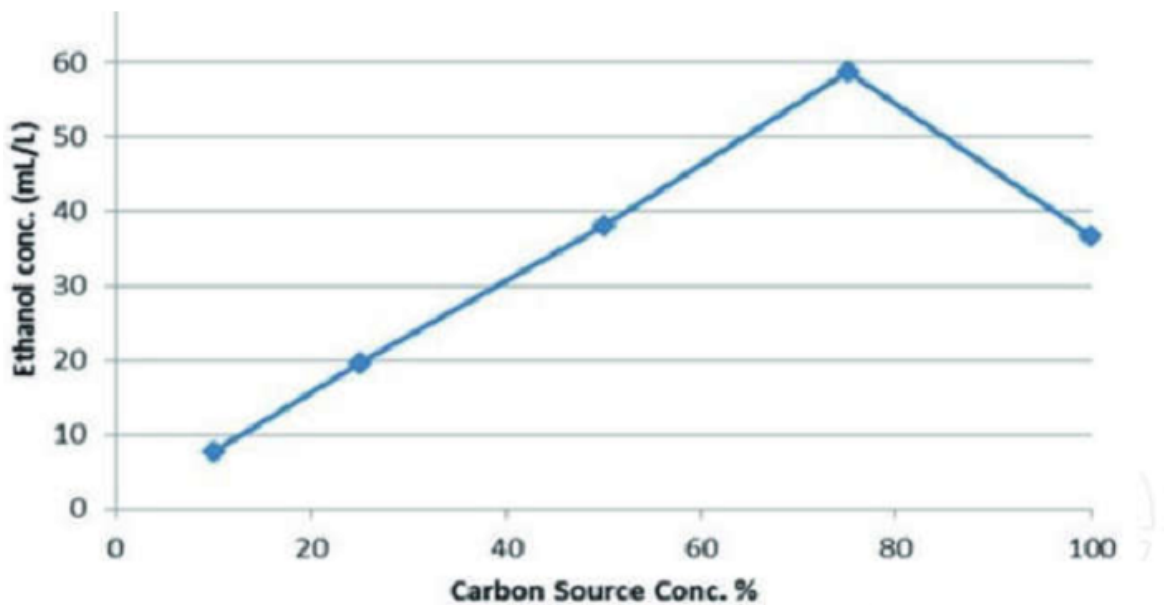
Alors qu'une température basse ralentit le taux de croissance des cellules, ce qui peut être dû à leur faible tolérance à l'éthanol à des températures plus basses [32]



**Figure 1.9.** Effet de température de fermentation sur le rendement de l'éthanol [32]

#### 1.4.3.2. Concentration de matière première

La matière première contient des nutriments pour la croissance des micro-organismes pendant le processus de fermentation. À une concentration élevée de matière première, la vitesse d'hydrolyse. À une concentration élevée de matière première, la vitesse d'hydrolyse. Avec un nombre fixe d'enzymes. Avec un nombre fixe d'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 des enzymes. Une petite quantité d'éthanol sera obtenue en raison des faibles substrats liés au site actif de l'enzyme. Ainsi, l'augmentation de la concentration de la matière première favorise la production d'éthanol (Figure 1.8). Cependant, prolonger l'exposition à une concentration plus élevée de matière première conduit à diminuer la production de bioéthanol [32].

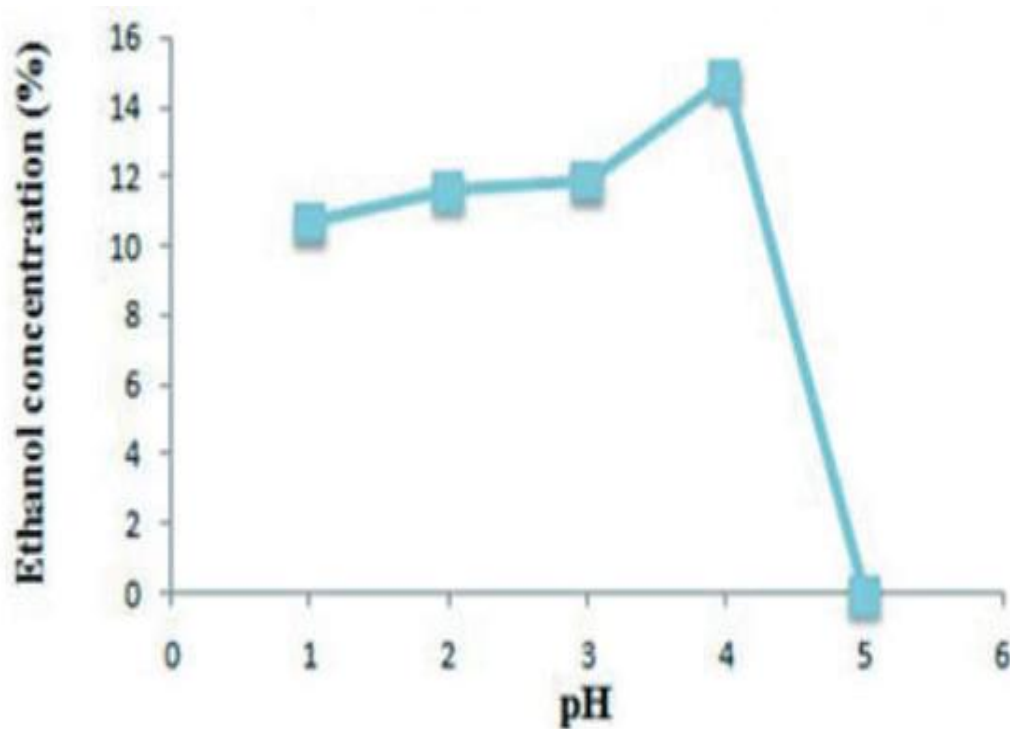


**Figure 1.10.** Effet de concentration de matière première (source de carbone) sur le rendement d'éthanol [32].

#### 1.4.3.3. 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 1.11). 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 a été observée à un pH supérieur à 5,0 (Figure 11) [32].



**Figure 1.11** Effet de ph sur la production d'éthanol Effet de ph sur la production 'éthanol [32].

#### 1.4.3.4. Temps de fermentation

Le taux de croissance des micro-organismes est affecté par le temps fermentation. Plus le temps de fermentation est court, plus l'efficacité de la fermentation est faible en raison d'une croissance microbienne insuffisante. De même, des temps de fermentation plus longs Effets à long terme sur la croissance de *Saccharomyces cerevisiae* dus à une concentration élevée en éthanol bouillon. Cependant, la fermentation longue à basse température permet pour le plus faible rendement en éthanol [32].

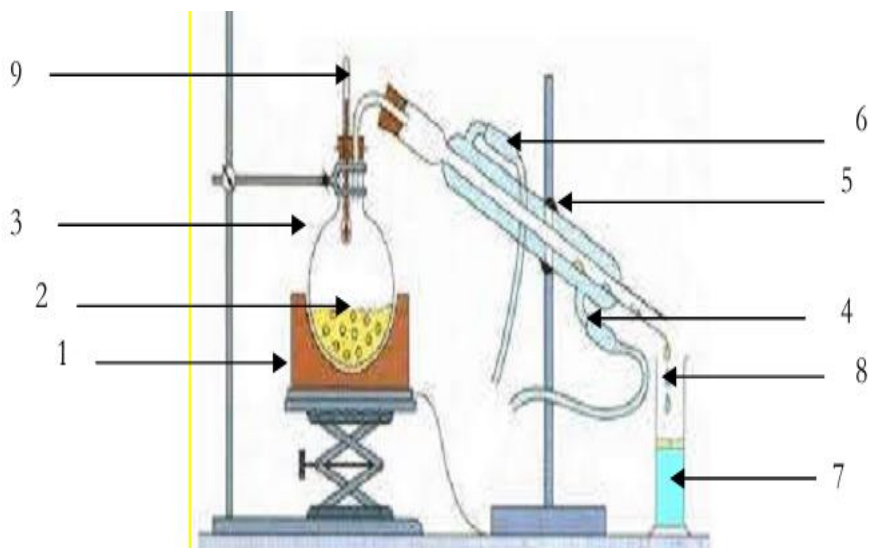
### 1.5. Procédé de distillation

#### 1.5.1. 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 [33].

### 1.5.2. 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 1.12.** Schéma représente le principe de distillation [34] .

1. source de chaleur.
2. mélange à distiller.
3. ballon.
4. entrée d'eau.
5. réfrigérant.

6. sortie d'eau.
7. éprouvette gradué.
8. distillat.
9. thermomètre.

### **1.5.3. Types de distillation**

La distillation peut se faire de plusieurs manières :

#### **1.5.3.1. Distillation discontinue**

Dans ce mode de fonctionnement la totalité des éléments nutritifs nécessaires à la croissance biologique est introduite lors du démarrage de la réaction. Aucun apport ni prélèvement (excepté bien sûr pour quelques mesures hors lignes éventuellement) n'est réalisé par la suite et la réaction se déroule à volume constant [35] . Les seules actions possibles de l'opérateur ne concernent que les variables d'environnement (pH, température, vitesse d'agitation, aération,...).

