

# 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 و التكنولوجيا  
قسم: الهندسة الصناعية

## Mémoire de Master

No. Réf. : ...../...../2021

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

Réalisé par :

GUERRAOUI Nadjat

IDIR Thiziri

Thème

## Production de bioéthanol à partir des déchets organiques -Optimisation des paramètres-

Soutenu le ...../07/2021 devant la commission d'examen composée de :

Pr.	BENOUNIS Messaoud	Président
Dr.	TOUATI Amina	Directeur du Mémoire
Mme.	REDJIL Souhila	Examineur

# *Dédicace*

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à mes parents  
(Mekkia et Tahar),*

*À mes sœurs (Dalila, Nazihia, Hadjer) et mes frères (Salah,  
Abderrezak, Abdelghani, Abdelkrim, Abdelhamid).*

*À mes chers amis Anissa, Iman et Houda, ainsi qu'à toute la  
promotion de génie des procédés 2020/2021*

*Je dédier ce travail spécialement à ma chère DR. TOUATI.  
Amina*

*Nadjat*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :  
A ma petite adorable famille.....mon mari Walid  
Mes deux poussins ..... Sidali et Anes  
A celles qui m'ont arrosé de tendresse et d'espoir....Ma mère et  
ma belle mère  
A mon support dans ma vie, qui m'a appris, m'a supporté et m'a  
dirigé vers la gloire.....papa*

*A mes chères sœurs et belles sœurs  
A toutes les personnes de ma grande famille  
A toutes mes meilleures amies*

*Thiriri*

---

# *Remerciements*

*Nous tenons tout d'abord à remercier le Dieu tout puissant de nous avoir aidés à réaliser ce discret travail. Nos remerciements s'adressent à Monsieur le Professeur **BENOUNIS Massaoud** pour nous avoir accueillies au sein du Laboratoire (LCIP) nous remercions très chaleureusement notre encadreur **Dr.TOUATI Amina** qui a ménagée l'effort pour que ce mémoire puisse voir le jour. Nous l'exprimons notre gratitude de nous avoir dirigée, encouragée et surtout aidé afin de réaliser ce travail.*

*Nous remercions également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail :*

- Pr. BENOUNIS.Massaoud*
- Dr. TOUATI.Amina*
- Dr.REDJIL.Souhila*

*Remercions tous les enseignants du Génie des procédés de l'université Abbes LAGHROUR Khenchla. Nous sommes reconnaissantes à toute l'équipe du Laboratoire LCIP qui s'est toujours intéressée à notre travail qu'elle a agrémenté de conseils judicieux et très appréciés. Nous tenons finalement à exprimer nos profonds sentiments pour les personnes qui nous aident gentiment à prendre les bonnes décisions toute au long de réalisation de ce travail.*

*Nadjat et thiziri*

# Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	XII
<i>Chapitre 01</i> .....	<i>1</i>
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE .....	1
1.1. Introduction .....	1
1.2. Éthanol .....	1
1.2.1. Généralité .....	1
1.2.2. Caractéristiques de l'éthanol.....	1
1.3. Bioéthanol.....	3
1.3.1. Production mondiale de bioéthanol .....	3
1.3.2. Générations de bioéthanol .....	4
1.3.3. Avantages et Inconvénients du bioéthanol.....	5
1.3.4. Domaines d'utilisation du bioéthanol.....	5
1.3.5. Avenir de bioéthanol.....	6
1.4. Fermentation alcoolique .....	8
1.4.1. Types de fermentation .....	9
1.4.2. Micro-organismes utilisés dans la fermentation alcoolique .....	9
1.4.3. Paramètres influent sur la fermentation.....	12
1.5. Distillation .....	15
1.5.1. Définition .....	15
1.5.2. Principe .....	15
1.5.3. Types de distillation.....	16
1.6. Déchets agroalimentaire .....	17
1.6.1. Pomme.....	17
1.6.2 Abricot .....	19
<i>Chapitre 02</i> .....	<i>28</i>
MATÉRIELS ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES .....	28
2.1. Introduction .....	28
2.2. Matériels et produits utilisés.....	28
2.2.1. Matières végétales .....	28
2.2.2. Microorganismes utilisés pour la fermentation .....	29
2.3. Méthode expérimentales.....	29
2.3.1. Prétraitement.....	29
2.3.2. Fermentation des déchets .....	29

---

2.3.3. Filtration .....	31
2.3.4. Distillation.....	31
2.3.5. Identification de l'éthanol.....	32
2.4. Méthodes d'analyses.....	33
2.4.1. Spectrophotométrie d'absorption moléculaire UV visible.....	33
2.4.2. Spectrométrie moléculaire IR.....	38
2.4.3. Indice de réfraction .....	42
2.5. Fabrication de gel désinfectant .....	45
2.5.1. Produits et matériel nécessaire.....	45
2.5.2. Protocole.....	45
<i>Chapitre 03.....</i>	<i>47</i>
RÉSULTATS ET DISCUSSION .....	47
3.1. Introduction .....	47
3.2. Interprétation de résultats.....	48
3.2.1. Résultats d'analyse infrarouge .....	48
3.2.2. Résultats d'analyse UV .....	50
3.3. Caractérisation de bioéthanol.....	51
3.3.1. Indice de réfraction .....	51
3.3.2. Détermination de la densité <sup>[52]</sup> .....	53
3.3.3. pH.....	54
3.4. Comparaison entre le gel issus de bioéthanol et le gel issu d'éthanol .....	56
3.5. Conclusion .....	57
CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....	58

## Liste des figures

Figure 1.1 Formule chimique de l'éthanol.....	1
Figure 1.2 Production mondiale de bioéthanol (2012/2013).....	3
Figure 1.3 Évolution du marché mondial de bioéthanol en milliards de litre par année .	7
Figure 1.4 Évolution de l'utilisation des matières premières du bioéthanol .	7
Figure 1.5 Évolution de la production des matières premières du bioéthanol .	8
Figure 1.6 Représentation idéalisée d'une cellule de levure <sup>[14]</sup> .....	11
Figure 1.7 Effet de température de fermentation sur le rendement de l'éthanol .....	13
Figure 1.8 Effet de concentration de matière première (source de carbone) sur le rendement d'éthanol .	14
Figure 1.9 Effet de ph sur la production d'éthanol .....	14
Figure 1.10 Schéma représente le principe de distillation.....	15
Figure 1.11 Schéma représente le principe de distillation fractionnée.....	17
Figure 1.12 Fruits de pommes. ....	18
Figure 1.13 Coupe transversale d'une pomme .....	19
Figure 1.14 Fruits d'abricots.....	23
Figure 1.15 Coproduits d'abricot (la coque et l'amande).....	27
Figure 2.1 Déchets des pommes et des abricots utilisés.....	28
Figure 2.2 Mélange d'abricots après traitement.....	29
Figure 2.3 Mélange des pommes après traitement.....	29
Figure 2.4 Fermentation des abricots.....	30
Figure 2.5 Fermentation des pommes. ....	30
Figure 2.6 Jus après fermentation.....	31
Figure 2.7 Filtration des extraits. ....	31
Figure 2.8 Dispositifs utilisés pour la distillation. ....	32
Figure 2.9 Flamme de l'éthanol extrait d'abricot.....	32
Figure 2.10 Flamme de l'éthanol extrait de pomme. ....	32
Figure 2.11 Spectre électromagnétique de la lumière et domaine UV-visible.....	33
Figure 2.12 Principe d'une gamme d'étalonnage.....	36
Figure 2.13 Principe d'un étalonnage par ajouts dosés. ....	37
Figure 2.14 Spectrophotomètre mono faisceau-multi canal ou à barrette de diodes.....	38
Figure 2.15 Spectrophotomètre-UV utilisé pour l'analyse (Shimadzu uv 1800). ....	38
Figure 2.16 Spectre électromagnétique de la lumière et domaine IR.....	39
Figure 2.17 Schéma du spectrophotomètre à transformée de Fourier (IRFT) .....	40

---

Figure 2.18 Spectromètre IR utilisé pour l'analyse.....	41
Figure 2.19 Schéma de réfraction .....	42
Figure 2.20 Frontière limite à l'intérieur du prisme du fait de la réfraction .....	43
Figure 2.21 Réfractomètre utilisé pour l'analyse.....	44
Figure 3.1 Comparaison des spectres infrarouge des différents produits.....	48
Figure 3.2 Comparaison des spectres infrarouge de bioéthanol à partir de jus d'abricot.....	49
Figure 3.3 Évolution de l'absorbance en fonction la longueur d'onde pour le bioéthanol issu d'abricot. ....	50
Figure 3.4 Évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de pomme. ....	50
Figure 3.5 Évolution de l'indice de réfraction en fonction du pourcentage volumique de bioéthanol de jus d'abricot. ....	52
Figure 3.6 Évolution de l'indice de réfraction en fonction de pourcentage volumique de bioéthanol de jus de pomme sans levure.....	52
Figure 3.7 Évolution de pH en fonction de temps de fermentation. ....	54
Figure 3.8 Variation du volume de bioéthanol récupéré en fonction du pH. ....	55
Figure 2.22 Gel désinfectant fabriqué à partir d'éthanol issu de la pomme et l'éthanol commercial. ....	56



---

## Liste des tableaux

---

Tableau 1.1. Propriétés physico-chimiques de l'éthanol. ....	2
Tableau 1.2 Avantages et inconvénients du bioéthanol.....	5
Tableau 1.3 Teneur en sucres simples et pariétaux des pommes .....	19
Tableau 1.4 Pourcentage de lipides dans les pommes.....	20
Tableau 1.5 Concentrations des minéraux dans les pommes.....	21
Tableau 1.6 Évolution de la culture du pommier dans la willaya de Khenchela (1998-2008) .....	22
Tableau 1.7 Position systématique du <i>Prunus armeniaca</i> L. ....	24
Tableau 1.8 Caractères des vieilles variétés d'abricot.....	26
Tableau 1.9 Composition chimique des amandes d'abricot.....	27
Tableau 2.1 Essais de fermentations. ....	30
Tableau 3.1 Principales bandes de vibration IR pour la pomme (Annexe 2).....	49
Tableau 3.2 Principales bandes de vibration IR pour l'abricot (Annexe 2).....	49
Tableau 3.3 Indice de réfraction en fonction du pourcentage volumique de bioéthanol dilué.....	51
Tableau 3.4 Pourcentage volumique de bioéthanol dans les différents distillats récupérés suivant l'indice de réfraction [Annexe 5].....	53
Tableau 3.5 Caractérisation de bioéthanol. ....	53
Tableau 3.6 Variation du pH en fonction du temps de fermentation. ....	54
Tableau 3.7 Tableau récapitulatif des conditions et résultats du meilleur rendement en bioéthanol. ....	57
Annexe 2 Tableau 3.8 d'identification spectrométriques des molécules clés- la longueur d'onde. ....	61
Annexe 6 Tableau 3.9 de correspondance entre la densité et le degré d'alcool.....	64

---

## Listes des Acronymes et Symboles

<b>ETBE</b> : éther éthyle tertio butyle	<b>Mg<sup>2+</sup></b> : ion magnésium	<b>I</b> : intencité transmise
<b>ppm</b> : partie par million	<b>Fe<sup>2+</sup></b> : ion fer	<b>I<sub>0</sub></b> : intensité
<b>Mhl</b> : millions hectoliters	<b>Ca<sup>2+</sup></b> : ion calcium	<b>Exp</b> : exponentiel
<b>USA</b> :united states of America	<b>Mn<sup>2+</sup></b> : ion manganèse	<b>K</b> : constante de proportionnalité
<b>E85</b> : super éthanol	<b>Cl<sup>-</sup></b> : ion chlorure	<b>C</b> : constante de la solution en soluté absorbable
<b>SP95</b> : éthanol sans plomb	<b>mM</b> : milli mole	<b>L</b> : épaisseur de la solution traversée par le flux lumineux
<b>C</b> : carbone	<b>CO<sup>2+</sup></b> : ion cobalt	<b>Log</b> : logarithme
<b>H</b> : Hydrogène	<b>Cd<sup>2+</sup></b> : ion cadmium	<b>ε</b> : coefficient d'extinction de la molécule
<b>OH</b> : groupe hydroxyle	<b>Cr<sup>2+</sup></b> : ion cromium	<b>λ</b> : longueur d'ande
<b>°C</b> : degrés celsius	<b>I<sup>-</sup></b> : ion iodure	<b>A</b> : absorbance
<b>g/mol</b> : gramme par mol	<b>MO<sup>+</sup></b> : ion molybdène	<b>IR</b> : infrarouge
<b>kg/l</b> : kilogramme par litre	<b>Ni<sup>+</sup></b> : ion nickel	<b>Cm</b> : centimètre
<b>CO<sub>2</sub></b> : Dioxyde de carbone	<b>MM</b> : micromole	<b>hc/ λ</b> : énergie individuelle des photons
<b>Kj</b> : kilojoule	<b>H<sup>+</sup></b> : ion Hydrogène	<b>IRTF</b> : spectre infrarouge transformé de Fourier
<b>C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub></b> : glucose	<b>Qtx/ha</b> : quintaux par hectare	<b>P</b> : prisme
<b>CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH</b> : alcool	<b>mg/g</b> : milligramme par grame	<b>I</b> : incidence
<b>μm</b> : micrometer	<b>ha</b> : hectare	<b>m/s</b> : mètre par seconde
<b>K<sup>+</sup></b> : ion potassium	<b>Qtx</b> : quinteaux	<b>n</b> : indice de réfraction
<b>Zn<sup>2+</sup></b> : ion zinc	<b>Nm</b> : nanomètre	
<b>D</b> : densité	<b>C</b> : vitesse de lumière	
<b>m</b> : masse	<b>V</b> : vide	
<b>V</b> : volume	<b>ml</b> : millilitre	
	<b>g</b> : gramme	

---

<b>INRA</b> : institut national de la recherche agronomique	<b>t</b> : temps <b>h</b> : heure <b>Bio-MTBE</b> : methyl-tertio-butyl-ether	<b>B°</b> : degré d'alcool <b>Bio-DME</b> : Dimethylether <b>OMS</b> : organisation mondiale de santé
---	---	---

---

# 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.

Pendant longtemps, l'éthanol a été considéré comme une alternative appropriée aux combustibles fossiles. De plus, le bioéthanol n'est pas un produit pétrolier et peut être facilement fabriqué à partir de matières premières agricoles ou de déchets de fruits, ce qui en fait un produit chimique industriel approprié, et les méthodes chimiques traditionnelles de production d'éthanol ont divers effets néfastes sur l'environnement. De par leur valeur industrielle et économique, les biocarburants deviennent une alternative partout dans le monde. Ils ne représentent pas une menace pour l'environnement, et contribuent ainsi à réduire les gaz à effet de serre et à assurer la sécurité énergétique, ce qui a conduit à une augmentation de leur utilisation. 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 ces deux déchets 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
-

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.
-

# Chapitre 01

## PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

---

### 1.1. Introduction

La production d'éthanol par fermentation alcoolique de ressources agricoles riches en sucre ou en amidon est une source d'énergie alternative intéressante. Dans ce chapitre nous allons parler sur une étude bibliographique sur l'éthanol, la fermentation alcoolique, le procédé de distillation et la filière fruitière utilisée dans la production de l'éthanol.

### 1.2. Éthanol

#### 1.2.1. Généralité

L'éthanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), ou alcool éthylique, un composé organique dont lequel l'un de ses deux atomes de carbones (C) est lié à un groupe hydroxyle (-OH) et deux atomes d'hydrogène (H), et l'autre portant trois atomes d'hydrogène. L'éthanol est l'alcool le plus abondant et le plus connu. Soluble dans l'eau, il est présent dans toutes les boissons alcoolisées dont il ne faut pas abuser, car il a une action sur le système nerveux central.