Peu de moyens sont ainsi nécessaires à sa mise en œuvre, ce qui en fait son attrait du point de vue industriel [36] . Il souffre cependant d'un inconvénient majeur : l'apport initial d'une quantité élevée de substrat inhibe généralement la croissance des microorganismes qui le consomment, ce qui se traduit par des durées de traitement allongées, et limite la charge initiale admissible [37].

#### **1.5.3.2. Distillation semi-continu**

Tout en nécessitant un dispositif de stockage des affluents, ce mode de fonctionnement se distingue du précédent par un apport des différents éléments nutritifs au fur et à mesure des besoins constatés des micro-organismes. La variation du volume du milieu réactionnel est donc une fonction directe de l'état d'avancement de la réaction.

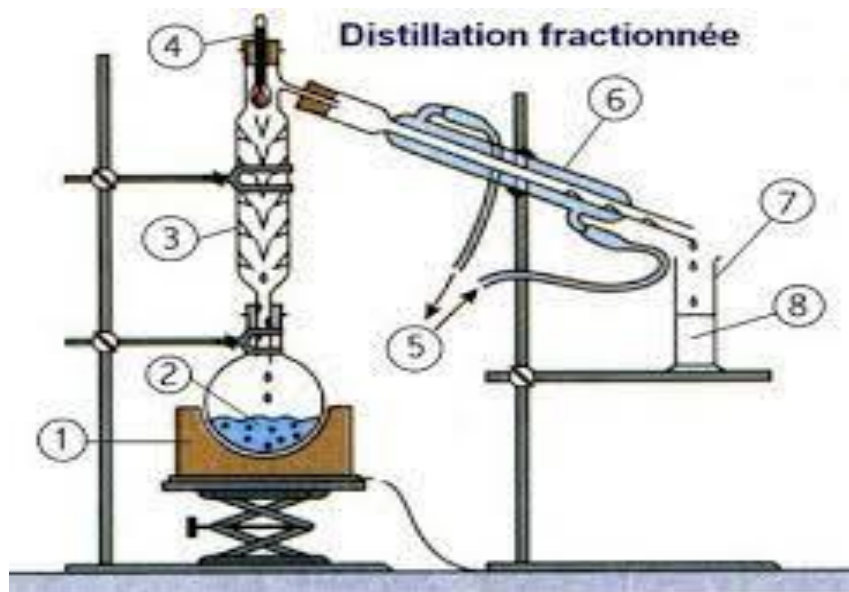
Ce mode permet essentiellement d'éviter les problèmes d'inhibition associés au mode précédent, et de fonctionner à des taux spécifiques de croissance proches de leur valeur maximale.

A partir d'un volume initial préalablement ensemencé, le réacteur est alimenté par un débit augmentant de façon exponentielle, nécessitant un contrôle en boucle fermée. C'est d'ailleurs ce dernier point qui a fortement limité l'utilisation du fedbatch en milieu industriel [36].[37]

### 1.5.3.3 Distillation continue

Caractérisé par un volume réactionnel constant, il est soumis à un soutirage de milieu réactionnel égal au flux d'alimentation en matière nutritive (en employant une régulation de niveau) [38]

Les procédés continus fonctionnent en régime permanent, en maintenant, pour des conditions d'alimentation fixées, le système dans un état stationnaire, en évitant tout phénomène inhibiteur grâce à l'effet de dilution dû à l'alimentation. [36][37] Ces modes de fonctionnement permettent en outre des productions importantes dans des réacteurs de taille réduite et ne nécessitent pas d'importants dispositifs de stockage en amont, contrairement aux modes précédents.



**Figure 1.13.** Schéma représente le principe de distillation fractionnée <sup>[39]</sup>

1. chauffe ballon.
2. ballon.
3. colonne de séparation.
4. thermomètre.

5. entré et sortie d'eau de refroidissement.
6. réfrigérant à eau.
7. éprouvette graduée.
8. distillat.

## **1.6. Déchets agroalimentaire**

### **1.6.1. Pomme**

#### **1.6.1.1. Introduction**

Le pommier occupe une place importante dans la production mondiale, avec 70 million de tonnes après les agrumes et les bananes. Les pays les plus producteurs de pommes sont la Chine avec un potentiel supérieur à 30 million de tonnes et les pays Européens avec environ 9 à 10 million de tonnes [40] . En Algérie, les superficies du pommier sont importantes, avec des rendements encore faible avec une moyenne nationale 74,4 Qtx /ha en 2011 [41] . La qualité du pommier dépend des facteurs climatiques et les techniques culturales mises en place.



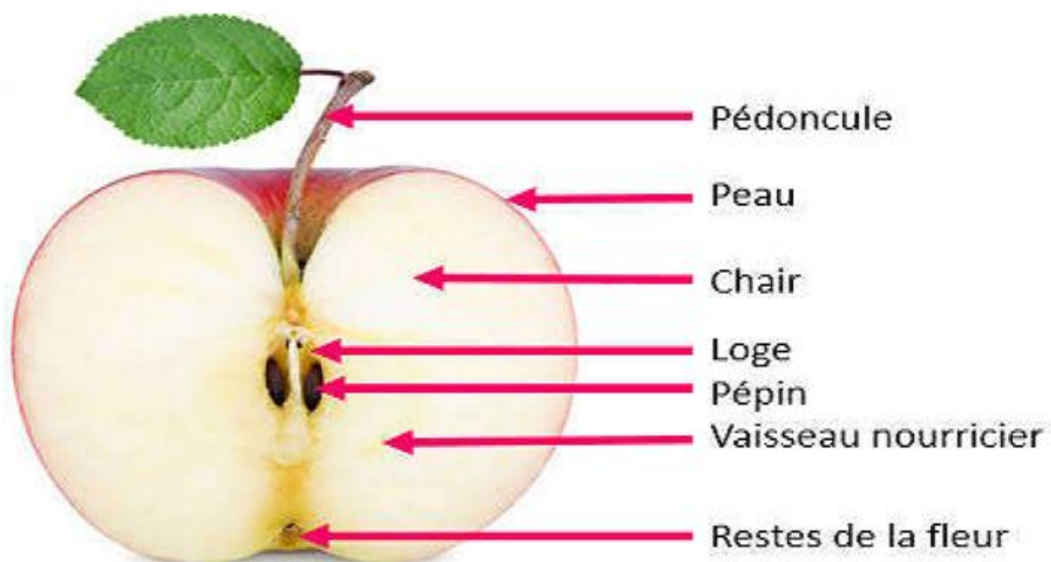
**Figure 1.14.** Fruits de pommes <sup>[42]</sup>.

**1.6.1.2. Origine**

La pomme (*Malus domestica*) appartient à la sous-famille « Maloideae » et à la famille des « Rosaceae ». Elle représente l'un des plus importants fruits d'arbres à feuilles caduques. Les pommiers sont généralement cultivés dans les régions tempérées et tropicales entre les latitudes 30° et 60° Nord, et 25° et 45° Sud [43]. La pomme est l'un des fruits les plus produits et consommés mondialement. En effet, la pomme est le troisième fruit produit dans le monde avec une production mondiale atteignant 77 millions de tonnes métriques en 2016/2017 [4]. La Chine, produisant près de 43,5 millions de tonnes par an, représente le plus grand producteur de pommes mondial, suivie par les États-Unis et l'Union Européenne.

**1.6.1.3. Composition biochimique**

Les pommes mûres sont principalement composées d'environ 85% d'eau, 12 à 14% de glucides, 0,3 à 1% d'acide organique, 0,3% de protéines, et moins de 0,1% de lipides, de minéraux, et de vitamines [34]. Cette composition biochimique est principalement liée à la variété, la maturité, et aux conditions agronomiques et climatiques.



**Figure 1.15.** Coupe transversale d'une pomme [35].

**a . Sucres**

Trois groupes de sucres existent : les monosaccharides, les oligosaccharides, et les polysaccharides. Les deux principaux monosaccharides des pommes sont le glucose et le fructose. Le saccharose est le disaccharide essentiel dans les pommes, vu que les autres oligosaccharides n'ont aucune importance quantitative (Tableau V.1). Le D-sorbitol, sous forme de sucre alcool, est abondant dans les pommes avec une concentration de 300 à 800 mg/100 ml de jus de pomme [47] Les polysaccharides comportent de la cellulose, de l'hémicellulose, et des pectines.

Concentration	Concentration
Glucose 1.8	Arabinoce 109
Fructose 5.6	Rhamnose 12
Sccharose 2.6	Fucose 8.5
	Galactose 71.5
	Glucose 288
	Mannose 21
	Xylose 57
	Acide 277
	Galacturonique

**Tableau 1.4** Teneur en sucres simples et pariétaux des pommes [48] .

\*g/100g du produit frais

\*\*mg/g de paroi cellulaire

**b. Acides organiques**

L'acide L-malique est le principal acide organique présent dans les pommes. L'acide citrique est trouvé à des concentrations très faibles, atteignant des concentrations inférieures de milles fois celle de l'acide malique. La pomme contient au moins neuf à douze acides en petites fractions. L'acidité des pommes peut varier de 0,1 à 2,5 g d'acide malique pour 100 g

de jus [49] . Outre l'acide malique, Acide citrique, acide succinique, acide citrique, acide shikimique, glycérine, acide glyoxylique, etc. Le jus de pomme contient de l'acide glycolique, de l'acide lactique et de l'acide galacturonique. Acide tricéto Différents types ont été trouvés, notamment l'oxaloacétate, le pyruvate et le cétooglutarate. Cependant, ces acides ne représentent qu'une fraction des acides organiques totaux présents .

### **c. Composés phénoliques**

La mesure des substances phénoliques présentes dans le fruit a été d'un grand intérêt pour les pomologues et les producteurs de cidre. Les composés phénoliques, métabolites secondaires des plantes, jouent un rôle majeur dans la qualité sensorielle et nutritionnelle du fruit.

Les composés phénoliques se distinguent par le nombre et la séquence des cycles aromatiques, le nombre et la position des groupes hydroxyle ainsi que par la présence de substitués non phénoliques tels que les groupes alkyles, les sucres, et les acides organiques.

Les polyphénols présents dans les pommes se répartissent en deux catégories : les acides

Phénols et flavonoïdes. Concentration d'acide caféoylquinique La plupart des variétés de pommes sont relativement riches en peau et en pulpe. Oxydation L'acide chlorogénique, appelé acide 5'-caféoylquinique, est principalement responsable de Faire dorer le jus de pomme et le cidre [50]

### **d. Lipides**

- Les fruits sont généralement faibles en gras, environ 0,1 à 0,5 % du poids frais.
- Des niveaux élevés de lipides sont souvent détectés dans les graines de fruits. .

Les lipides	% de lipides totaux
Triacylglycérols	5
Glycolipides	17
Phospholipides	47
Stérols	15
Stérol esters	2
Sulpholipides	1
Autres	13

**Tableau 1.5** Pourcentage de lipides dans les pommes [51] .

**e. Vitamines :**

La vitamine C est bio synthétisée dans les plantes à partir d'hexoses tels que le glucose. La teneur en vitamine C, également appelée acide L'ascorbique, est comprise entre 3 et 35 g/100g de portion comestible de pomme. Les vitamines B12 et D et les tocophérols ne se trouvent qu'en traces [51] .

**f. . Minéraux :**

Tous les fruits contiennent un type de minéraux appelés nutriments inorganiques qui comprennent un cation. Respectivement, le potassium et le phosphore règnent en tant que premiers anions d'une grande importance. Les éléments restants n'ont pas autant de poids. Le fer, le sodium et le calcium ne sont que quelques-uns des éléments que l'on peut trouver à l'état de traces dans cette substance. 1.5) tableau.

**Tableau 1.5** Concentrations des minéraux dans les pommes [51]

	mg/100g matière sèche		mg/100 g matière sèche
Potassium	840	Fer	1.6
Sodium	7.9	Aluminium	0.43
Calcium	38	phosphore	73
Magnésium	40	Zinc	0.65
Manganèse	0.3	Copper	0.35

**Tableau 1.6** Concentrations des minéraux dans les pommes [51]

#### **1.6.1.4. Évolution de la culture du pommier en Algérie**

##### **a. Dans la wilaya de Khenchela**

La wilaya de Khenchela est parmi les principales régions productrices de pommes en Algérie, la production concerne de nombreuses zones de la wilaya.

Les vergers de pommier sont localisés principalement à Bouhmama, kais, checher, El-Hamma et Babar.

La production de pommes à Khenchela au cours de la campagne agricole 2021-2022 a atteint près de 1,7 million quintaux permettant à la wilaya de maintenir sa première place à l'échelle nationale dans la production de ce fruit pour la quatrième année consécutive, a-t-on appris ce dimanche du directeur des services agricoles (DSA), Rachid Boualag. La wilaya de Khenchela qui, au cours des quatre dernières campagnes agricoles a été la première à l'échelle nationale en matière de production de pommes, « a réalisé cette année une production abondante estimée à 1,69 million de quintaux », a indiqué M. Boualag lors de la présentation de la fiche technique de la production agricole de la région, à l'occasion de la célébration de la Journée nationale de vulgarisation agricole tenue à la maison de l'agriculteur (Dar El Fellah) de la commune d'El Hamma sous le slogan « 60 ans de réalisations pour atteindre la

sécurité alimentaire ». Le DSA a ajouté que la chute de la grêle, ayant affecté quelques localités récemment à Khenchela, a provoqué la détérioration d'une partie de la production, ce qui a empêché d'atteindre l'objectif escompté, à savoir 1,8 million quintaux [52] .

### **1.6.2. Fraise**

#### **1.6.2.1. Introduction**

En Algérie l'introduction de la culture intensive de la fraise débuté durant l'année 2001.avec des superficies cultivées très timides ( quatre hectares en 2001) .

Les agriculteurs ont très vite remarqué la plus –value qu'ils pouvaient tirer de cette culture , et progressivement l'introduction de la culture intensive de la fraise ( sous serre et sous tunnel) et la superficie cultivée est passée à 245.42 ha en 2014.

La production attendue cette année 2014 estimée à 80.000Qx

Les communes qui répondent aux exigences de la culture de la fraise ( Edaphiques et climatique ) sont :

- Chekfa
- Sidi Abdelaziz
- Oued Adjoul
- El Ancer
- El Kennar
- Kaous
- El Aouana [53]



Figure 1.16. Fruits de fraise [54]

### **1.6.2.2. Historique de la culture de fraises en Algérie**

En 1905 : L'introduction du fraisier par les italiens au niveau de Skikda, cultivé sur les collines de la zone de Stora, variété ronde locale à conduite traditionnelle, elle fut surnommée Russicada en 1994 (nom antique de Skikda).

En 1970 : création de l'D.C.M chargé du développement du maraichage avec une introduction massive d'espèces et de variétés légumières, parmi lesquelles figurent une trentaine (30) de variétés de fraise d'origine Belge et française, expérimentées en plein champ dans les conditions Algéroises.

A Jijel la culture de la fraise est pratiquée depuis longtemps comme culture marginale, elle s'est développée au début des années quatre-vingt grâce à son introduction au niveau des EX DAS.

Actuellement, l'introduction des variétés hybrides, la pratique de l'itinéraire technique moderne en culture protégée sous serre et sous tunnel, l'irrigation localisée (goute à goutte) et le développement ont fait d'elle une culture précoce de décembre à juin.

Lancée à titre expérimental en 2001 sur 04 hectares avec 1200 Qx de production, la culture de la fraise a tôt fait de conquérir les agriculteurs de Jijel à tel point qu'à chaque campagne on enregistre une augmentation en superficie et en production, en 2010 la superficie était de 323 Ha pour 100.000 Qx et en 2018 la superficie de 415 Ha pour une production estimée à plus de 186.700 Qx. [55]

**1.6.2.3. Production de la fraise en Algérie**

Aujourd'hui, la production des fraises en Algérie est estimée à 700000 tonnes en 2017-2018. Cependant, les rendements et les productions les plus faibles sont enregistrés à fin des années 1990 avec 2000 à 5000 tonnes (rendement de 90 Q/Ha dans la région de l'est). Cette production a connu des fluctuations au fil du temps.

La production a considérablement augmentée au début des années 1990 pour stagner à partir de 1994 ; cette variation est fortement liée à celle des superficies cultivées.

La croissance de la production et la superficie ne sont remarquables qu'à partir de 2000. Suite à la mise en place de plan national de développement agricole « PNDA » [55][56].

**1.6.2.4 Variétés de fraises cultivées en Algérie**

En Algérie, 18 variétés hybrides de fraise à haut rendement sont cultivées sous serres. Parmi les variétés les plus repiquées dans toutes les régions productrices de fraises, nous avons : Tioga, Douglas, Chandler, Selva, Russicada, Condonga [57]. Dans la wilaya de Jijel, les variétés cultivées les plus dominantes sont : Sabrina, Camila, Camarosa, Nabila, Saint Andreas, Festival, Garda, Winterestar, Jaunica, Melissa et Marisol..... [55]

<b>Composants</b>	<b>Teneur moyenne (g/100g)</b>
Eau	90.95
Glucides	4.89
Fibres	2
Acides organiques	1.05
Protéines	0.67
Lipides	0.30
AG insaturés	0.198
AG saturés	0.015
Vitamine C	58.8
Glucose	1.99
Fructose	2.44
Saccharose	0.47
Acide Citrique	0.82*
Acide Malique	0.24*

**Tableau 1.7** Composition nutritionnelle de la fraise [58]

---

# **CHAPITRE II :**

## **Partie expérimentale**

---

**2.1. Introduction**

Dans ce chapitre, nous présenterons tout le matériel expérimental et toutes les méthodes Analyse pour la production de bioéthanol à partir de déchets organiques. ces méthodes En particulier:

- **Caractéristiques** des espèces de levure sélectionnées et leur impact sur le rendement.
- Développer des protocoles de fermentation et des méthodes analytiques pour démontrer le processus
- L'extraction doit être distillée En fin de fermentation, le bioéthanol est récupéré.
- Techniques analytiques utilisées pour caractériser le produit recherché.