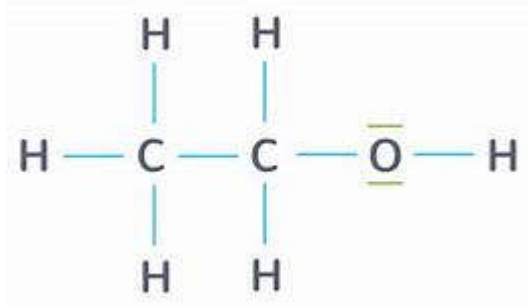


Figure 1.1 Formule chimique de l'éthanol.

#### 1.2.2. Caractéristiques de l'éthanol

##### 1.2.2.1. Utilisation de l'éthanol

- 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 (éthyle-*tert*-butyle-éther)...
- Constituant de carburants : le « bioéthanol », éthanol obtenu à partir de matières premières végétales, peut être utilisé seul ou avec de l'essence.
- Désinfectants, produit de protection.
- Composant de boissons alcoolisées <sup>[1]</sup>.

### 1.2.2.2. Propriétés physico-chimique de l'éthanol

- 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. 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 et il dissout de nombreuses matières plastiques.
- 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.
- 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. <sup>[1]</sup>

**Tableau 1.1.** Propriétés physico-chimiques de l'éthanol.

état physique	masse molaire	Apparence	Densité	Température d'ébullition	Température de fusion	Température d'allumage
liquide	46.069 g/mol	incolore	0.79 Kg/L	78 à 78.5 °C	-144.4 °C	420°C

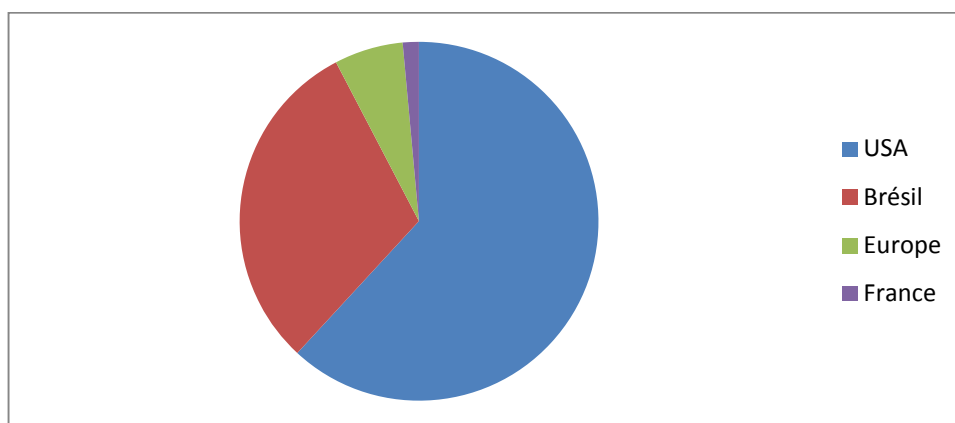
### 1.3. Bioéthanol

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. Produit principalement à partir de betteraves en France métropolitaine, de maïs aux États-Unis et de canne à sucre à La Réunion. À Saint-Pierre <sup>[3]</sup> 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 donc. Ce carburant se présente sous forme liquide bien entendu et est adapté pour les moteurs à essence <sup>[2]</sup>.

#### 1.3.1. Production mondiale de bioéthanol

Jusqu'à présent, le bioéthanol est le biocarburant le plus utilisé au monde. De plus, cela a été réalisé sous l'instigation du Brésil et des États-Unis. Après la première crise pétrolière de 1973, le Brésil et les États-Unis ont tenté de diversifier leurs sources d'énergie. Les deux pays se sont lancés dans un plan ambitieux de production de bioéthanol, conçu pour être mélangé à de l'essence utilisée dans les transports.

- La production mondiale de bioéthanol atteint près de 1033 MhL en 2013.
- Le Brésil et les États-Unis assurent à eux seuls les trois quarts de la production mondiale.
- Aux États-Unis, la production de bioéthanol est d'environ 500 MhL en 2013, contre 364 MhL, 5 ans plus tôt en 2008. Au Brésil ce sont près de 250 MhL qui ont été produits en 2013 (estimations) <sup>[3]</sup>.
- Au sein de l'Union Européenne la production 2012 de bioéthanol s'établit autour de 50 MhL. La France assure près de 25 % de cette production tandis que l'Allemagne, l'Espagne, la Pologne, la Suède, et la Hongrie produisent le reste <sup>[3]</sup>.



**Figure 1.2** Production mondiale de bioéthanol (2012/2013).



**États-Unis** : En 2019, les États-Unis deviendront le premier producteur mondial de bioéthanol. Leur production était de 6.21 millions de mètres cubes en 2001 et de 10,2 millions de mètres cubes en 2003, 10 % de la production américaine de maïs a été convertie aux biocarburants <sup>[3]</sup>.

**Brésil** : Le Brésil a été le premier exportateur d'huile verte ou de bioéthanol et un pionnier dans ce domaine, cet alcool de canne à sucre a été développé en 1973 et relancé en 2003 avec la commercialisation de véhicules poly carburants ou (flex-fuel). Le Brésil produit 17 milliards de litres d'éthanol par an et est en concurrence avec les États-Unis pour la position de premier producteur au monde <sup>[3]</sup>.

**Europe et France** : La France est le principal producteur de bioéthanol en Europe. Sur les 43 millions d'hectolitres d'essence produits en Europe en 2011, 12 MhL ont été produits sur le territoire français. Les céréales y produisent 58% de bioéthanol, la betterave en produit 38%et l'éthanol du vin 4%.

### **1.3.2. Générations de bioéthanol**

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

#### ***1.3.2.1. 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.

#### ***1.3.2.2. 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 <sup>[3]</sup>.

### 1.3.2.3. 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 physico-chimiques 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 CO<sub>2</sub>. Ces systèmes, de part leur caractère ouvert, sont très sensibles à la contamination<sup>[4]</sup>.

### 1.3.3. Avantages et Inconvénients du bioéthanol

**Tableau 1.2** Avantages et inconvénients du bioéthanol<sup>[5]</sup>.

Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
Diminution des émissions de dioxyde de carbone et meilleur Rendement énergétique des moteurs à explosion	Les véhicules utilisant l'E85 produisent des émissions plus élevées d'oxyde d'azote, d'éthylène et d'acétaldéhyde que les véhicules à essence	Biodégradable	Corrosion des pièces en contact avec
		Capacité énergétique inférieure à celle de l'essence (21285 kJ.kg <sup>-1</sup> pour l'éthanol contre 32020 kJ.kg <sup>-1</sup> pour l'essence)	Augmentation de la consommation volumique de carburant
Indice d'octane* élevé permettant une meilleure efficacité des moteurs à explosions	Indice de cétane** faible ne permettant pas son utilisation dans les moteurs à combustion interne sans l'ajout d'un accélérateur d'ignition	Diminution de la dépendance au pays producteurs de pétrole	Prix encore élevé
		Stimulation du milieu rural	Concurrence entre alimentation et énergie
Risque moins élevé de formation d'ozone que l'essence et le diesel	Émission d'acide acétique en cas de réaction entre le catalyseur et le carburant résiduel à l'échappement		

### 1.3.4. Domaines d'utilisation du bioéthanol

Le bioéthanol est également utilisé dans les cheminées « nouvelle génération » et dans plusieurs autres industries. En effet, il est présent dans les liqueurs, les boissons anisées, mais aussi dans les cosmétiques ou encore les médicaments, les vernis, les colles et les peinture. Le bioéthanol est indispensable dans la composition de nombreux produits alimentaires et non alimentaires. Il peut

avoir de nombreuses formes différentes : chaque application de cet alcool éthylique a son propre circuit de distillation. L'alcool brut est constitué d'eau, d'éthanol et de composés volatils que l'on appelle « non-alcools ». Ces derniers peuvent avoir un arôme et des saveurs inutiles pour certaines utilisations. Ils vont donc subir une purification afin de s'en débarrasser (c'est ce que l'on appelle le « surfinage » ou « rectification ») <sup>[6]</sup>. Cette opération consiste à séparer les impuretés de l'alcool brut grâce à plusieurs distillations successives dans des colonnes de rectification. Plus ce circuit est long, plus l'alcool est affiné. On obtient alors soit de l'alcool de surfin qui est utilisé dans la conception des liqueurs et boissons apéritives. Soit de l'alcool rectifié extra-neutre que l'on utilise pour fabriquer du vinaigre ou des solvants pour peintures, les vernis et les colles. L'alcool de surfin déshydraté est nécessaire pour concevoir des produits dans le domaine des cosmétiques, des parfums, ou encore des médicaments.

Le bioéthanol comme un carburant peut être utilisé de 3 manières :

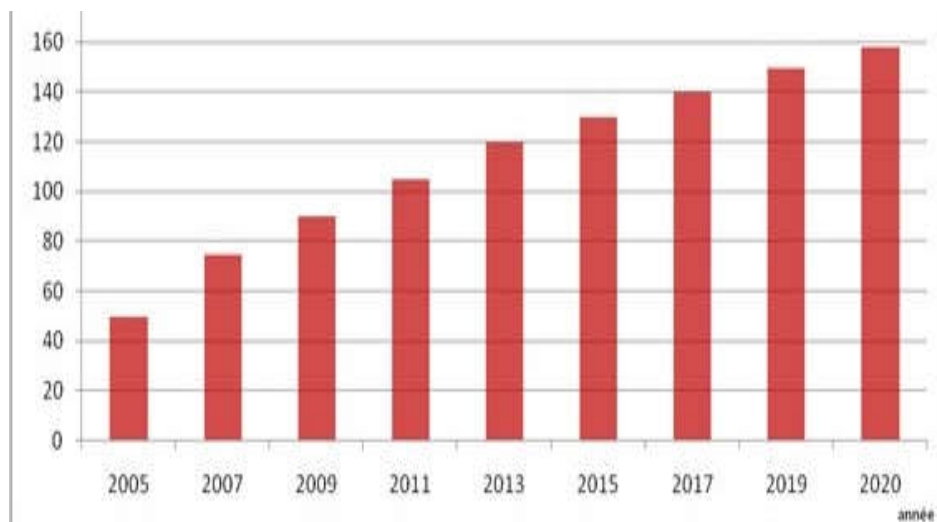
- Il peut être utilisé tel quel en étant mélangé à de l'essence classique à environ 10%.
- Il peut également être transformé en ETBE (Éthyle-Tertio-Butyle-Éther) qui est un dérivé pouvant être mélangé à une essence classique dans une proportion de 15%. Ce dérivé concerne la plus grande partie de production actuelle de bioéthanol mais il est aussi le plus polluant à produire <sup>[7]</sup>.
- Enfin, le bioéthanol peut être utilisé comme un carburant à part entière avec l'E-85 constitué de 85% de bioéthanol et 15% de SP95. C'est le plus écologique dans sa consommation car il produit beaucoup moins de dioxyde de carbone que les carburants classiques.

Cependant, ce carburant nécessite des véhicules spéciaux. IL s'agit des voitures « FlexFuel » qui peuvent rouler indifféremment avec tous la carburante « essence ».

### **1.3.5. Avenir de bioéthanol**

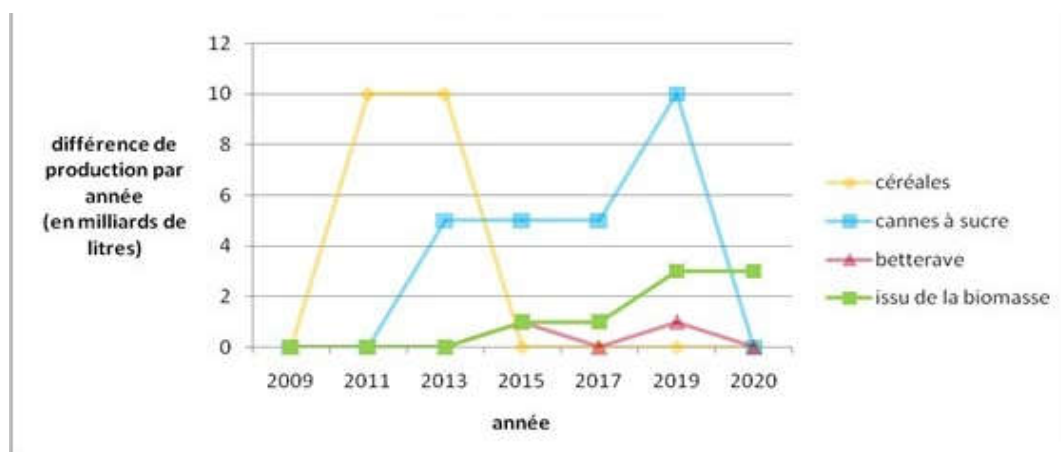
Comme tous les biocarburants, le bioéthanol est en constante évolution dans le monde. Du Brésil à la Suède, puis aux États-Unis, de nombreux pays ont décidé de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et de réduire leur dépendance au pétrole et aux autres énergies fossiles. L'Europe a deux objectifs 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 <sup>[7]</sup>.



**Figure 1.3** Évolution du marché mondial de bioéthanol en milliards de litre par année <sup>[7]</sup>.

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 <sup>[7]</sup>.



**Figure 1.4** Évolution de l'utilisation des matières premières du bioéthanol <sup>[7]</sup>.

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<sup>[7]</sup>.

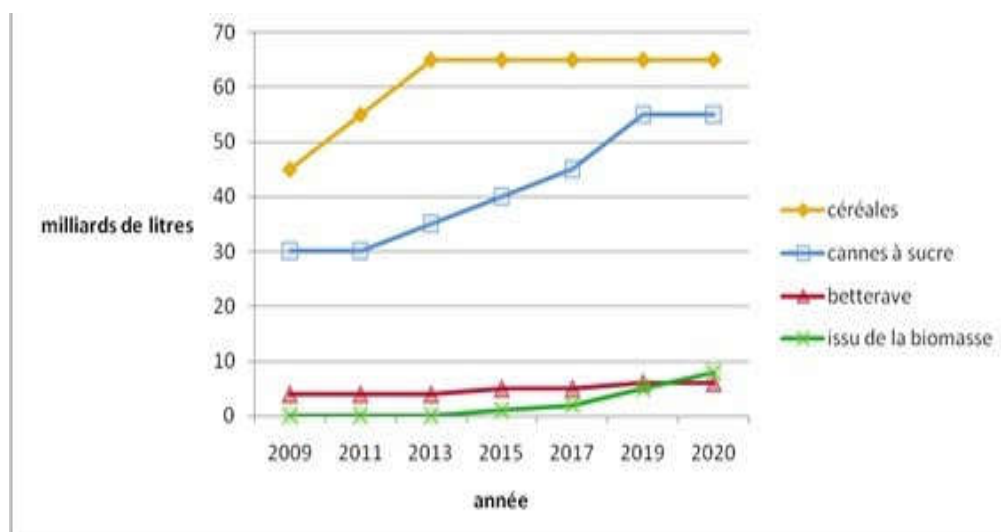
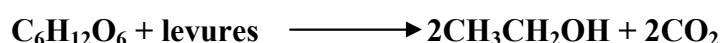


Figure 1.5 Évolution de la production des matières premières du bioéthanol<sup>[7]</sup>.

#### 1.4. 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<sup>[8]</sup>. En milieu anaérobie, la levure transforme le glucose en éthanol et dioxyde de carbone selon l'équation:



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.

## **1.4.1. Types de fermentation**

### ***1.4.1.1. Fermentation discontinue (batch)***

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.