**2.2. Matériels et produits utilisés****2.2.1. Matières végétales**

Nous avons utilisé deux types de déchets organiques pour mener cette étude, Nous avons récupéré déchets de pommes et de fraises des fermes de Willaya de Khenchela.



**Figure 2.1** Déchets des pommes et des fraises utilisés.

**2.2.2. Microorganismes utilisés pour la fermentation**

La levure de *Saccharomyces cerevisiae* a été utilisée pour la fermentation.

**2.3. Méthode expérimentales****2.3.1. Prétraitement**

Comme un prétraitement des déchets, les feuilles et les brindilles contenues dans les déchets sont retirées. Les pommes sont découpées et mixées. Les fraises sont dénoyautées et mixées. Ceci pour faciliter le processus de fermentation.



**Figure 2.2** Mélange de fraise après traitement.



**Figure 2.3** Mélange des pommes après traitement

**2.3.2. Fermentation des déchets**

Après développer des protocoles de fermentations, On a proposé de faire scinque essais, elles sont présentées dans le tableau suivant :



**Figure 2.4 Fermentation des pommes avec et sans levure.**



**Figure 2.5 Fermentation des fraises avec et sans levure**

N=° d'expérience	Masse végétale	Volume d'eau	Masse de Levure	Durée
1- pomme avec levure	2.3 kg	2.3 L	0	05/03/2023 20/03/2023
2 -pomme sans levure	2.3 kg	2.3 L	4.37 g	05/03/2023 20/03/2023
3 - fraise avec levur	3 kg	1 L	0	23/04/2023
4 - fraise sans levure	3 kg	1 L	4.37 g	05/05/2023

**Tableau 2.1** Essais de fermentations

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

### 2.3.3. Filtration

À la fin du processus de fermentation, l'extrait a été retiré pour être filtré afin de faciliter le processus de distillation du . Du papier filtre a été utilisé pour cette étape.



**Figure 2.6** Jus après fermentation



**Figure 2.7** Filtration des extraits.

### 2.3.4. Distillation

Après fermentation, le moût filtré est introduit dans le système de distillation. Dans ce cas, le type de distillation choisi est la distillation directe (non fractionnée), le système se compose de : ballon de 1000 ml, réchauffeur de ballon, colonne de séparation, condenseur droit, coude 45°, thermomètre , et un erlenmeyer pour recueillir le distillat.



Figure 2.8 Dispositifs utilisés pour la distillation.

## 2.4. Méthodes d'analyses

### 2.4.1. Spectrophotométrie d'absorption moléculaire UV visible

#### a. Définition

Un spectrophotomètre est un instrument permettant de réaliser une mesure spectrophotométrique.

Un spectromètre est un appareil qui permet d'effectuer une mesure spectrométrique de l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée ou sur une région donnée du spectre [59].

Selon la loi de Beer-Lambert, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration des substances en solution, à condition de se placer à la longueur d'onde à laquelle la substance absorbe les rayons lumineux. C'est pourquoi la longueur d'onde est réglée en fonction de la substance dont on veut connaître la concentration.

- D'après la loi de B er-Lambert, l'absorbance  $A_\lambda$  est fonction de la concentration  $C$  de la solution, du coefficient d'absorption molaire  $\epsilon_\lambda$  et de la longueur de solution   traverser  $L$ .

$$A_\lambda = -\log_{10} \frac{I}{I_0} = \epsilon_\lambda \cdot \ell \cdot c$$

Où  $\frac{I}{I_0}$  est la transmittance de la solution.

$$\varepsilon = K/2.033$$

**I** = intensité transmise

**I<sub>0</sub>** = intensité incidente

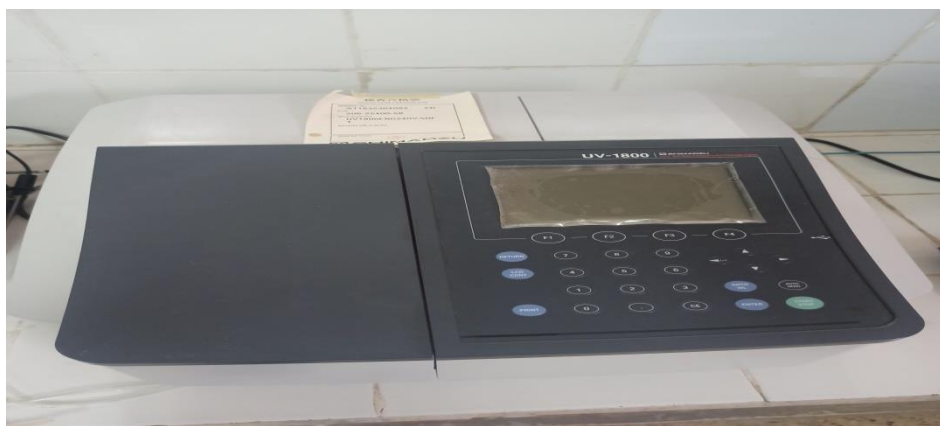
**C** = constante de la solution en soluté absorbable

**ℓ** = épaisseur de la solution traversée par le flux lumineux

**K** = constante de proportionnalité

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

- On remarque que  $A\lambda$  et  $\varepsilon\lambda$  sont fonction de la longueur d'onde de travail, elle est choisie en fonction des spectres d'absorbance.



**Figure 2. 9 :** Spectrophotomètre (Shimadzu UV 1800)

#### **2.4.2. 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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>.

Le domaine de signature des matériaux se situe entre ~1500 et 400 cm<sup>-1</sup>, 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. [60]



**Figure 2 10:** Spectromètre FT IR (PerkinElmer)

### 2.4.3. 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).



**Figure 11:** Réfractomètre

### 2.4.3.1 RÉFRACTION ET INDICE DE RÉFRACTION

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.

- **Indice de réfraction**

On appelle dioptré l'interface entre deux milieux d'indices optiques différents. Une vitre par exemple est constituée de deux dioptrés. Une lentille est aussi constituée de deux dioptrés non plans limitant une partie en verre... Les lois de Snell - Descartes indiquent ce que devient un rayon lumineux lorsqu'il traverse le dioptré 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  $\lambda$  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  $n_D^{20}$

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 :

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

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 [61]

Milieu	$n_D^2$
Eau	1,333
Acétone	1,359
Toluène	1,497
Diamant	2,418
Sel gemme NaCl	1,544
Verres	1,5 à 2
Éthanol	1,361

**Tableau 2.2 :** Quelques valeurs d'indice de réfraction de liquide et solide (61)

---

# **CHAPITER III :**

## **Résultat et discussion**

---

### 3.1. Introduction

Les résultats des différentes expériences présentées dans le chapitre précédent sont expliqués dans ce chapitre pour en déduire les paramètres nécessaires à l'obtention d'un rendement maximal en éthanol. En particulier, ces résultats impliquent notamment :

- Interprétation des spectres IR et UV.
- Caractérisation d'éthanol.
- Optimisation des paramètres.

### 3.2. Interprétation de résultats

#### 3.2.1. Résultats d'analyse infrarouge

En identifiant les différents spectres infrarouges de l'éthanol pur et du bioéthanol produit à partir de jus de pomme fermenté, on retrouve des bandes d'absorption communes. ( figure 3.1 / figure3.5 )

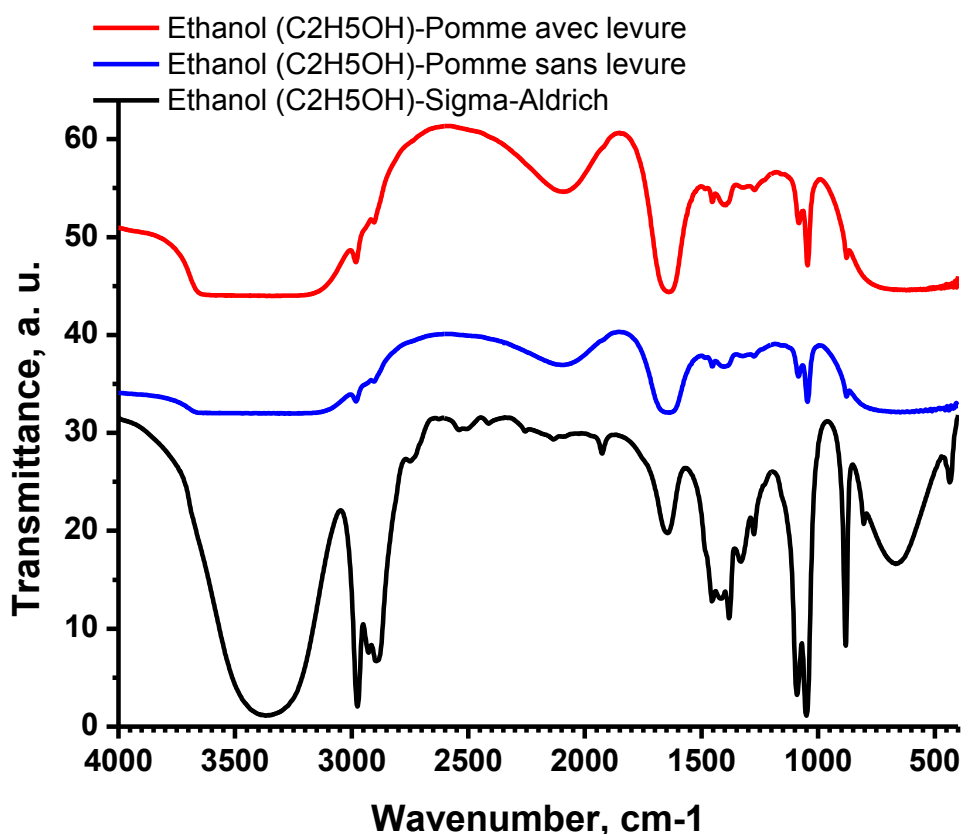


Figure 3.1 Comparaison des spectres infrarouge des différents produits pomme ( avec et sans levure et éthanol –sigma-aldrich ) .

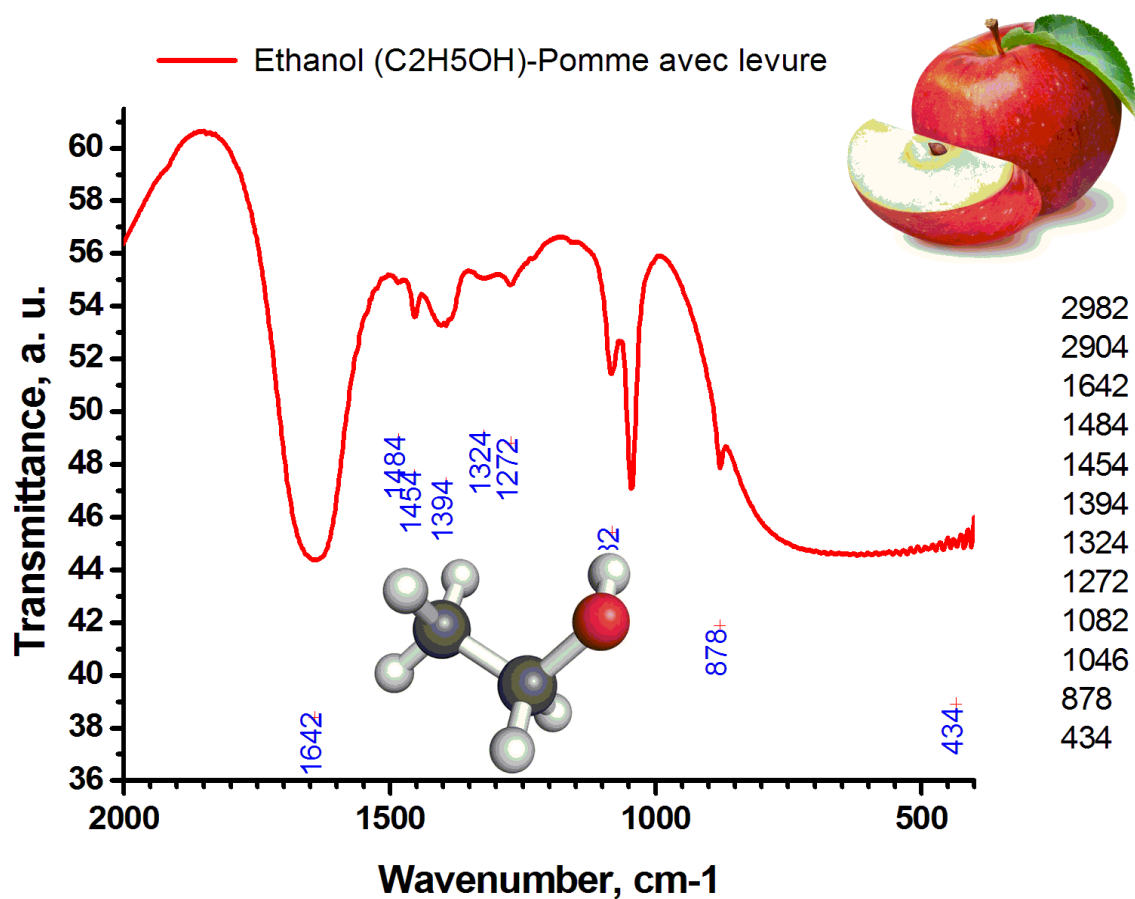


Figure 3.2. Spectre infrarouge de jus de pomme fermenté avec et levure (fait au laboratoire).