### ***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 <sup>[9]</sup>.

### ***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 <sup>[10]</sup>.

## **1.4.2. 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.

### **1.4.2.1. 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 (*Xanthomonas*). 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* <sup>[11]</sup>.

### **1.4.2.2. 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 <sup>[11]</sup>.

### **1.4.2.3. 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 <sup>[28]</sup>. Ces sont les microorganismes les mieux adaptés à la production d'éthanol à partir de sucres fermentescibles tel le genre *Saccharomyces cerevisiae* et *Kluyveromyces marxianus* <sup>[11]</sup>.

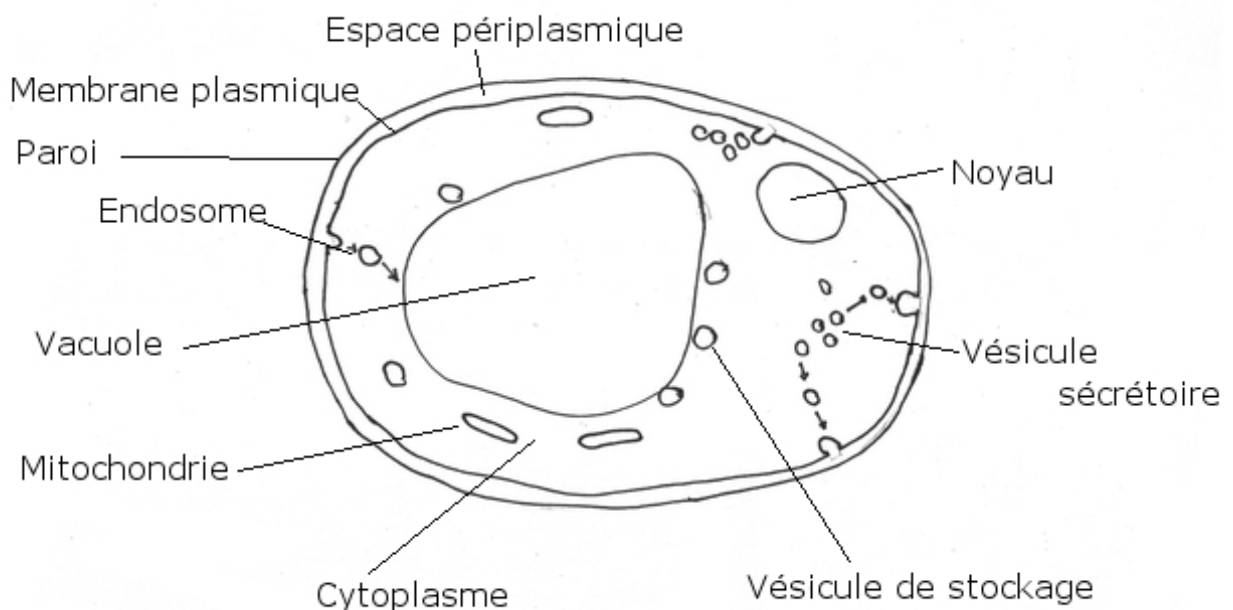
#### **a. Généralités sur la levure *Saccharomyces cerevisiae***

L'espèce *saccharomyces cerevisiae* est une levure c'est-à-dire un champignon unicellulaire microscopique. Ce champignon se présente sous forme sèche, en paillette ou en gélules <sup>[12]</sup>, C'est une sorte de micro-organisme, un type particulier des Ferment, levain, levure, etc. Utilisé depuis

l'Antiquité : Égyptiens, Les Babyloniens et les Celtiques qui l'utilisaient pour faire des boissons Fermentées, pain, kéfir, vin et bière de fermentation haute, Au milieu du 19ème siècle. La Paris Baker Company démarre la production industrielle Cherchaient un processus de fermentation plus fiable et plus rapide pour faire du pain au lieu de Leur pâte au levain traditionnelle. Ainsi, dans ces domaines, certains mélanges de différentes souches Connue sous le nom de "levure de boulanger" et "levure de bière".

### *b. Morphologie et structure*

Les levures sont des eucaryotes unicellulaires, ayant une forme sphérique ou ovale, largement étudiées en biologie cellulaire et moléculaire. Leur état physiologique et leur morphologie peuvent varier selon les conditions de l'environnement. Lorsqu'elles se trouvent dans des conditions favorables de culture (température, aération, pH, etc.) elles peuvent se diviser activement par bourgeonnement, Elles peuvent présenter deux modes de reproduction : végétative et sexuée. La taille d'une levure peut varier entre 1 et 9  $\mu\text{m}$  en longueur et de 1 à 5  $\mu\text{m}$  en largeur. Certaines cellules sont cylindriques et de grandes tailles jusqu' à 20  $\mu\text{m}$  de longueur ou plus <sup>[13]</sup>.



**Figure 1.6** Représentation idéalisée d'une cellule de levure <sup>[14]</sup>.

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

Le milieu de culture doit fournir tous les éléments nécessaires à la croissance et aux Besoins énergétiques. Ce dernier est principalement composé d'eau et d'élément suivants : carbone,



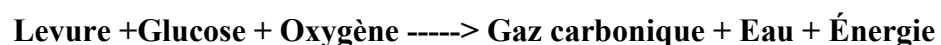
hydrogène, oxygène, azote. par conséquent, l'environnement doit fournir ces éléments Favoriser la croissance.

Les principales exigences pour la levure sont :

- Une source de carbone (le Carbone représente 50% du poids sec de la levure).
- de l'oxygène.
- une source d'azote (l'azote représente 10% du poids de la levure).
- des vitamines (acide pantothénique, acide nicotinique, pyridoxine, myo-inositol, thiamine et biotine)<sup>[33]</sup>.
- Des oligo-éléments (ions inorganiques), Il est possible de distinguer les macro-éléments:  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cl^-$  dont la concentration nécessaire varie entre 0,1 et 1 mM et les micro-éléments :  $Co^{2+}$ ,  $B^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^+$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $I^-$ ,  $Mo^+$ ,  $Ni^+$  pour lesquels une concentration de 0,1 à 100  $\mu M$  est suffisante<sup>[11]</sup>.

#### **d. Métabolisme**

*Saccharomyces cerevisiae* peut suivre deux voies métaboliques : voie Parcours aérobie et anaérobie. Cela lui permet de vivre dans des environnements différents. Dans des conditions aérobies, la levure utilise la respiration pour métaboliser les glucides en Carbone et eau selon la réaction suivante :



Pour la voie anaérobie, elle fermente les glucides et produit de l'éthanol et gaz carbonique selon la réaction suivante :



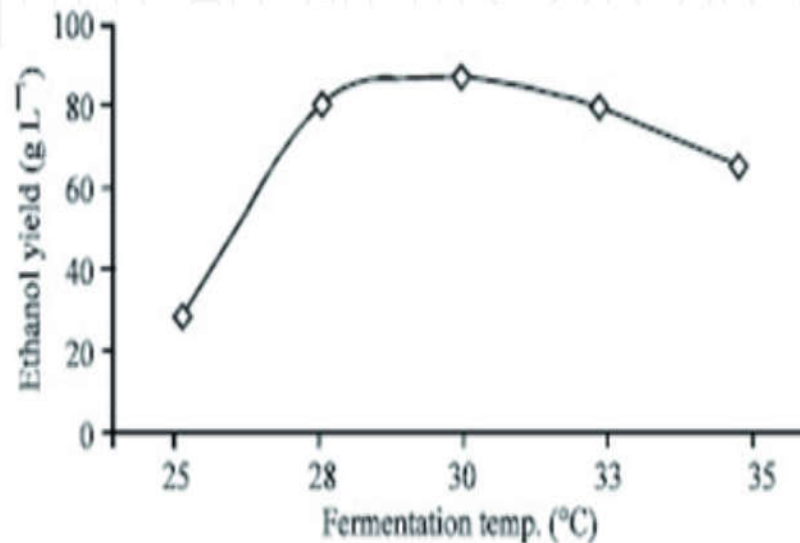
### **1.4.3. Paramètres influent sur la fermentation**

#### **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 1.7). 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 <sup>[15]</sup>.

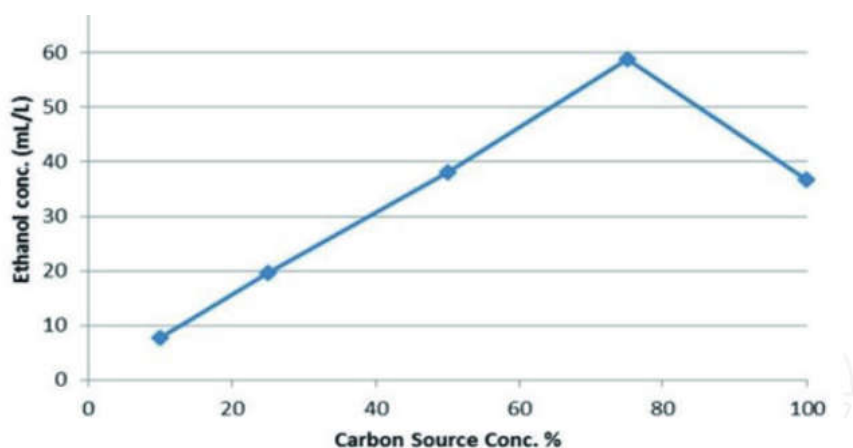
Alors qu'une température basse ralentit le taux de croissance des cellules, ce qui peut être dû à leur faible tolérance à l'éthanol à des températures plus basses <sup>[15]</sup>.



**Figure 1.7** Effet de température de fermentation sur le rendement de l'éthanol <sup>[15]</sup>.

#### **1.4.3.2. Concentration de matière première**

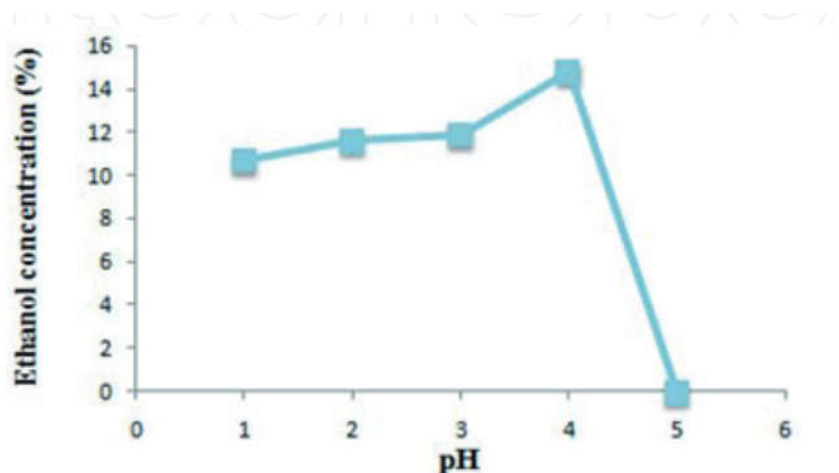
La matière première contient des nutriments pour la croissance des micro-organismes pendant le processus de fermentation. À une concentration élevée de matière première, la vitesse d'hydrolyse est accélérée car plus de composé est lié au site actif des enzymes. Avec un nombre fixe d'enzymes et une faible quantité de substrat, la diminution de la production d'éthanol est liée au site actif 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 <sup>[15]</sup>.



**Figure 1.8** Effet de concentration de matière première (source de carbone) sur le rendement d'éthanol <sup>[15]</sup>.

### 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 1.9). 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 6) <sup>[15]</sup>.



**Figure 1.9** Effet de pH sur la production d'éthanol <sup>[15]</sup>.

#### 1.4.3.4. 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 <sup>[15]</sup>.

### 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 <sup>[16]</sup>.

#### 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.

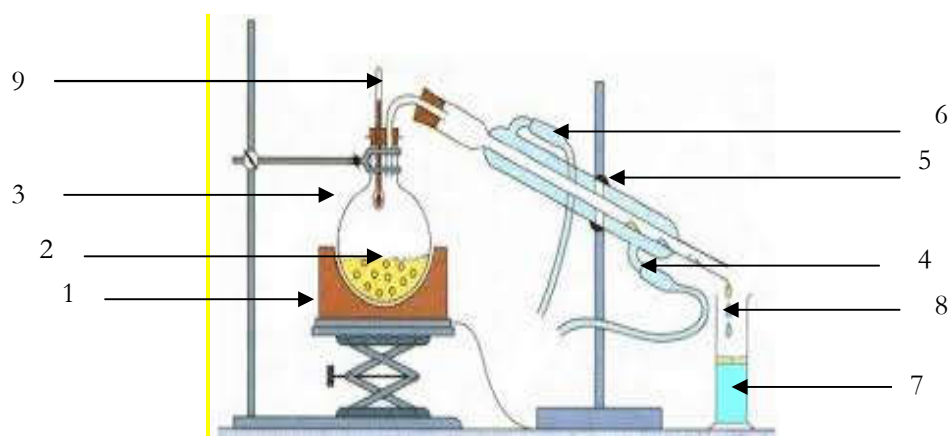


Figure 1.10 Schéma représente le principe de distillation <sup>[17]</sup>.

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 être effectuée selon plusieurs manières :

#### ***1.5.3.1. 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.

#### ***1.5.3.2. 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.

#### ***1.5.3.3. 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.

#### ***1.5.3.4. 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.

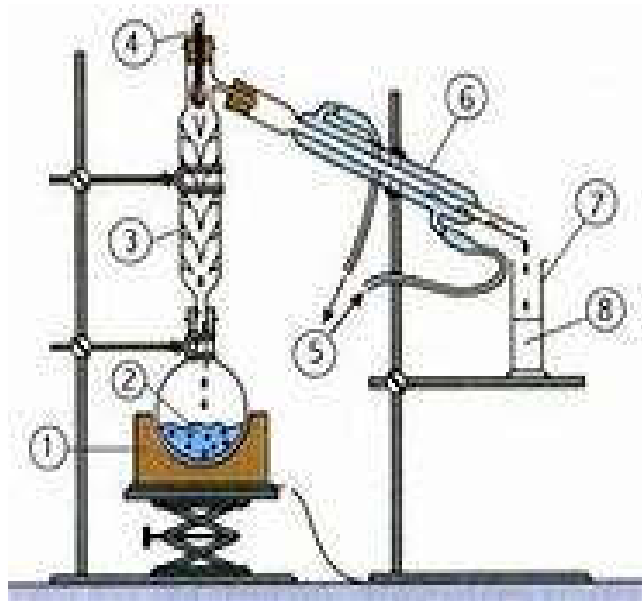


Figure 1.11 Schéma représente le principe de distillation fractionnée<sup>[18]</sup>.

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 <sup>[19]</sup>. En Algérie, les superficies du pommier sont importantes, avec des rendements encore faible avec une moyenne nationale 74,4 Qtx /ha en 2011 <sup>[20]</sup>. La qualité du pommier dépend des facteurs climatiques et les techniques culturales mises en place.



**Figure 1.12** Fruits de pommes <sup>[25]</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 attitudes 30° et 60° Nord, et 25° et 45° Sud <sup>[21]</sup>. 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<sup>[22]</sup>. 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 <sup>[23]</sup>. Cette composition biochimique est principalement liée à la variété, la maturité, et aux conditions agronomiques et climatiques.