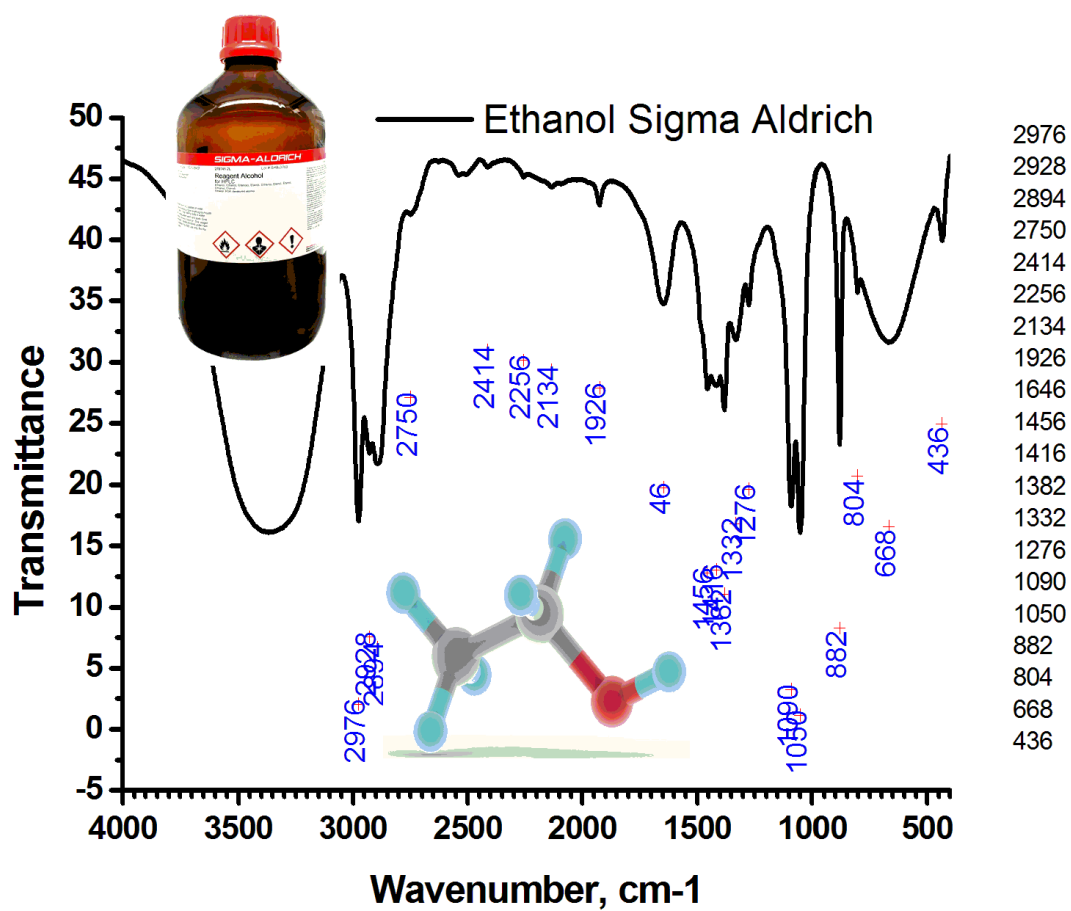


FIGURE 3.3. Spectre infrarouge de Ethanol sigma aldrich

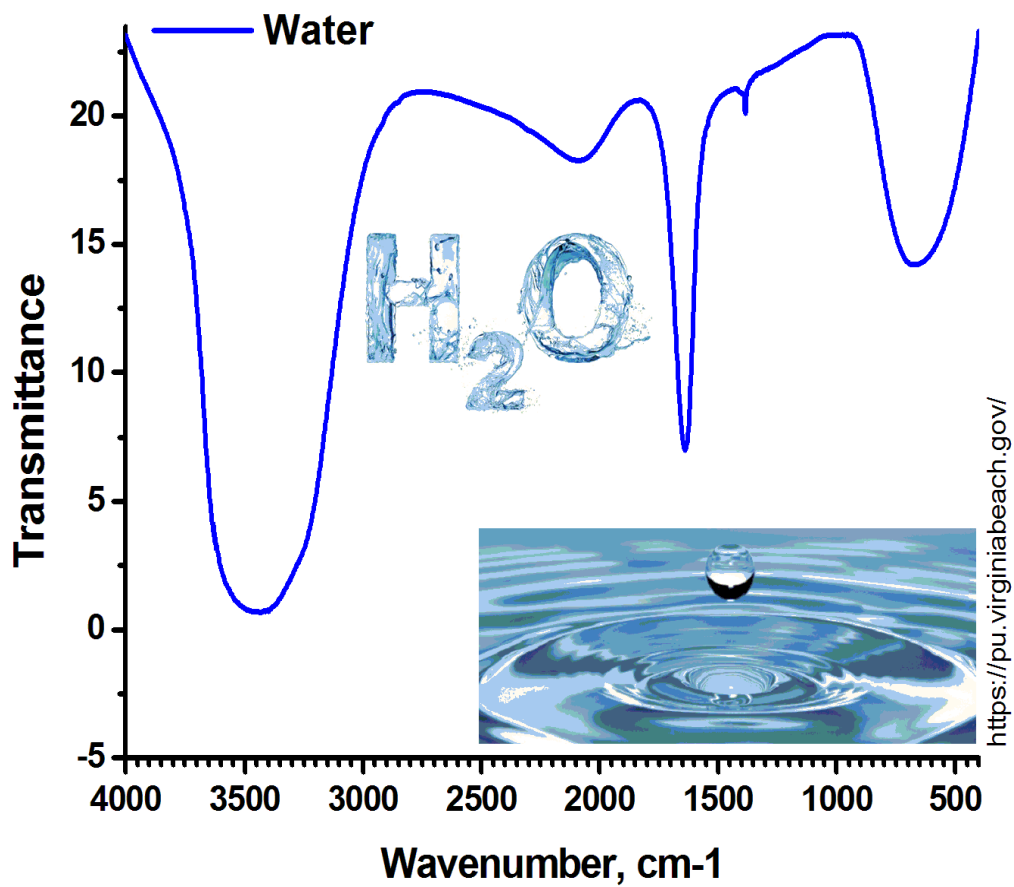


Figure 3.4. Spectre infrarouge de l'eau

### 3.5. Comparaison des spectres infrarouge des différents produits fraise

( avec et sans levure ).

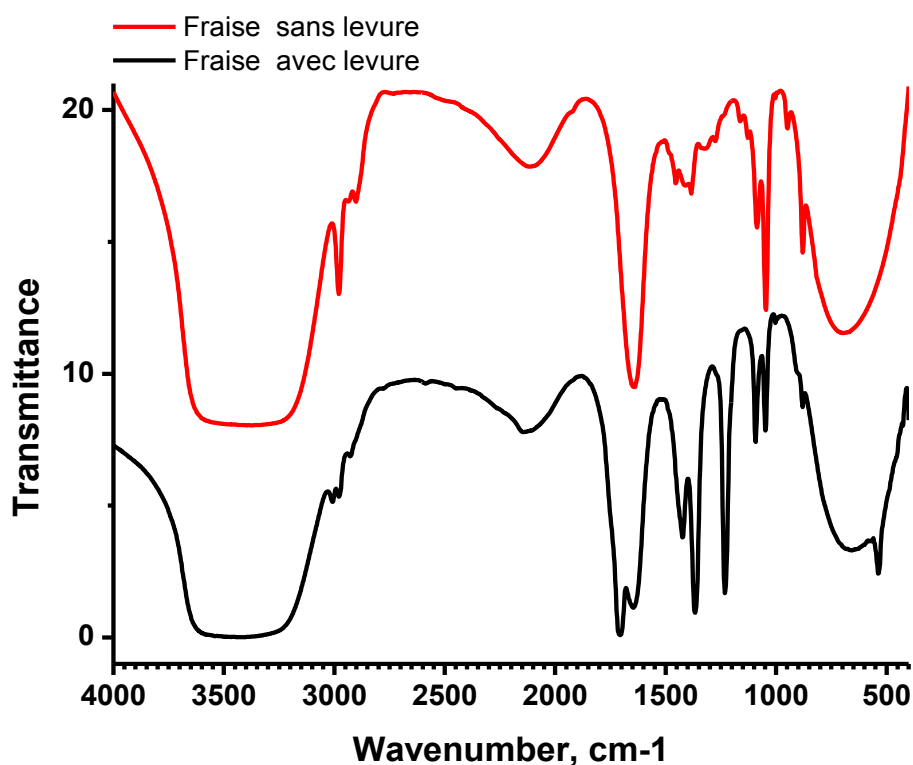


FIGURE 3.5. Comparaison des spectres infrarouge des différents produits fraise

cm <sup>-1</sup>	O-H	C-H	CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	C=O	C-O
<b>Ethanol</b>	3300-3620	2900-3000	1451	1731	1000
<b>Ethanol pomme sans levure</b>	- Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	1000
<b>Ethanol pomme avec levure</b>	- Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	1000

**Tableau 3.1** Principales bandes de vibration IR pour la pomme .

cm <sup>-1</sup>	O-H	C-H	CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	C=O	C-O
Ethanol	3300-3600	2900-3000	1451	1731	1000
Ethanol -fraise sans levure	Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	1000
Ethanol -fraise avec levure	Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	Disparition de la bande	1000

Tableau 3.2 Principales bandes de vibration IR pour Pomme .

3.2.2. Résultats d'analyse UV

Le graphique ci-dessous est obtenu a partir de l'appareil UV-Visible de laboratoire

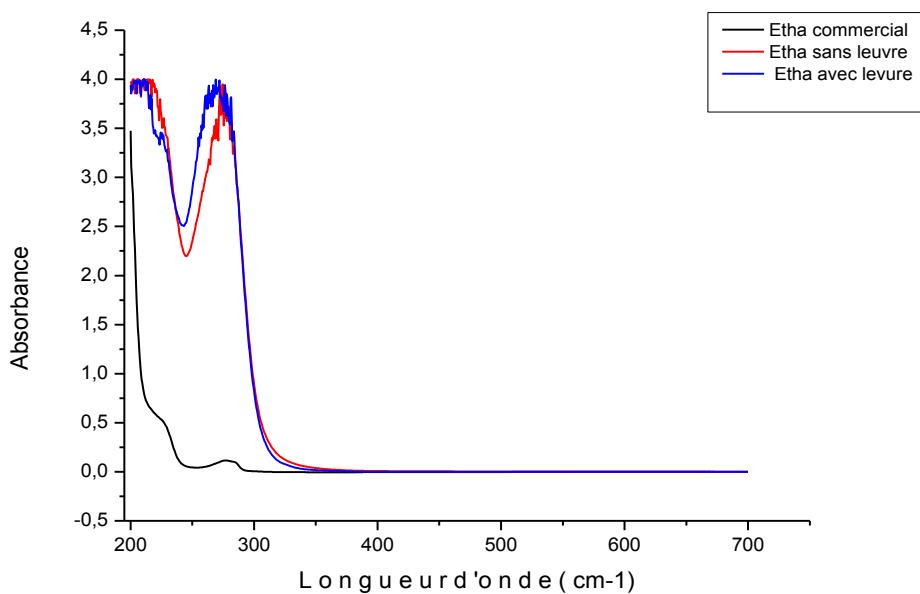


Figure 3.6 Évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de pomme.

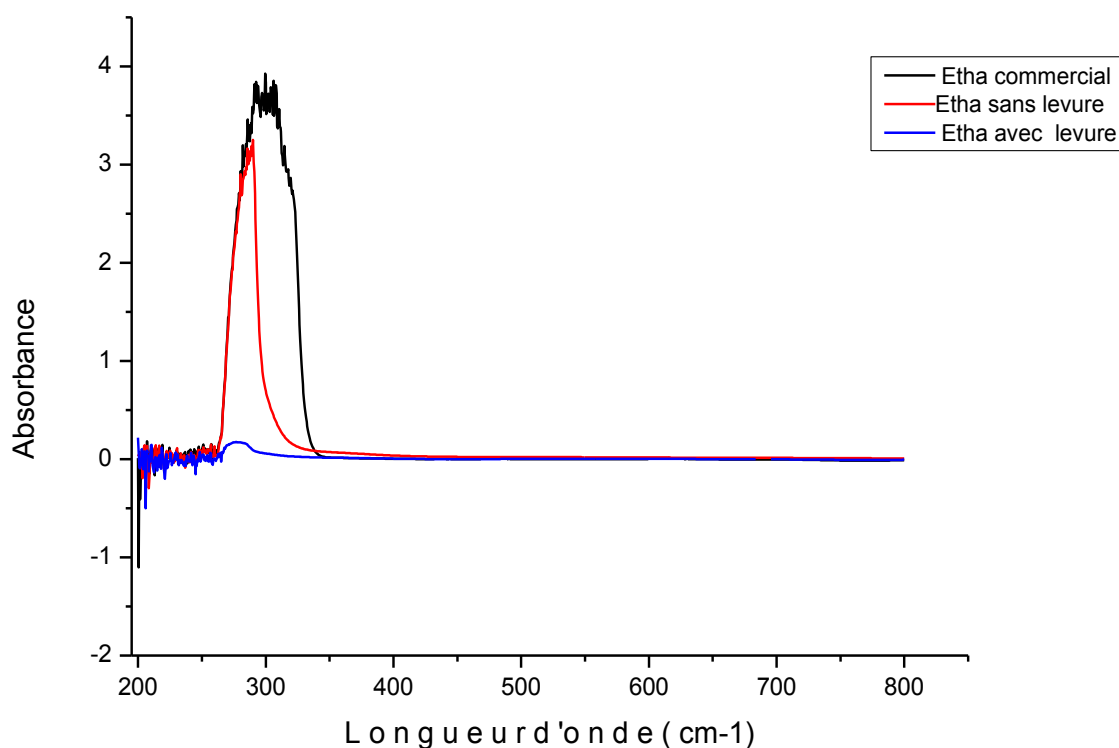


Figure 3.7 Évolution de l'absorbance en fonction la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de fraise

D'après (figure.3.3), tout le bioéthanol produit à partir de jus de pomme fermenté avec et sans levure est donné le spectre diffère peu du spectre de l'éthanol de référence avec une forte absorption à unLa longueur d'onde est d'environ 289 nm.De même, pour le bioéthanol produit à partir de jus de fraise (Figure 3.4), les deux donnent

L'absorption était satisfaisante en les comparant à l'éthanol de référence.

### 3.3. Caractérisation de bioéthanol

#### 3.3.1. Indice de réfraction

Pour réaliser la séparation des deux liquides, la méthode la plus efficace était la distillation fractionnée. Un pourcentage d'éthanol qui est préféré peut être acquis.

Pour garantir sa pureté, la vérification de l'indice de réfraction peut être une méthode efficace.Pour déterminer la concentration d'alcool, un tableau a été construit avec les résultats

de divers tests. En mesurant l'indice de réfraction, le pourcentage d'éthanol issu de la distillation peut être déterminé. Après dilution, le pourcentage d'éthanol varie.

Volume d'alcool (ml)	Indice de réfraction d'éthanol de				
	Pomme avec levure	Pomme sans levure	Fraise avec levure	Fraise sans levure	Commercial
60	1.3533	1.3498	1.3953	1.3935	1.363

Tableau 3.3 : l'indice de réfraction en fonction du pourcentage volumique de bioéthanol dilué.

### 3.3.1. 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 3.8** Flamme de l'éthanol extrait de pomme.



**Figure 3.9** Flamme de l'éthanol extrait de fraise.

**3.4. Conclusion**

L'objectif de nos travaux est d'optimiser et de valoriser le bioéthanol à partir de deux fruits (pomme et fraise) produit dans les régions de Bouhmama et skikda selon un procédé de fermentation Alcoolisé à des degrés divers en présence de levure (*Saccharomyces cerevisiae*), le résultat On a constaté qu'un pourcentage volumique de 60 % de bioéthanol était obtenu.

Les propriétés physico-chimiques du bioéthanol produit sont très proches de celles du En référence à l'éthanol, ils ont aussi l'avantage d'être un produit 100% bio, donc Protéger l'environnement sans détruire l'écologie.

---

# CONCLUSIONS GÉNÉRALES

---

### **Conclusions générales**

Rien de plus logique que de produire de l'énergie à partir de déchets riches en matière organique renouvelable (biomasse), qui constituent de nouvelles matières premières pour de nombreuses industries. Valoriser la biomasse par des procédés biotechnologiques Représente une solution de choix car elle contribue à éliminer les pollutions auxquelles l'environnement est soumis et peut produire des substances à haute valeur ajoutée en contribuant au développement industriel et agricole du pays. Face à tout cela, une attention particulière doit être portée à une meilleure gestion des déchets organiques, notamment des sous-produits des résidus agricoles (fruits, pommes, pêches, bananes, fraises, etc.) et les utiliser pour produire des matériaux plus gros.

Dans le présent travail, des déchets de pommes et de fraise ont été utilisés comme matière première pour la production de bioéthanol. Notre choix de pommes à la fois dans notre Wilayat et Bouhmama est justifié car c'est notre première culture maraîchère En termes de superficie et de production, une grande partie est réservée à l'alimentation. Nous pensons qu'il est logique de produire de l'éthanol à partir de déchets de pommes.

Le bioéthanol est le résultat de la fermentation, car nous produisons de l'éthanol de manière simple, écologique et économique, nous avons obtenu de bons résultats dans la qualité, le rendement élevé et la courte durée du bioéthanol. Ce sera amusant de rechercher et de prendre ce projet simple et de lui donner vie, car nous avons beaucoup de déchets de pommes extraits dans notre état.

Enfin, la filière éthanol est considérée comme une source d'énergie alternative éligible aux énergies renouvelables. Cette source d'énergie pourrait contribuer à répondre à la forte dépendance du secteur des transports aux produits pétroliers, dont l'impact environnemental a été dénoncé par la communauté internationale. Cette source d'énergie alternative ouvre la voie à de nouvelles voies.

---

## **Références Bibliographiques**

---

### Références Bibliographiques

- [1] Société Chimique de France (SCF) : <http://www.societechimiquedefrance.fr/ethanol>
- [2] [https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEdcGy9aXxQPfgh9JSGGUH1RHtLUjg:1686391446357&q=Formule+chimique+de+1%27%C3%A9thanol&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwib0PLYubj\\_AhX8\\_7sIHVifAnYQ0pQJegQIDhAB&biw=1366&bih=625&dpr=1](https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEdcGy9aXxQPfgh9JSGGUH1RHtLUjg:1686391446357&q=Formule+chimique+de+1%27%C3%A9thanol&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwib0PLYubj_AhX8_7sIHVifAnYQ0pQJegQIDhAB&biw=1366&bih=625&dpr=1)
- [3] INRS2007 : institut national de la recherche et de la santé, 2007.
- [4] Fiche toxicologique n°48. Édition novembre 2019
- [5] ] Didderen I., Destain J., Thonart P., 2008. Procédés de bioconversion en éthanol. In : Le bioéthanol de seconde génération. La production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. Gembloux, Belgique. Les Presses Agronomiques de Gembloux, pages 21-56.
- [6] 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. [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_48](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_48)
- [7] [https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEddxk02e-btTT4Xk6wHGq03XWZBJ3A:1686392009696&q=Figure+1.2+:Rapport+sur+le+march%C3%A9+du+bio%C3%A9thanol+%7C+Taille,+part,+croissance+et+tendances+\(2023-28\)&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiRh8Llu7j\\_AhXF\\_7sIHRaRCFM00pQJegQICBAB](https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEddxk02e-btTT4Xk6wHGq03XWZBJ3A:1686392009696&q=Figure+1.2+:Rapport+sur+le+march%C3%A9+du+bio%C3%A9thanol+%7C+Taille,+part,+croissance+et+tendances+(2023-28)&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiRh8Llu7j_AhXF_7sIHRaRCFM00pQJegQICBAB)
- [8] Renard, C. M. G. C. et al. (2001) 'Interactions between apple cell walls and native apple polyphenols: Quantification and some consequences', International Journal of Biological Macromolecules, 29(2), pp. 115–125.
- [9] Sims, R., Taylor, M., Saddler, J., Mabee, W., 2008. From 1st-to 2nd-generation biofuel technologies: An overview of current industry and RD&D activities, International Energy Agency. Paris, France, pp. 120.

## *Références Bibliographiques*

---

[10] Akbi A., 2013. Les implications du développement des biocarburants. Thèse de doctorat, Ecole doctorale 513 Droit Et Sciences Politiques,Économiques et de Gestion Nice, paris, 229 pages.

[11] [https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEdd0AyRvkwIFsFb3mJd--syggY3Dwg:1686392691940&q=.+Fili%C3%A8res+de+production+de+biocarburants+de+trouisi%C3%A8me+g%C3%A9n%C3%A9ration&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiU7eqqvrj\\_AhXz\\_7sIHcpwAmMQ0pQJegQIChAB&biw=1366&bih=625&dpr=1](https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEdd0AyRvkwIFsFb3mJd--syggY3Dwg:1686392691940&q=.+Fili%C3%A8res+de+production+de+biocarburants+de+trouisi%C3%A8me+g%C3%A9n%C3%A9ration&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiU7eqqvrj_AhXz_7sIHcpwAmMQ0pQJegQIChAB&biw=1366&bih=625&dpr=1)

[12] Touati Lounis,2013 :Valorisation des grignons d'olive Etude de cas: Essai de alorisation en Biocarburant', magister .

[13] Zosime de Panopolis (trad. du grec ancien), LES ALCHIMISTES GRECS, ZOSIME DE PANOPOLIS, Mémoires authentiques (textes établi et traduit par Michèle Mertens), Paris, Les Belles Lettres, 2002, 299 p

[14]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.