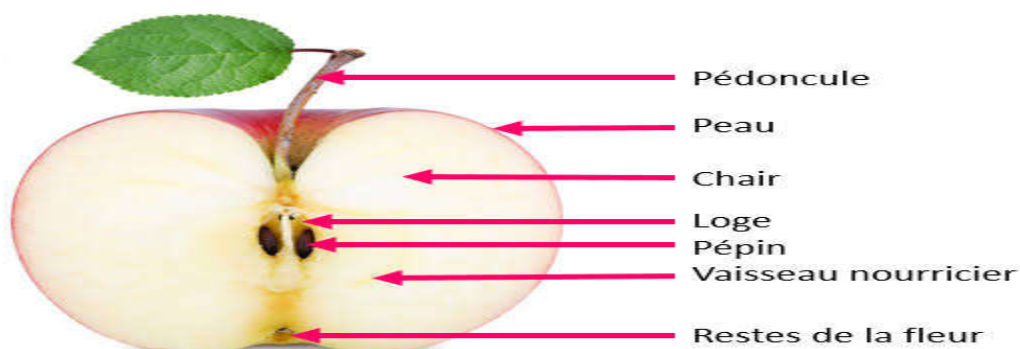


Figure 1.13 Coupe transversale d'une pomme <sup>[24]</sup>.

#### 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 <sup>[26]</sup> Les polysaccharides comportent de la cellulose, de l'hémicellulose, et des pectines.

Tableau 1.3 Teneur en sucres simples et pariétaux des pommes <sup>[27]</sup>.

Concentration		concentration	
Glucose	1.8	Arabinose	109
Fructose	5.6	Rhamnose	12
Saccharose	2.6	Fucose	8.5
		Galactose	71.5
		Glucose	288
		Mannose	21
		Xylose	57
		Acide Galacturonique	227

\*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 <sup>[28]</sup>. Outre l'acide malique, des acides citrique, succinique, citramalique, shikimique, glycérique, glyoxylique, isocitrique, glycolique, lactique, et galacturonique sont présents dans le jus de pommes. Trois cétoacides différents ont été trouvés : l'acide oxaloacétique, l'acide pyruvique et l'acide céto glutarique. Cependant, ces acides ne représentent qu'une petite 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 appartiennent à deux catégories : les acides phénoliques et les flavonoïdes. L'acide caféoylquinique est présent à des concentrations relativement élevées dans la peau et la chair de la plupart des variétés de pomme. L'oxydation de l'acide chlorogénique, désignant l'acide 5'-caféoylquinique, est principalement responsable du brunissement du jus de pomme et du cidre <sup>[29]</sup>.

### *d. Lipides*

- Les fruits ont généralement une faible teneur en lipides, environ 0,1 à 0,5% du poids frais.
- Des niveaux élevés de lipides sont généralement détectés dans les graines de fruits.

**Tableau 1.4** Pourcentage de lipides dans les pommes <sup>[26]</sup>.

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

### *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 <sup>[26]</sup>.

### *f. Minéraux*

Les minéraux appelés nutriments inorganiques se retrouvent dans tous les fruits. Le cation et l'anion les plus importants sont respectivement le potassium et le phosphore. D'autres éléments comme le sodium, le calcium et le fer sont aussi présents à des concentrations moindres (voir tableau 1.5).

**Tableau 1.5** Concentrations des minéraux dans les pommes <sup>[26]</sup>.

	<b>mg/100g matière sèche</b>		<b>mg/100 g matière sèche</b>
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

#### **1.6.1.4. Évolution de la culture du pommier en Algérie <sup>[30]</sup>**

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

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

Les vergers de pommier sont localisés principalement à Bouhmama, Kais, Checher, El-hamma et Babar. A la fin de la campagne 1998/1999 la superficie occupée par la culture du pommier était 821 ha et la production durant cette année est de 38,377Qtx Depuis le lancement du programme national du développement agricole (P.N.D.A), les superficies plantées en pommier dans la wilaya de Khenchela ont connu une augmentation considérable, elles sont passées de 2598ha en 2002 à 5810 ha en 2008, mais le rendement reste toujours faible et irrégulier 90Qtx/ha en 2007.

**Tableau 1.6** Évolution de la culture du pommier dans la willaya de Khenchela (1998-2008) <sup>[30]</sup>.

Année	total	Superficie en Ha	Production en QX	Rendement QX/Ha
1998-1999	811	480	38377	78
1999-2000	1022	521	35974	69.04
2000-2001	1518	563	56137	99.71
2001-2002	2087	730	56847	78
2002-2003	2598	793	90375	114
2003-2004	4304	990	94420	95.4
2004-2005	5352	1349	132280	98.1
2005-2006	5660	1584	225329	142.3
2006-2007	5605	1992	177877	89.3
2007-2008	5810	2452	220680	90

Pour les zones de principales de production de pommes dans la willaya de Khenchela Bouhmama, Kais, Checher, El-hamma, Babar et Ain Touila, la superficie totale en rapport pour la campagne (2007-2008) est de 856Ha ,cette dernière pour les mêmes zones a augmenté à 1016Ha pour la campagne (2007-2008)à 74745 QX pendant la campagne d'étude 2008-2009 pour les mêmes zones de production <sup>[30]</sup>.

Cependant l'extension de cette spéculation a permis l'installation de certains ravageurs spécifiques diminuant ainsi le rendements et la qualité des fruits produits ,en plus de ces problèmes plusieurs autres facteurs influencent négativement la production ,nous citons en particulier l'installation des cultures intercalaires ,une pratique archaïque de la taille , l'utilisation d'un système d'irrigation traditionnel ne répondant pas aux besoins en eau très élevés de la culture dont la superficie ont beaucoup augmenté ces dernières années.

## 1.6.2. Abricot

### 1.6.2.1. Introduction

En Algérie, l'abricotier possède une place privilégiée dans la vie des agriculteurs, vue la superficie qu'il occupe et son importance dans le marché national, Les vergers d'abricotiers, constituent l'une des meilleures richesses de l'Algérie, notamment dans la région des Aurès (la wilaya de Batna particulièrement), qui constitue l'une des régions les plus productives. En effet, elle occupe la première place à l'échelle nationale <sup>[31]</sup>.

L'augmentation de 2008 à 2011 des surfaces arboricoles en abricotiers en Algérie, grâce aux différents plans nationaux de développement agricole successifs (PNDA), notamment au niveau du Hodna, entraîne une accumulation des sous-produits engendrés par l'agro-industrie au fur et à

mesure de la mise en production des jeunes vergers. De tels sous-produits correspondants à cette perte sont pourtant susceptibles de présenter un intérêt économique non négligeable. Par conséquent, il s'avère important de valoriser de tels déchets.

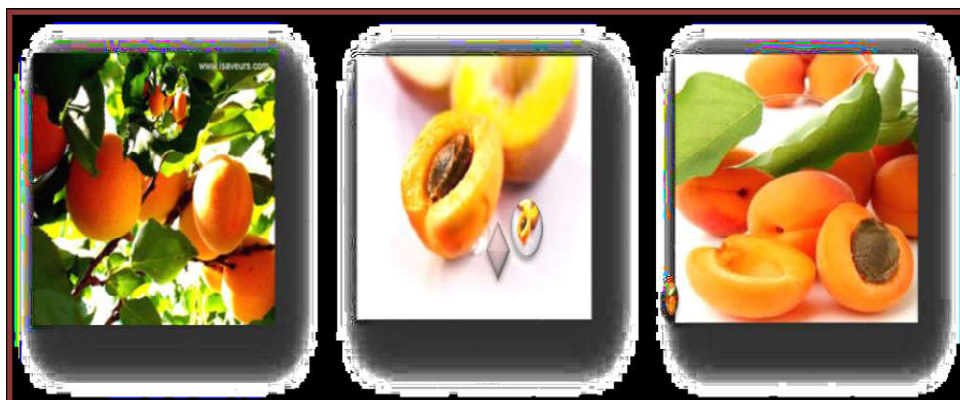
### **1.6.2.2. Histoire et origine**

L'abricot et la pêche sont les deux fruits à noyaux du genre *Prunus* originaires de l'Asie. Ce sont les Chinois qui, les premiers, l'ont domestiqué, il y a au moins 4000 ans.

De la Chine, l'abricot a gagné l'Inde puis l'Italie et la Grèce, en suivant la Route de la Soie, un siècle avant notre ère. En Afrique du nord et en France, il a été introduit aux environs du XV<sup>ème</sup> siècle<sup>[32]</sup>.

### **1.6.2.3. Description du fruit**

L'abricot est le fruit d'un arbre généralement de petite taille appelé abricotier, de la famille des Rosacées. Le nom scientifique de l'abricotier est : *Prunus armeniaca* (Prune d'Arménie).



**Figure 1.14** Fruits d'abricots<sup>[33]</sup>.

C'est un fruit charnu, une drupe, de forme arrondie, possédant un noyau dur contenant une seule grosse graine (Figure 1), ou amande. La chair est sucrée, peu juteuse, jaune orangée et ferme, la teneur en carotène ou pro vitamine A est élevée, c'est elle qui donne la couleur orangée et l'abricot est riche en pectines qui se gonflent facilement d'eau et qui lui confèrent son côté moelleux. L'abricot se sépare aisément en suivant le sillon médian<sup>[34]</sup>.

#### **a. Position systématique**

La position systématique du *Prunus armeniaca* L. est comme suit<sup>[35]</sup> :

**Tableau 1.7** Position systématique du *Prunus armeniaca* L.

Règne	<i>Plante</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Rosales</i>
Famille	Rosacée
Sous famille	<i>Prunoideae</i>
Genre	<i>Prunus</i>
Espèce	<i>armeniaca</i> L

### *b. Etymologie de l'abricot*

Le mot est passé du latin au français via le grec ancien, l'arabe et le catalan. Les Romains le nommaient *praecoquum*, c'est-à-dire « le fruit précoce ».

Les Arabes l'empruntèrent aux Grecs sous la forme (Al-barqouq) et les Catalans l'empruntèrent aux Arabes sous la forme *abercocen* agglutinant l'article défini au substantif. Le mot est passé en français au XV le siècle. Al-barqouq désigne aujourd'hui, au Maghreb, la prune, alors que l'abricot se dit "mechmech", mot d'origine persane. En arménien l'abricot est appelé "tsiran" depuis la nuit des temps <sup>[36]</sup>.

### **1.6.2.4. Production des abricots en Algérie**

L'Algérie avec une production, en 2009 de 202806 tonnes, qui correspond à 3,5% de la production mondiale, occupe la cinquième place mondiale. Malgré cette situation qui paraît favorable, la production algérienne d'abricots demeure faible par rapport au nombre d'abricotier existant et celui implanté récemment dans le cadre du fond de soutien destiné aux agriculteurs et encore loin d'atteindre celle enregistrée dans certains pays du monde <sup>[37]</sup>.

#### *a. Production de la région des Aurès*

Les Aurès et l'Algérois étaient les régions prépondérantes en matière de production d'abricot en Algérie et persistent très longtemps sans concurrent. La récolte d'abricot a atteint pour la saison 2010 un niveau record de 367 000 quintaux dans la wilaya de Batna. La production aurait pu être encore plus importante au vu des précipitations exceptionnelles enregistrées cette année si ce n'est l'apparition du «*Coryneum*», une maladie cryptogamique à laquelle l'abricot est très sensible, et les chutes de grêlons qui ont affecté certains vergers <sup>[45]</sup>.

Le prix élevé des traitements phytosanitaires et le manque de moyens des petits fellahs sont faits qu'une grande partie des agriculteurs touchés n'a pu lutter efficacement contre ce parasite, affirment des producteurs de la commune de Sefiane.

Selon des arboriculteurs près de cette localité, certains cultivateurs ne se sont même pas aperçus de l'infection de leur champ par le *Coryneum* qui commence par toucher les feuilles de l'arbre avant de s'étendre au fruit en cas de non-traitement. Cependant, ce parasite n'a affecté qu'un nombre limité de vergers. Ce qui permet de prévoir une récolte représentant plus du double de la production de la saison dernière, soit 149 000 quintaux avec, en prime, un fort accroissement des rendements de 120 quintaux à l'hectare contre 41 quintaux par hectare en 2010.

De plus, l'irrigation des vergers à partir de petits forages, selon des procédés traditionnels, constitue l'autre problème qui tarade les paysans de la région.

Ces derniers assurent que le devenir de ce patrimoine arboricole en pleine croissance est tributaire de la réalisation de seguias modernes pour acheminer l'eau du forage principal.

L'intervention de l'État, dans les années 1990, pour sauver la culture de l'abricot dans la wilaya de Batna, confrontée alors à plusieurs difficultés, avait donné lieu à la mobilisation de 1300 milliards de centimes ayant ciblé 2500 hectares des régions de N'gaous, de Sefiane et de Boumaguer pour la réalisation de forages, de bassins, de retenues et pour l'extension du réseau électrique. L'opération a permis de revitaliser la filière, dès le début de l'actuelle décennie. Une action d'autant plus opportune que les vergers d'abricotiers représentent le quart de la superficie consacrée à l'arboriculture fruitière dans la wilaya de Batna <sup>[37]</sup>.

A la fin de l'année 2012, la superficie destinée à L'abricotier est estimée à 4630.8 ha dont 4181.4 ha en rapport, la production estimée à cette même période est de 489548 quintaux. D'un point de vue d'extension, l'abricotier occupe la deuxième place après le figuier, suivi par le grenadier, le pommier et les agrumes <sup>[38]</sup>.

#### ***b. Variétés des abricots***

Il existe plus que 750 variétés d'abricots répertoriées dans le monde. Parmi ces variétés, citons les caractéristiques des plus connues dans le tableau suivant.

**Tableau 1.8** Caractères des vieilles variétés d'abricot <sup>[31]</sup>.

Variété	Caractères
Le Paviot	Gros à très gros fruit, conique, enflé sur les joues épiderme rouge orangé. Belle variété assez délicate pour le transport. Fruit obtenu d'un semis de Hâtif du Clos, en 1882, à Marcilly d'Arzegues Par M. Paviot.
Le Luizet	Fruit volumineux, de forme ovoïde allongée. Une peau légèrement duveteuse, jaune orange ponctuée de rouge pourpre, Juteux et sucré.
Le Bourbon	Fruit assez gros, peu parfumé. Maturation irrégulière, souvent fendu par la pluie.
Le Blanc Rosé (Poman Rosé)	Fruit moyen allongé, ovale conique, bien comprimé sur les joues, à dos caréné, assez peu arqué, suture centrale arquée. Épiderme jaune pâle, pourpré, carminé à l'insolation.

#### 1.6.2.5. Composition biochimique de l'amande d'abricot

Le noyau d'abricot présente une valeur nutritionnelle intéressante. Ils sont riche en lipides, en sont utilisés comme source d'huile excellente qualité et qui a des larges applications en industrie cosmétique. Des études montrent la possibilité d'utiliser l'huile de noyau d'abricot en industrie alimentaire.

En effet, une étude structurale des polysaccharides des graines de *P. armeniaca* a révélé la présence de mannose (50%), glucose (37,5%) et l'acide glucuronique (12,5%) <sup>[39]</sup>.

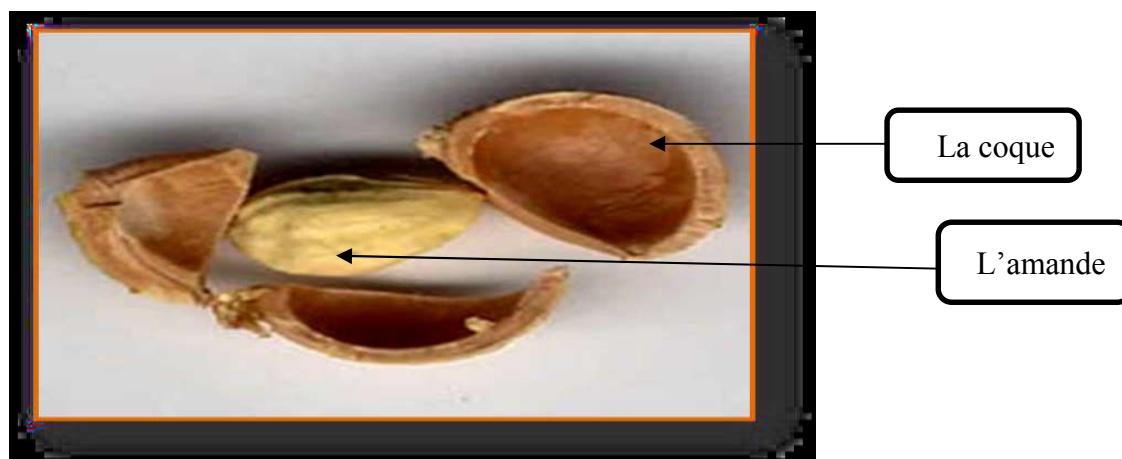
Les glucosides cyanogéniques sont connus dans de nombreuses plantes alimentaires, y compris l'abricot et libérer de l'acide cyanhydrique sur l'hydrolyse <sup>[40]</sup>. Donne un goût amer aux graines d'abricot de phénotype amer (*P. armeniaca* var. *Amara*) et produisent des effets nocifs.

Cependant, la consommation des graines contenant des glucosides cyanogéniques peut provoquer un certain degré d'intoxication principalement sur le système nerveux et la thyroïde. Dans une étude, il a également été constaté que les noyaux d'abricot amères contenu des niveaux plus élevés de composés cyanogènes dans les feuilles, les racines et des graines que celles à noyau tendre <sup>[41]</sup>. La surconsommation des graines contenant une grande quantité de l'amygdaline peut causer une toxicité aiguë ou chronique chez l'humain être et animaux <sup>[42]</sup>.

**Tableau 1.9** Composition chimique des amandes d'abricot <sup>[43]</sup>.

Constituent (%)	Nari	Halmas	Travet	Charmagzi
Huile	39.80±1.10	32.23±0.69	35.99±0.68	42.51±0.79
Humidité	5.04±0.13	5.54±0.13	6.43±0.14	4.11±0.09
Protéine	16.12±0.29	13.21±0.27	18.12±0.17	20.90±0.21
Cendre	2.11±0.04	2.92±0.05	3.89±0.07	3.40±0.07
Fibre	5.13±0.09	5.92±0.13	9.81±0.17	6.76±0.11

Les valeurs sont les moyennes ±SD de la détermination en triple. différentes lettres en exposant avec dans la même rangée indiquent des différences significatives parmi les variétés testées.

**Figure 1.15** Coproduits d'abricot (la coque et l'amande) <sup>[44]</sup>.



## Chapitre 02

# MATÉRIELS ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

---

### 2.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter tous les équipements expérimentaux et toutes les méthodes d'analyses utilisées pour produire du bioéthanol à partir de déchets organiques. Ces méthodes impliquent notamment :

- Les caractéristiques de l'espèce de levure sélectionnée et son effet sur le rendement.
- Développer des protocoles de fermentation et des méthodes analytiques pour prouver le processus.
- La distillation du mout extrait En fin de fermentation, pour récupérer le bioéthanol.
- Techniques analytiques utilisées pour caractériser le produit recherché.

### 2.2. Matériels et produits utilisés

#### 2.2.1. Matières végétales

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé deux types de bios déchets, Nous avons récupéré les déchets de pommes et d'abricots provenant de deux fermes de la zone de Bouhmama situées dans la willaya de Khenchela.



**Figure 2.1** Déchets des pommes et des abricots 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 mixés. Les abricots sont dénoyautés et mixés. Ceci pour faciliter le processus de fermentation.



**Figure 2.2** Mélange d'abricots 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 abricots.



**Figure 2.5** Fermentation des pommes.

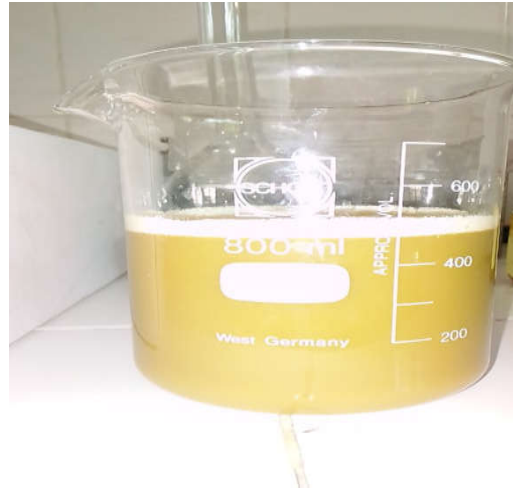
**Tableau 2.1** Essais de fermentations.

N <sup>o</sup> d'expérience	Masse végétale	Volume d'eau	Masse levure	de	Durée
1	7 kg pomme	7 l	0 g		14/05/2021 21/05/2021
2	7 kg pomme	7 l	70 g		14/05/2021 21/05/2021
3	1.5 kg abricot	1.5 l	0 g		11/06/2021 14/06/2021
4	1.5 kg abricot	1.5 l	29 g		11/06/2021 14/06/2021
5	1.5 kg abricot	1.5 l	60 g		11/06/2021 14/06/2021

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

### 2.3.3. Filtration

Une fois le processus de fermentation terminé, l'extrait a été prélevé pour être filtré, ceci pour faciliter le processus de distillation. Du papier filtre a été utilisé pour réaliser cette étape.



**Figure 2.6** Jus après fermentation.



**Figure 2.7** Filtration des extraits.

### 2.3.4. Distillation

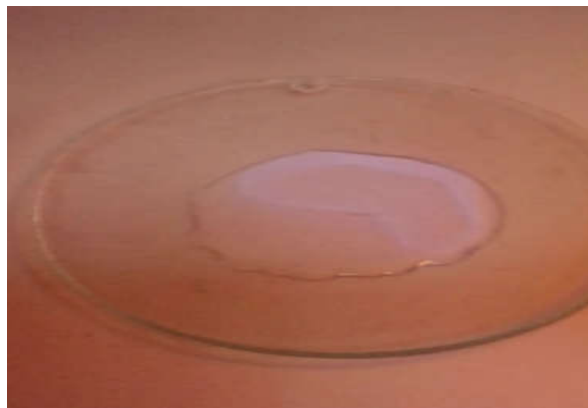
Après fermentation, le mout filtré est placé dans un système de distillation. Dans ce cas le type de distillation choisit est une distillation simple (non fractionnée), le système comporte : un ballon de 1000 ml, un chauffe ballon, une colonne de séparation, un réfrigérant droit, une coude de 45°, un thermomètre, ainsi qu'un erlenmeyer pour récupérer le distillat.



**Figure 2.8** Dispositifs utilisés pour la distillation.

### 2.3.5. 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 2.9** Flamme de l'éthanol extrait d'abricot.



**Figure 2.10** Flamme de l'éthanol extrait de pomme.

## 2.4. Méthodes d'analyses

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

#### a. Définition

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 <sup>[46]</sup>.

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).

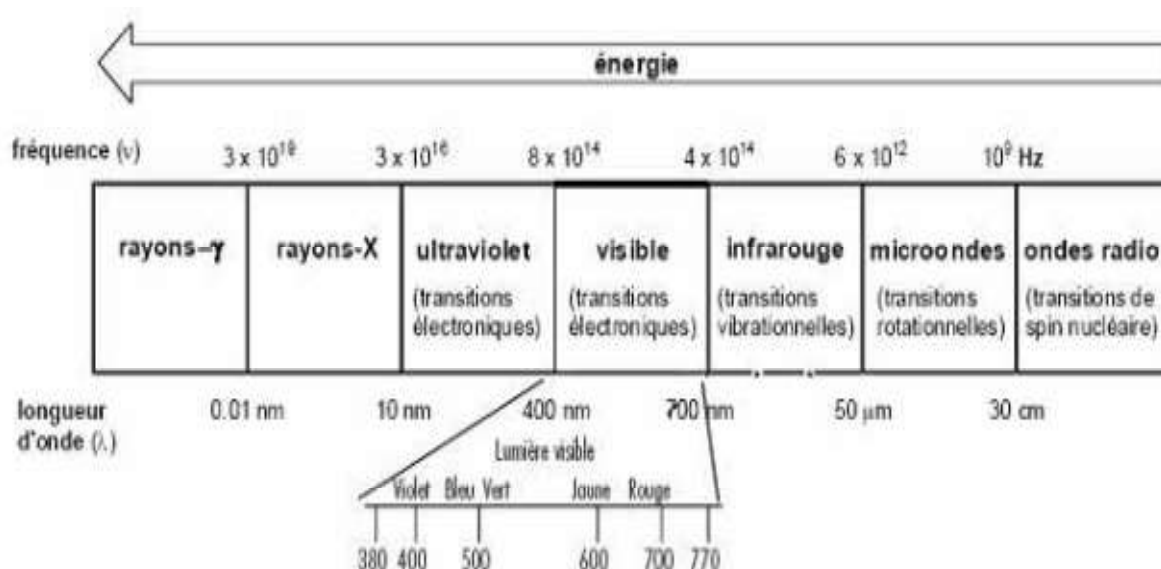


Figure 2.11 Spectre électromagnétique de la lumière et domaine UV-visible <sup>[47]</sup>.

Le terme photométrie signifie que l'on mesure une densité de photons. En spectrophotométrie d'absorption moléculaire, on sélectionne des photons de fréquence  $\nu_0$  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 :

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = \varepsilon * C * L$$

$\varepsilon = K / 2.033$

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

### ***b. Aspect qualitatif***

Les modifications, au niveau moléculaire, mises en jeu dans le domaine UV-visible correspondent à des transitions électroniques des électrons de liaison, permettant ainsi la caractérisation de la molécule elle-même et non des atomes qui la constituent. Il s'agit de transition d'électrons entre orbitales moléculaires<sup>[48]</sup>.

Les groupements responsables de l'absorption UV-visible (chromophores) sont des groupements fonctionnels dans lesquels les électrons sont délocalisés (doubles liaisons conjuguées, noyaux aromatiques...).

### ***c. Spectre UV-visible d'une molécule***

Le spectre UV-visible d'une molécule en solution se définit comme la variation de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde ( $\lambda$ ) de la lumière incidente. Un spectre est enregistré à partir d'une solution de concentration connue dans un solvant déterminé, disposé dans une cuve d'épaisseur calibrée. Une molécule pourra être caractérisée en spectrophotométrie d'absorption moléculaire UV-visible par la description de son spectre  $A=f(\lambda)$ , en précisant les maxima et minima d'absorption, et le coefficient d'extinction moléculaire aux longueurs d'ondes correspondantes, ainsi que le solvant<sup>[46]</sup>. En effet, par sa polarité, le solvant influence la valeur de l'énergie

nécessaire à la transition électronique ; ce qui a pour conséquence d'induire un déplacement des  $\lambda_{\max}$  et une modification des valeurs d' $\varepsilon$  (exemple : glucose 5%).

***d. Intérêt analytique des spectres d'absorption UV-visible***

Le spectre d'absorption UV-visible permet de caractériser une molécule. Il est, par conséquent, un des critères d'identification de la molécule. Toutefois, l'absorption dans l'UV-visible permet plutôt de caractériser des groupements fonctionnels, et non une molécule dans son ensemble. Ainsi, la spectrophotométrie d'absorption moléculaire UV visible ne permet pas d'identifier de façon absolue une molécule, et les spectres des molécules d'une même famille chimique sont très proches donc difficiles à différencier.

***e. Aspect quantitatif***

La loi de Beer Lambert décrite précédemment se prête à l'analyse quantitative dans la mesure où le signal mesure A (Absorbance) est proportionnel à la concentration en soluté absorbant de la solution.

***f. Validité de la loi de Beer Lambert***

Cette relation de proportionnalité n'est vraie que dans certaines conditions :

- lumière monochromatique.
- concentration pas trop élevée.
- absence de fluorescence et diffusion négligeables (hétérogénéité).
- la substance ne doit pas donner lieu à des réactions chimiques sous l'effet du rayonnement incident.
- La substance ne doit pas donner lieu à des associations variables avec le solvant <sup>[46]</sup>.

Par ailleurs, lorsque plusieurs substances absorbantes sont présentes en solution, on observe une additivité des phénomènes.

***g. Méthodes de quantification***

Pour tout dosage, le procédé d'étalonnage choisi doit essentiellement tenir compte d'un « effet de matrice » potentiel du milieu à doser.

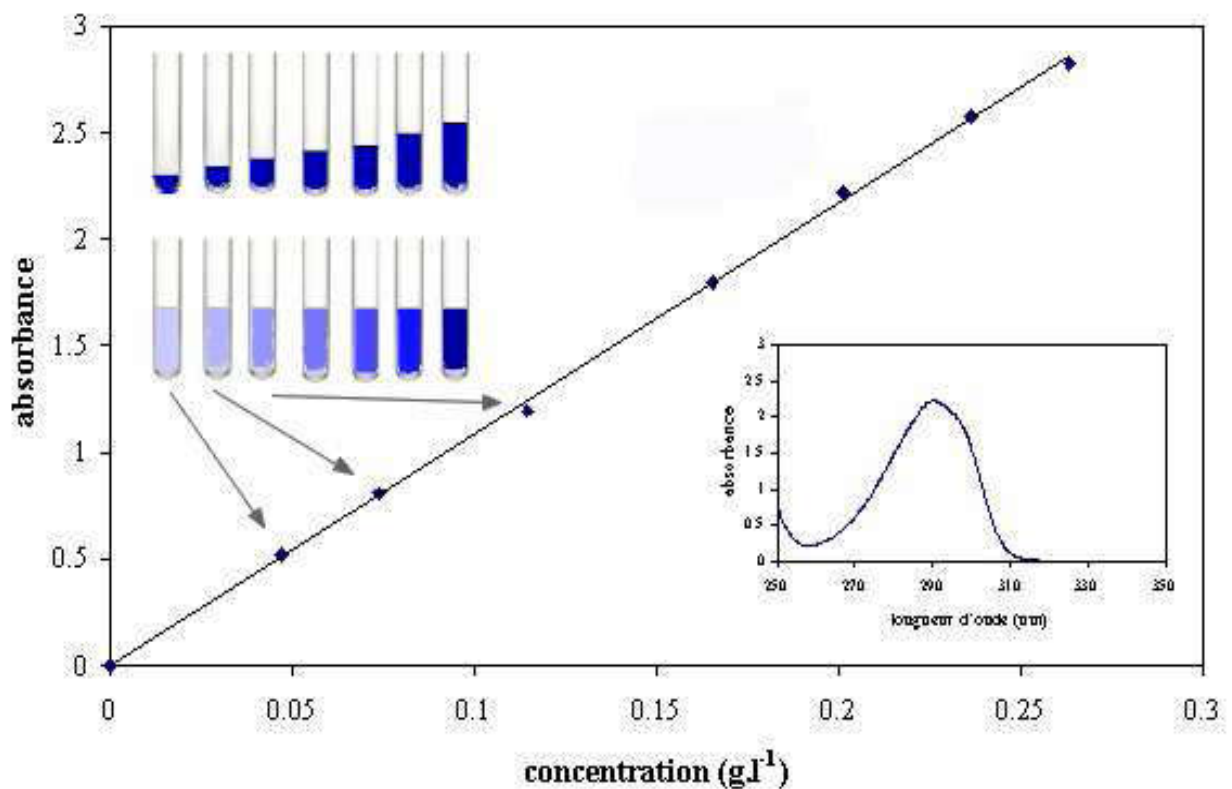
En effet, le milieu peut modifier le signal mesure, ou contenir des substances absorbantes parasites, qui compte tenu de l'additivité de la loi de Beer Lambert, sont mesurés simultanément.