[15] Le bioéthanol une source d'énergie pour l'avenir, par Paul.ISNARDON ET Sébastien.CAMBRON

<https://sites.google.com/site/tpebioethanolavenir05/>

[16] Le bioéthanol une source d'énergie pour l'avenir, par Paul.ISNARDON ET Sébastien.CAMBRON

<https://sites.google.com/site/tpebioethanolavenir05/>

[17] Kaidi F., Touzi A., 2001.production du bioéthanol à partir des déchets de dattes. Revue Energie Renouvelable. : Production et Valorisation – Biomasse, pages 75-78

[18]FromentinF., Dauriat A., Lucas H., Marchaud D., Sarlos G., 2000.Caractérisation de filière de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. Revue l'office

[ 19] Ould el hadj M., Cheick M., hamdi W., Sayah Z., Bouaziz S., 2012. Étude comparative de la production d'éthanol brut à partir de trois variétés de dattes communes (dégela Beida, tacherwit et hamraya) réparties dans les différentes

## *Références Bibliographiques*

---

- [20] (© 2019 Parlons sciences. Source de l'image : NEUROtiker via [Wikimedia Commons](#)).
- [21] Maîtrise de la fermentation alcoolique sous stress éthanolique, 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, classes de dattes (molle, demi-molle et sèche) de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional est algérien).revue Algerian journal of arid environment, Vol. 2, n° 2, pages 78-87.
- [22] 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-fed-batch-and-continuous-processes/>
- [23] « 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://dveloppementhumaindurabledelalgie.files.wordpress.com/2016/03/rc3a9sumc3a9s.pdf>
- [24] Baert J-P., 1999. Agroalimentaire. Techniques de l'ingénieur. F100: Vol. Génie des Procédés.
- [25] « 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://dveloppementhumaindurabledelalgie.files.wordpress.com/2016/03/rc3a9sumc3a9s.pdf>
- [26] "Valorisation de la mélasse de canne à sucre (raffinerie groupe Berrahel) pour la production du bioéthanol", 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://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/13565/valorisation%20de%20la%20m%C3%A9lasse%20de%20canne%20a%20sucre%20pour%20la%20production%20du%20bio%C3%A9thanol.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## *Références Bibliographiques*

---

- [27] Généralités sur la levure <https://www.africmemoire.com/part.7-chap-i-a-generalites-sur-la-levure-37.html>
- [28] (Fromentin. F, 2000) :Caractérisation de Filière de production de bioéthanol dans le contexte helvétique. Revue l'officeFédérale de l'énergie, no69809, 120pages. FIGURE [14]  
La levure de boulanger débuté par Dominique 17/02/2013  
<https://forum.mikroskopia.com/topic/12658-la-levure-de-boulangier/>
- [29] 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 ,177pages
- [30] La levure de boulanger débuté par Dominique 17/02/2013  
<https://forum.mikroskopia.com/topic/12658-la-levure-de-boulangier/>
- [31] 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 partirde matières premières agricoles. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France. 294 pages
- [32] 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>
- [33] 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](file:///C:/Users/pc/Downloads/Tsp1.3-0a%20crs%20distillation%20VI%20(3).pdf)
- [34] La distillation par Basil.Bédud 2018 <https://docplayer.fr/>
- [35] (Manyri L. ) Analyse automatique d'images de populations microbiennes. Thèse de Doctorat, Institut National des sciences Appliquées de Toulouse, France, (2005).
- [36] Grisales Palacio V.H. Modélisation et commande floues de type Takagi-Sugeno appliquées à un bioprocédé de traitement des eaux usées. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, (2007).

## *Références Bibliographiques*

---

- [37] Queinnec I. Contribution à la commande de procédés biotechnologiques : application au traitement biologique de la pollution. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, (2000).
- [38] Demeyer A., Jacob F., Jay M., Menguy G., Perrier J. La conversion bioénergétique du rayonnement solaire et les biotechnologies. Edition Technique & Documentation, Paris, pp.187-212 (1982).
- [39] Fiche méthode de distillation fractionnée principe et dispositifs expérimentales  
[file:///C:/Users/pc/Downloads/Fiche%20m%C3%A9thode%20distillation%20fractionn%C3%A9e%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Fiche%20m%C3%A9thode%20distillation%20fractionn%C3%A9e%20(1).pdf)
- [40] 44FAO, 2007 «Production mondiale du pommier», Organisation Mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2p
- [41] MADR, 2013 «Statistiques Agricoles», bulletin du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 3p.
- [42] Guide des différentes variétés de pommes  
<https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/guide-varietes-pommes-pommiers,1468.html>
- [43] Ferree, D. and Warrington, I. (2015) Apples Botany, Production and Uses, Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015.
- [44] USAD (2018) Fresh Deciduous Fruit : World Markets and Trade (Apples, Grapes & Pears .).
- [45] Nacional, C. and Alimentación, D. (2009) Tablas Peruanas De Composición De Alimentos
- [46] Sites.google.com
- [47] Belitz, H. D. and Grosch, W. (2009) Food Chemistry Berlin Allemagne: Springer Verlag.
- [48] Renard, C. M. G. C. et al. (2001) 'Interactions between apple cell walls and native apple polyphenols: Quantification and some consequences', International Journal of Biological Macromolecules, 29(2), pp. 115–125

## *Références Bibliographiques*

---

- [49 ] 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.
- [50] Nicolas, J. J. et al. (1994) ‘Enzymatic browning reactions in apple and apple
- [51] Belitz, H. D. and Grosch, W. (2009) Food Chemistry Berlin Allemagne: Springer Verlag.
- [52] (<https://www.horizons.dz/production-de-pommes-khenchela-premiere-wilaya-a-lechelle-nationale/> )
- [53] (<http://www.cawjjel.org/fr/agriculteur/312-la-fraise-a-jijel> )
- [54][https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEdfKn34CyhrbXv7mu98rwRTxS\\_18MQ:1686310707398&q=fraise+en+Alg%C3%A9rie&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjL0Mf1jLb\\_AhWVgv0HHfpYCDUQ0pQJegQIChAB&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgrc=uUHFT2Er\\_vpyiuM](https://www.google.com/search?sxsrf=APwXEdfKn34CyhrbXv7mu98rwRTxS_18MQ:1686310707398&q=fraise+en+Alg%C3%A9rie&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjL0Mf1jLb_AhWVgv0HHfpYCDUQ0pQJegQIChAB&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgrc=uUHFT2Er_vpyiuM)
- [55] -DSA., 2018 : DIRECTION DE SECTEUR D’AGRICOL.
- [56] -CAW., 2018: CHAMBRE D’AGRICULTURE DE LA WILAYA DE JIJEL.
- [57] -DSA., 2013: DIRECTION DE SECTEUR D’AGRICOL.
- [58] (Sources: USDA, 2016 ; \*CICUAL ANSES 2013).
- [59] Cf. G. Bruhat (2005), Optique, sixième édition, Dunod : Spectrophotométrie.
- [60] W.S. Lau, Infrared characterization for microelectronics, World Scientific, 1999
- [61] LE RÉFRACTOMÈTRE 10/05/2004 AUTEUR(S) / AUTRICE(S) : Edith Florentin  
Responsable du site Culture Sciences Chimie Publié par : Gabrielle Bonnet

## Résumé

La production de pommes et de fraises occupe une place importante dans l'agriculture algérienne, dont une partie (déchets) . Nous avons proposé de valoriser cette dernière par des transformations afin d'en faire un nouveau produit présentant un grand intérêt industriel et économique ainsi qu'un caractère biologique réduisant la pollution et une source d'énergie alternative. A cet effet nous avons tenté de produire du bioéthanol par fermentation alcoolique des déchets de pomme et d'abricot produits dans la région de l'Auresse à l'est algérien et dans la province de Jijel, première région productrice de deux fruits en Algérie. L'optimisation des paramètres influençant le rendement en éthanol est prise en compte.

## Abstract

Apple and strawberry production ranks high in Algerian agriculture, part of it (waste) remains. We have proposed to enhance this latter by transformations in order to produce a new product that has a great industrial and economic interest as well as has an organic character which reduces pollution and an alternative energy source. To this end we have tried to produce bioethanol by alcoholic fermentation of apple and apricot waste produced in the Aurès region in eastern Algeria and Jijel Province , the first producing region of two fruits in Algeria. The optimization of the parameters influencing the ethanol yield is taken into account.

## ملخص:

يحتل إنتاج التفاح و الفراولة مكانة كبيرة في الزراعة الجزائرية تحديد في منطقة الإوراس ولاية خنشلة و ولاية جيجل ، و نظرا لكون جزء كبير من هذا الانتاج نفايات (بقايا فاسدة). اقترحنا حل للاستفادة من هذه النفايات من خلال تحويلها الى منتج جديد له فائدة صناعية و اقتصادية كبيرة وكذلك له طابع عضوي يقلل من التلوث و مصدر بديل لطاقة . لتحقيق هذه الغاية ،حاولنا إنتاج الايثانول الحيوي عن طريق التخمير الكحولي لنفايات التفاح و الفراولة المنتجة من ولاية خنشلة تحديدا في بلدية بوحمامة (التفاح) و ولاية جيجل (الفراولة).مع مراعاة تحسين العوامل التي تؤثر على كمية مردود الايثانول .

كلمات مفتاحية: التخمير الكحولي, الايثانول الحيوي , عضوي, نفايات .