Si le milieu à doser ne modifie pas le signal mesure, un étalonnage simple peut être réalisé :



➤ **Gamme d'étalonnage :**

- elle consiste à préparer une série de dilutions d'une solution étalon "mère", à mesurer l'absorbance de chacune de ces solutions étalons, puis à tracer la courbe d'étalonnage  $A = f(c)$ . L'absorbance de la solution à doser est mesurée dans les mêmes conditions, puis reportée sur la courbe d'étalonnage, on fait ainsi une détermination graphique de la concentration de la solution à doser (la gamme doit encadrer la valeur probable de la solution à doser) (Figure 2.12).
- elle permet de vérifier la linéarité, et tient compte des éventuelles erreurs de manipulation (trace d'une droite statistique).



**Figure 2.12** Principe d'une gamme d'étalonnage <sup>[46]</sup>.

Si le milieu à doser modifie le signal mesuré, deux cas différents peuvent se présenter.

- Les éléments du milieu modifiant le signal sont connus, leur concentration est connue et suffisamment constante.
- Les éléments du milieu modifiant le signal sont inconnus, on a recours à la méthode des « ajouts doses ».

Dans ce cas, on introduit un volume constant de la solution à doser dans tous les tubes, puis des quantités croissantes d'un étalon connu de l'élément à doser, de façon telle que le milieu soit homogène, et que le volume final soit constant dans tous les tubes. L'absorbance mesurée varie alors avec la surcharge ajoutée (Figure 2.13).

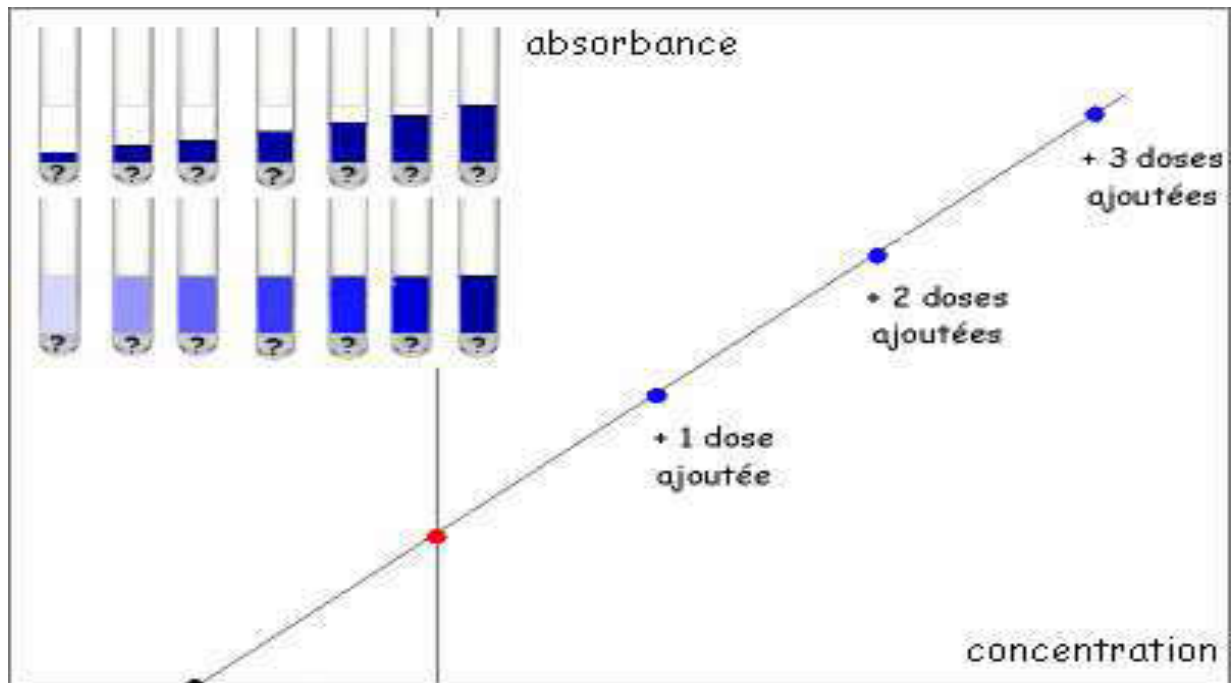


Figure 2.13 Principe d'un étalonnage par ajouts dosés<sup>[46]</sup>.

#### *h. Appareillage*

Un appareillage classique comporte 5 éléments principaux :

- une source de rayonnement continu.
- un système de sélection en longueur d'onde ou en fréquence (filtres absorbants, prismes en verre ou en quartz, réseaux plans ou concaves comportant une série de traits rectilignes parallèles équidistants à la surface).
- un compartiment pour l'échantillon (cuve en verre ou en quartz).
- un récepteur (transforme la radiation en courant électrique).
- un appareil de mesure éventuellement précédé d'un amplificateur.

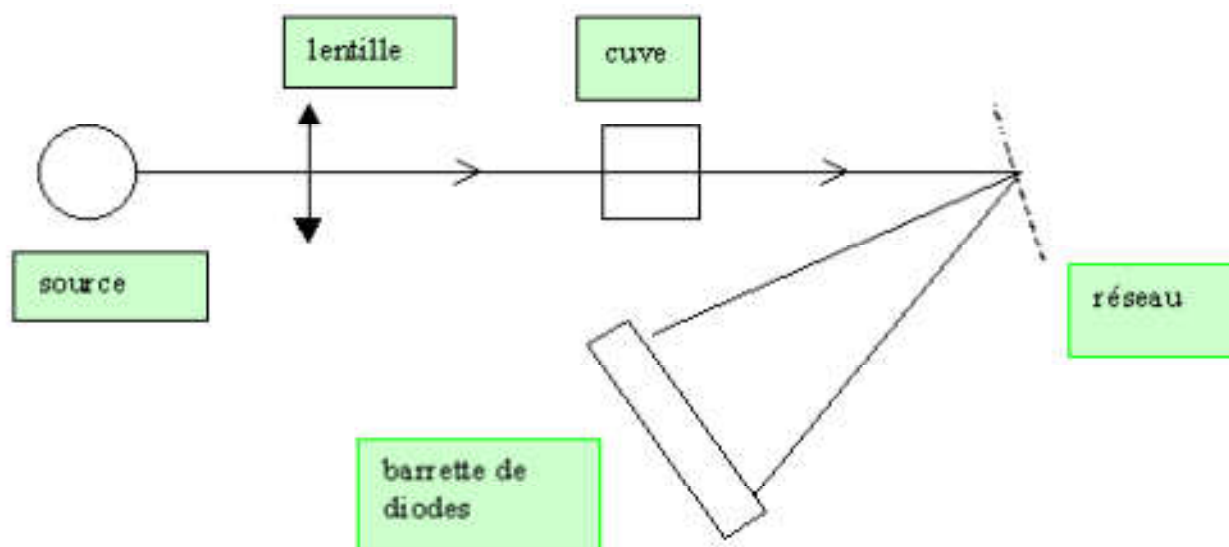


Figure 2.14 spectrophotomètre mono faisceau-multi canal ou à barrette de diodes <sup>[46]</sup>.

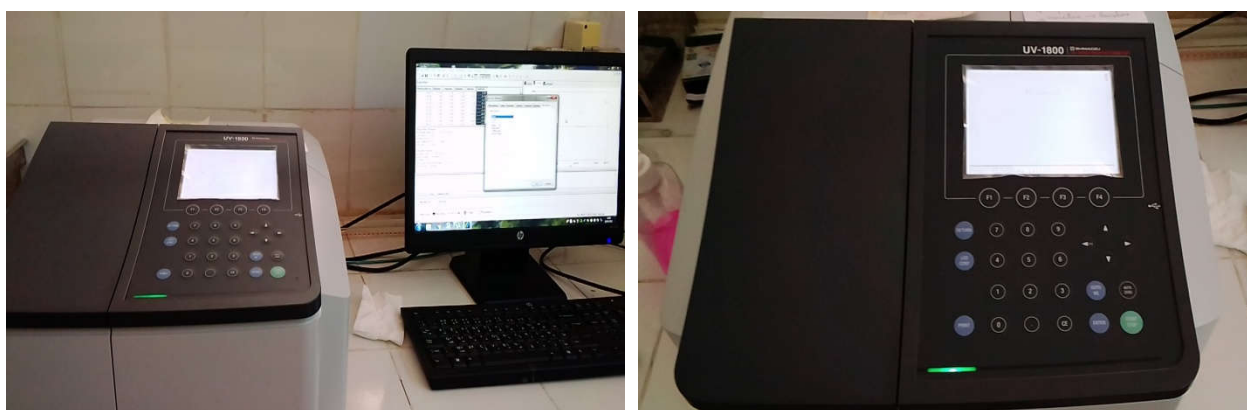


Figure 2.15 Le spectrophotomètre-UV utilisé pour l'analyse (Shimadzu uv 1800).

## 2.4.2. Spectrométrie moléculaire IR

### *a. Définition*

La spectrométrie infrarouge (IR) s'utilise principalement pour l'analyse qualitative d'une molécule. Elle permet de mettre en évidence la présence d'une liaison particulière. La région du spectre IR s'étend de  $4000\text{ cm}^{-1}$  à  $670\text{ cm}^{-1}$  en nombre d'onde.

On se situe dans le domaine des grandes longueurs d'onde donc l'énergie individuelle des Photons ( $h_c/\lambda$ ) est petite.

Dans l'IR lointain ( $h_c/\lambda$  très petite) : un photon incident sur une molécule n'aura qu'une modification des énergies d'oscillations des angles entre les liaisons = interactions de déformation.

- Ces vibrations constituent la région du spectre dite “empreinte digitale” (1600 à 600  $\text{cm}^{-1}$ ). Les vibrations de déformations plus faibles que celles de valence sont nombreuses et beaucoup plus sensibles à l'environnement car elles ont besoin pour se produire d'un volume plus important et risquent donc d'être entravées par la présence d'atomes voisins.

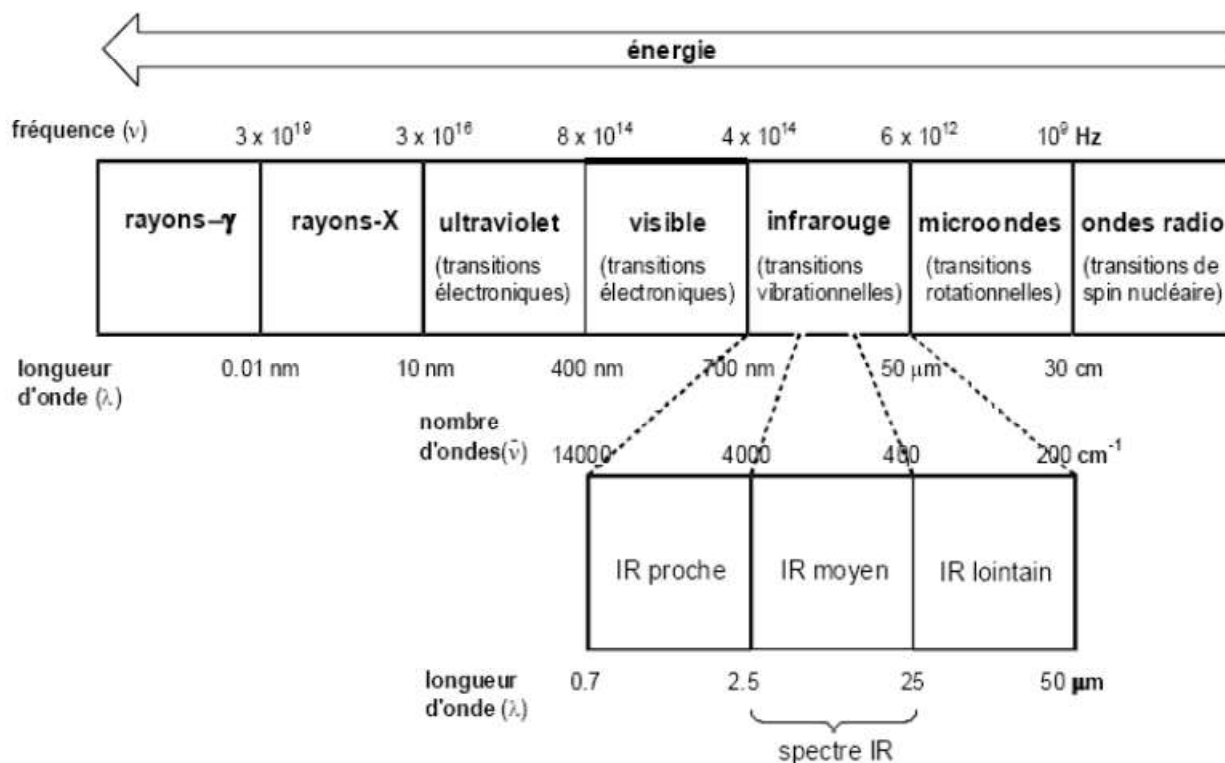


Figure 2.16 Spectre électromagnétique de la lumière et domaine IR <sup>[47]</sup>.

### b. Appareillage

Il existe 2 sortes de spectromètre IR : le spectromètre à balayage et le spectromètre à transformée de Fourier.

Un spectromètre IR à balayage est composé des éléments suivants :

- une source.
- l'échantillon.
- un système dispersif.
- un détecteur.

Un spectromètre IR à transformée de Fourier (IRTF) est composé des éléments suivants :

- une source.
- un interféromètre de Michelson.
- l'échantillon.
- un détecteur.

### c. Spectrophotomètre à transformée de Fourier (IRFT)

L'interféromètre comprend un diviseur de faisceau (ou séparatrice), un miroir fixe et un miroir mobile.

(Figure 2.14) présente le schéma de principe et les constituants de l'interféromètre : effet très faible sur celle-ci : on aura des modifications des énergies de rotation de la molécule qui sont quantifiées.

Dans l'IR moyen et proche ( $h_c / \lambda$  un peu plus élevée) : un photon incident modifiera les énergies de rotation et en plus de vibration. Ces énergies de vibration sont également quantifiées.

En effet, lorsque la molécule absorbe de l'énergie sous la forme d'un rayonnement IR, l'amplitude de ces vibrations est augmentée, le retour à l'état normal libère de la chaleur.

Plusieurs modes de vibrations sont possibles pour un groupe d'atomes donnés. A chacun correspond une fréquence caractéristique, mais seuls les mouvements qui entraînent une variation du moment dipolaire électrique, donnent lieu à des bandes d'absorption IR.

L'absorption du rayonnement IR par les composés organiques correspond à deux types principaux de vibrations atomiques :

- modification des énergies d'oscillations des longueurs de liaisons = interactions de valence  
Elles se trouvent dans la zone du spectre IR de  $4000 \text{ cm}^{-1}$  à  $1000 \text{ cm}^{-1}$ .

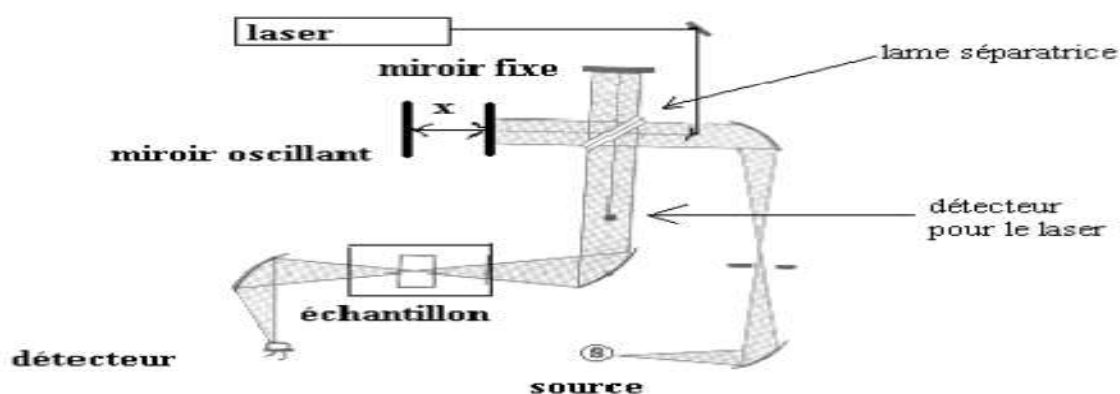


Figure 2.17 Schéma du spectrophotomètre à transformée de Fourier (IRFT) <sup>[46]</sup>.

La source émet un rayonnement poly-chromatique qui est envoyé dans un interféromètre de Michelson. Ce dernier est constitué d'une lame séparatrice qui permet d'envoyer une partie du faisceau vers un miroir fixe tandis que l'autre partie est envoyée vers un miroir mobile oscillant.

Les deux faisceaux sont réfléchis à la surface des deux miroirs et se recombinent sur le diviseur créant alors des interférences constructives ou destructives suivant la position du miroir mobile par rapport au miroir fixe. Le faisceau résultant passe ensuite à travers l'échantillon où il se produit une absorption sélective. L'énergie qui atteint le détecteur est donc la somme d'énergie des deux faisceaux. C'est un processus mathématique permettant de décomposer un signal complexe, fonction du temps mais pas forcément périodique, en une somme de signaux simples de fréquences connues donc périodiques.

Contrairement aux appareils à balayage à double faisceau, où le spectre de l'échantillon est obtenu directement par différence entre les 2 trajets optiques (échantillon et milieu ambiant), en IRTF il est nécessaire de soustraire le spectre du milieu ambiant.

#### *d. Intérêt analytique du spectre IR*

La spectrométrie infrarouge (IR) s'utilise principalement pour l'analyse qualitative d'une molécule. L'intérêt du couplage de la spectrophotométrie UV-visible et IR permet d'améliorer la spécificité de l'identification des molécules par le spectre IR. Même si la majeure partie des analyses quantitatives sont réalisées dans l'UV-visible, la loi de Beer-Lambert est également applicable en quantification dans l'IR.



**Figure 2.18** Spectromètre IR utilisé pour l'analyse.

### 2.4.3. Indice de réfraction

#### a. Introduction

Plusieurs interactions peuvent se produire lorsque la lumière tombe sur la matière. L'interaction de la lumière dépendra de la nature spécifique du matériau. Lorsque la lumière frappe un objet transparent, la lumière continuera à se déplacer à travers le matériau. Un exemple de ceci est lorsque la lumière traversant l'air frappe le verre. La lumière continuera à traverser le verre, cependant, la direction de la lumière changera. Ce changement de direction est appelé réfraction.

#### b. Réfractomètre

Le terme réfractomètre est principalement utilisé pour désigner les appareils qui Permettent de déterminer l'indice de réfraction du liquide, bien qu'il existe des instruments qui déterminent l'indice de réfraction d'un solide. Ici, on se limitera à déterminer l'indice de réfraction du liquide.

#### c. Principe théorique du réfractomètre

- **Lois de Snell-Descartes (énoncées au XVIIème siècle)**

On considère un dioptre (interface entre deux milieux transparents homogènes d'indices optiques différents) séparant deux milieux homogènes et isotropes d'indices optiques respectifs  $n_1$  et  $n_2$ . Soit un rayon lumineux arrivant sur ce dioptre en un point I appelé point d'incidence. On suppose que le milieu 1 est celui du rayon incident. Le plan contenant le rayon incident ainsi que la normale en I au dioptre est appelé plan d'incidence (figure 2.18) <sup>[49]</sup>.

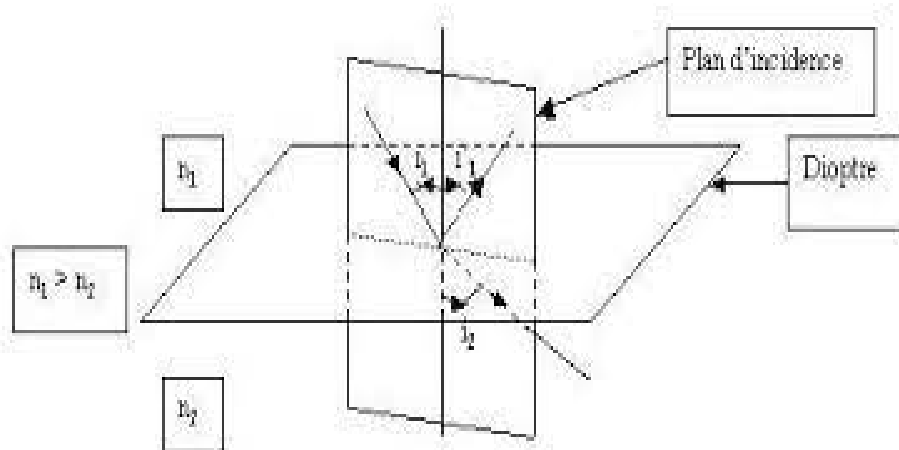


Figure 2.19 Schéma de réfraction <sup>[49]</sup>.

**Lois de Snell–Descartes :** L'angle d'incidence  $i_1$  et l'angle de réfraction  $i_2$  vérifient la relation suivante :

$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2).$$

#### d. Principe théorique du réfractomètre

Les réfractomètres les plus largement répandus d'Abbe et de Pulfrich mesurent l'angle de réfraction  $i_2$  d'un rayon lumineux qui est relié à l'angle d'incidence  $i_1$  selon les lois de Snell-Descartes. Le dioptre considéré ici est l'interface formée par la substance S dont on veut déterminer son indice de réfraction  $n_S$  et le prisme P qui a un indice de réfraction élevé  $n_P$  (voir figure précédente). D'après les lois de Snell-Descartes, l'indice de réfraction de la substance est défini ainsi

$$n_S = n_P \cdot (\sin(i_2) / \sin(i_1))^{[49]}$$

Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, tous les rayons incidents entrant dans le prisme au point d'incidence I avec un angle compris entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$  par rapport à la normale au point d'incidence I, sont réfractés dans une région angulaire du prisme définie d'une part par la normale et le rayon de réfraction limite défini précédemment. Ainsi l'angle limite de réfraction  $i_2 \text{ Lim}$  permet de définir une séparation ou frontière entre une zone claire (rayons réfractés) et une zone sombre (aucun rayon réfracté) à l'intérieur du prisme P<sup>[49]</sup>.

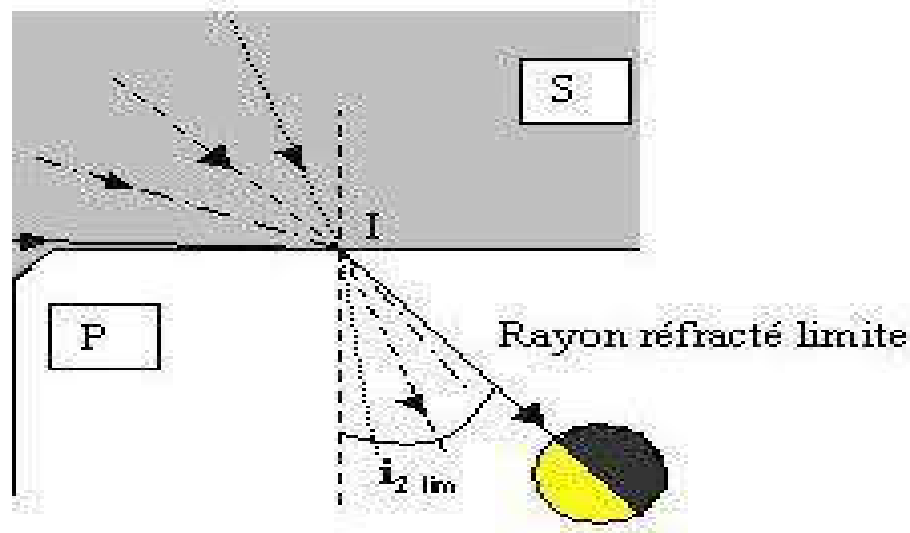


Figure 2.20 Frontière limite à l'intérieur du prisme du fait de la réfraction<sup>[49]</sup>.

#### e. Calcul de l'indice de réfraction

La mesure de l'indice de réfraction est en fait une mesure de la vitesse de la lumière dans un milieu. La vitesse de la lumière généralement désignée par (c) est de 299 792 458 m/s dans le vide. Dans d'autres médias, la vitesse de la lumière est inférieure à cette valeur, et l'indice de réfraction



d'un milieu est une mesure de la façon dont beaucoup la vitesse de la lumière est réduite dans le milieu. L'indice de réfraction ( $n$ ) d'un milieu est défini comme le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide ( $c$ ) à celle dans le milieu ( $v$ ) :

$$n = c/v$$

L'indice de réfraction est une grandeur sans unité. Pour un liquide :  $1,3 < n < 1,7$  <sup>[50]</sup> Comme la vitesse de la lumière est la plus élevée dans le vide,  $n$  est toujours supérieur à 1.

La vitesse de la lumière dans un milieu dépend du milieu lui-même, de la température et de la longueur d'onde <sup>[51]</sup>.

- La longueur d'onde de référence est la raie D du sodium ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ).
- Les indices de réfraction sont tabulés à  $20^\circ\text{C}$  : pour comparer la valeur expérimentale mesurée à la température  $t$  (exprimée en  $^\circ\text{C}$ ) avec la valeur tabulée, il convient d'appliquer la formule suivante :  $n^{20} = n^t + 0,00045 (t - 20)$  <sup>[50]</sup>, Itérait de détermination d'indice de réfractomètre.

L'indice de réfraction du liquide. Ce type de mesure peut permettre :

- d'identifier les espèces chimiques.
- contrôler sa pureté.
- déterminer la composition du mélange (fraction molaire).

#### *f. Réfractomètre utilisé dans l'analyse*

Dans notre recherche on a utilisé le réfractomètre d'Abbe pour déterminer la pureté d'éthanol.



**Figure 2.21** Réfractomètre utilisé pour l'analyse.

## 2.5. Fabrication de gel désinfectant

Dans cette circonstance que traverse le monde en raison de la pandémie de Corona (COVID-19), l'éthanol produit a été utilisé dans la fabrication d'un gel désinfectant suivant la formule proposé par l'OMS, en raison des effets imperceptibles causés par le gel à base d'éthanol produit par les méthodes chimique.

### 2.5.1. Produits et matériel nécessaire

Pour la production des petits volumes (100 ml/ 1000 ml) de gel on a utilisé :

#### *a. Matériel*

- Éprouvettes de (10 ml, 100 ml).
- Fiole jaugé (100 ml, 1000 ml).
- Entonnoir.

#### *b. Produits*

- bioéthanol issus de la pomme (83,33 ml).
- Éthanol industriel (833.3 ml).
- Peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$  (4,17 ml, 41.7 ml).
- Glycérol (1.45 ml, 14.5 ml).
- Eau distillé.

### 2.5.2. Protocole

#### *a. Gel de bioéthanol issus de pomme*

A l'aide d'une éprouvette de 100 ml, mesurer 83.33 ml de bioéthanol issus de la pomme, verser la quantité dans la fiole jaugé , ajouter un volume de 4,17 ml de peroxyde d'hydrogène mesuré avec une éprouvette de 10 ml, ensuite ajouter un volume de 1,45 ml de glycérol mesuré a l'aide de l'éprouvette de 10 ml. En fin ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

#### *b. Gel d'éthanol industriel*

A l'aide d'une éprouvette de 100 ml et l'éprouvette de 10 ml, mesurer 833,3 ml d'éthanol commercial, ajouter un volume de 41,7 ml de peroxyde d'hydrogène mesuré avec une éprouvette de

100 ml, ensuite ajouter un volume de 14,5 ml de glycérol mesuré à l'aide de l'éprouvette de 10 ml. En fin ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

# Chapitre 03

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

---

### 3.1. Introduction

Les résultats de divers expériences présentées dans le chapitre précédent seront expliquées et interprétés dans ce chapitre pour déduire les paramètres bien nécessaire pour avoir le rendement maximal d'éthanol, ces résultats impliquent notamment :

- Interprétation des spectres IR et UV.
- Caractérisation d'éthanol.
- Optimisation des paramètres.
- Comparaison entre les deux gels issus de bioéthanol et d'éthanol.

### 3.2. Interprétation de résultats

#### 3.2.1. Résultats d'analyse infrarouge

Par identification des différents spectres infrarouge de l'éthanol pur et celui de bioéthanol produit à partir des jus de pomme fermenté on remarque des bandes d'absorption communes (**figure 3.1 / figure 3.2**).

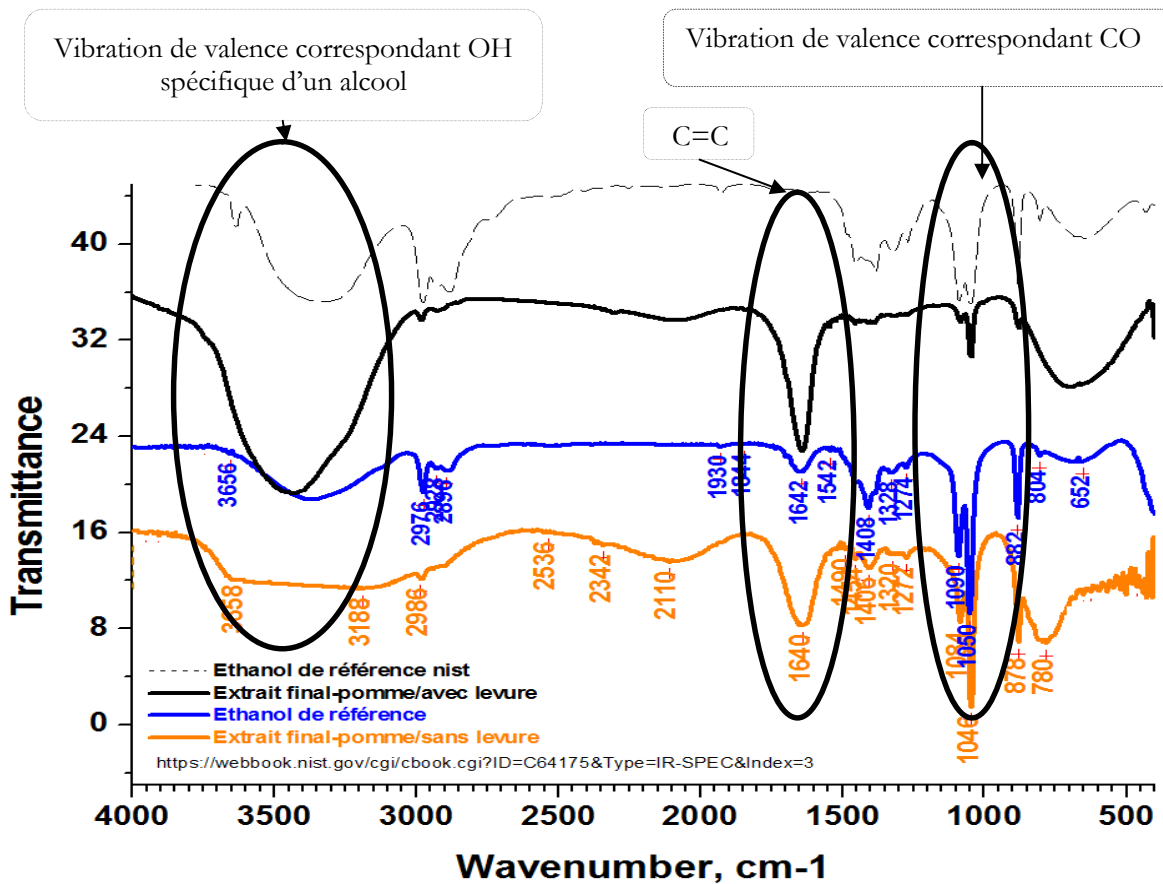


Figure 3.1 Comparaison des spectres infrarouge des différents produits.

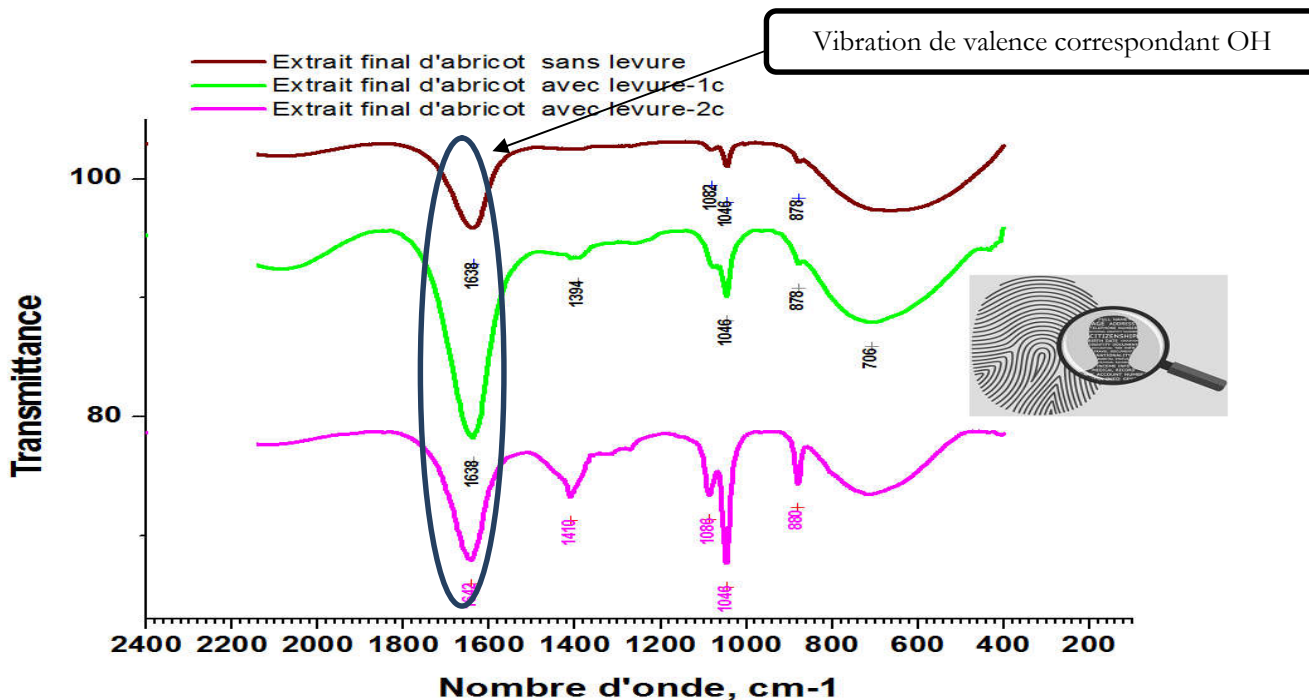


Figure 3.2 Comparaison des spectres infrarouge de bioéthanol à partir de jus d’abricot.

1C : une cuillère de levure=29,85g.

2C : deux cuillère de levure= 59,7g.

Tableau 3.1 Principales bandes de vibration IR pour la pomme (Annexe 2).

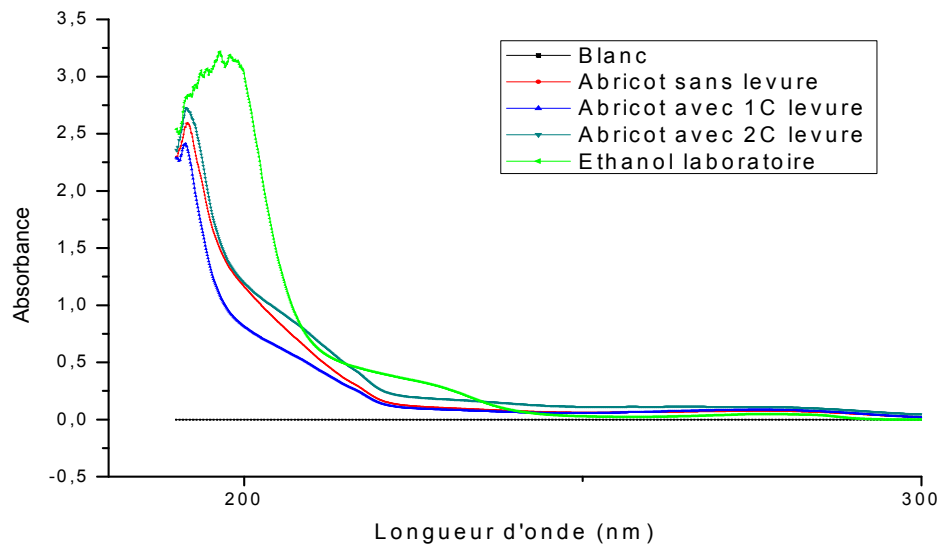
La bande de vibration	Le groupement de la vibration correspondante
3100-3500cm <sup>-1</sup>	O-H
1625-1685 cm <sup>-1</sup>	C=C
1050-1450 cm <sup>-1</sup>	C-O

Tableau 3.2 Principales bandes de vibration IR pour l’abricot (Annexe 2).

La bande de vibration	Le groupement de vibration correspondant
<b>Le distillat de l’abricot sans levure</b>	
1082 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-C
1048 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-O
878 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-H aromatique trésubstitué (1-2-4)
<b>Pour le jus d’abricot avec levure (1C)</b>	
1394 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-H
1046 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-O
878 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-H aromatique trésubstitué(1-2-4)
706 cm <sup>-1</sup>	La liaison C=C
<b>Pour le jus d’abricot avec levure 2C</b>	
1410 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-H
1040 cm <sup>-1</sup> et 1080 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-O
880 cm <sup>-1</sup>	La liaison C-H aromatique trésubstitué(1-2-4)

### 3.2.2. Résultats d'analyse UV

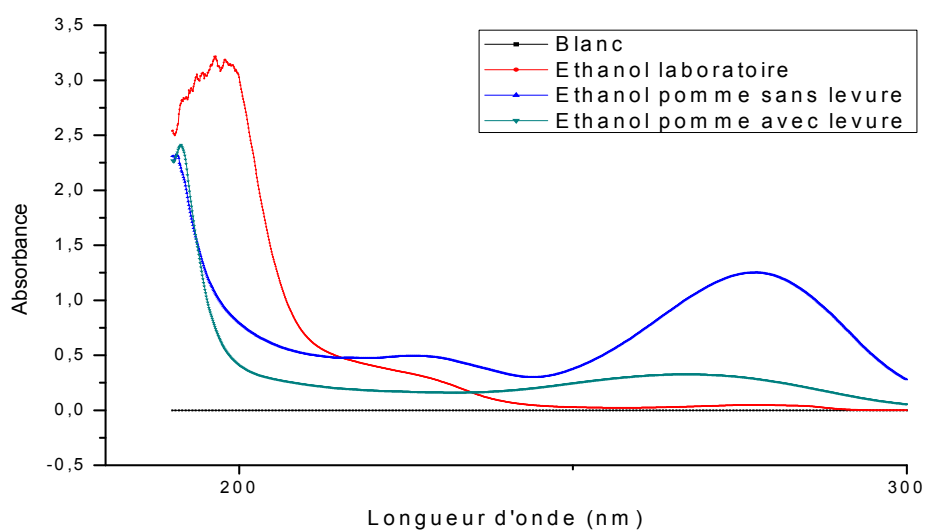
Le graphique ci-dessous est obtenu à partir de l'appareil UV-Visible de laboratoire



**Figure 3.3** Évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le bioéthanol issu d'abricot.

1C : une cuillère de levure=29,85g.

2C : deux cuillère de levure=59,7g.



**Figure 3.4** Évolution de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde pour le bioéthanol issu de pomme.

1C : une cuillère de levure=29,85g.

2C : deux cuillère de levure=59,7g.

L'éthanol présente une absorbance dans l'UV-Visible vers 190 à 250 nm, d'après (la figure 3.3), L'ensemble des bioéthanols produit de jus d'abricot fermentés avec et sans levures ont donnés des spectres peu différents du spectre d'éthanol de référence avec une intense absorption à une longueur d'onde avoisinant les 200 nm.

De même pour les bioéthanols produits de jus de pomme (figure 3.4) tous les deux ont donné une absorption satisfaisante en les comparants à celle de l'éthanol de référence.

### 3.3. Caractérisation de bioéthanol

#### 3.3.1. Indice de réfraction

La distillation fractionnée était le meilleur moyen disponible pour séparer ces deux liquides et obtenir un pourcentage en éthanol apprécié.

Pour la vérification de la pureté, l'indice de réfraction est une bonne manière de vérifier la concentration d'alcool des différents essais. Le tableau ci-dessous a été construit pour déterminer le pourcentage d'éthanol obtenu à la suite de la distillation, en mesurant l'indice de réfraction de chaque pourcentage d'éthanol après dilution.

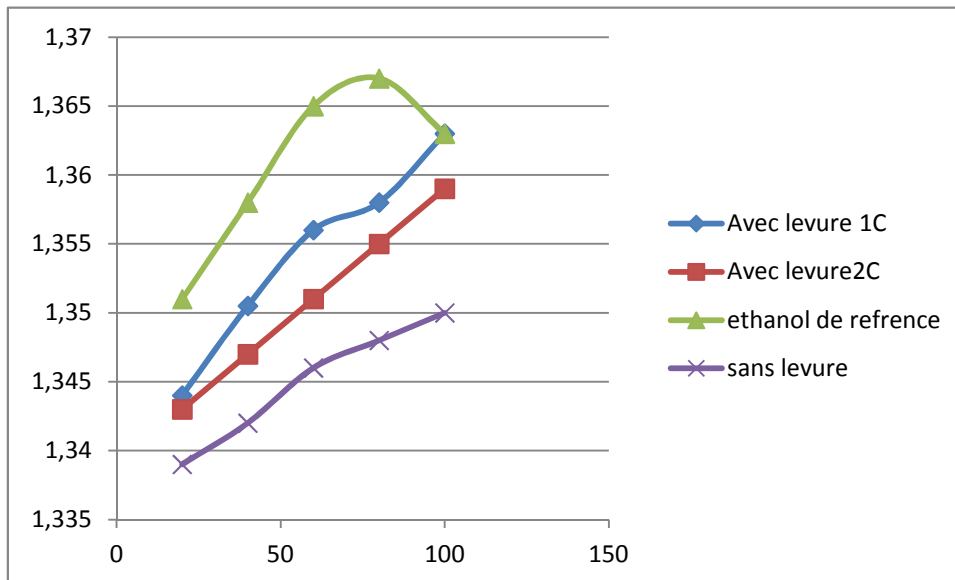
**Tableau 3.3** l'indice de réfraction en fonction du pourcentage volumique de bioéthanol dilué.

Volume d'alcool (%)	Indice de réfraction				
	Éthanol d'abricot sans levure	Éthanol d'abricot avec 1C levure	Éthanol d'abricot avec 2C levure	Éthanol de référence	Éthanol de Pomme sans levure
100	1.35	1.363	1.359	1.363	1,359
80	1.348	1.358	1.355	1.367	1,354
60	1.346	1.356	1.351	1.365	1,351
40	1.342	1.3505	1.347	1.358	1,347
20	1.339	1.344	1.343	1.351	1,343

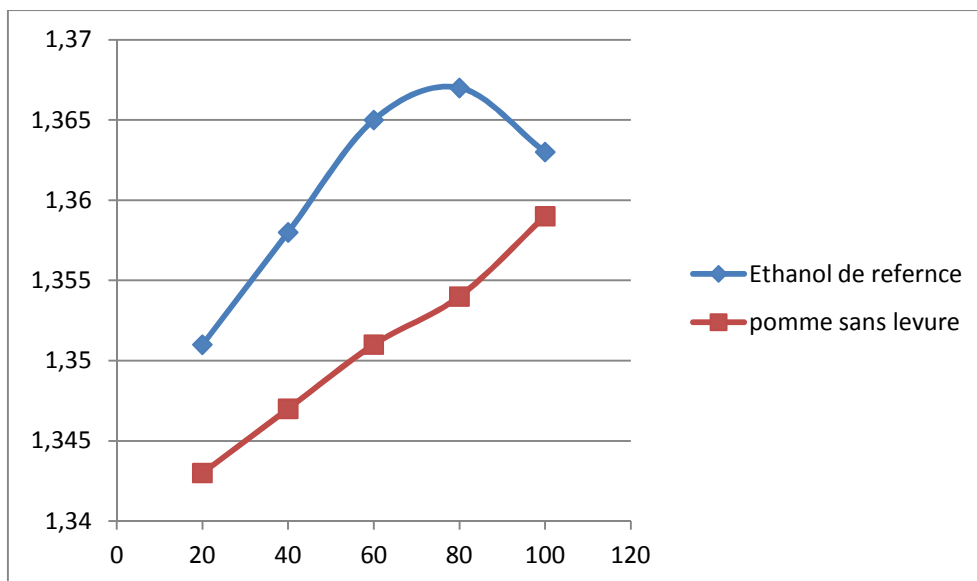
1C : une cuillère de levure=29,85g.

2C : deux cuillère de levure=59,7g.





**Figure 3.5** Évolution de l'indice de réfraction en fonction du pourcentage volumique de bioéthanol de jus d'abricot.



**Figure 3.6** Évolution de l'indice de réfraction en fonction de pourcentage volumique de bioéthanol de jus de pomme sans levure.

Suivant les figures ci-dessus le graphe de bioéthanol le plus proche de graphe d'éthanol de référence est le graphe de bioéthanol issu de jus d'abricot fermenté avec une cuillère de levure.

**Tableau 3.4** Le pourcentage volumique de bioéthanol dans les différents distillats récupérés suivant l'indice de réfraction [Annexe 5].

	Indice de réfraction	Le pourcentage en éthanol
Bioéthanol avec levure 1C	1,363	60
Bioéthanol avec levure 2C	1,359	48
Éthanol de référence	1,363	60
Bioéthanol sans levure	1,35	30

1C : une cuillère de levure=29,85g.

2C : deux cuillère de levure=59,7g.

### 3.3.2. Détermination de la densité [52]

Comme étant le rapport entre la masse d'un volume sur le même volume de jus d'abricot

$$d = m/v$$

D : la densité en g /ml.

m : la masse de l'échantillon en gramme – la masse du pycnomètre.

V : le volume de cet échantillon.

**Tableau 3.5** Caractérisation de bioéthanol.

	Le volume de bioéthanol (ml)	La masse de bioéthanol (g)	La densité	Le degré d'alcool	L'odeur	La couleur
Jus d'abricot sans levure	14	11.22	0.801	46 B°	piquante	transparente
Jus d'abricot avec levure 1C	23	19.58	0.851	33 degre cartier		
Jus d'abricot avec levure 2C	14.2	11.39	0.802	46B°		
Jus de pomme sans levure	44	38.7	0.879	30B°		

1C : une cuillère de levure= 29,85g.

2C : deux cuillère de levure= 59,7 g.

Suivant les densités des différents bioéthanol obtenus par distillation, on détermine les degrés d'alcools [Annexe 6].

### 3.3.3. pH

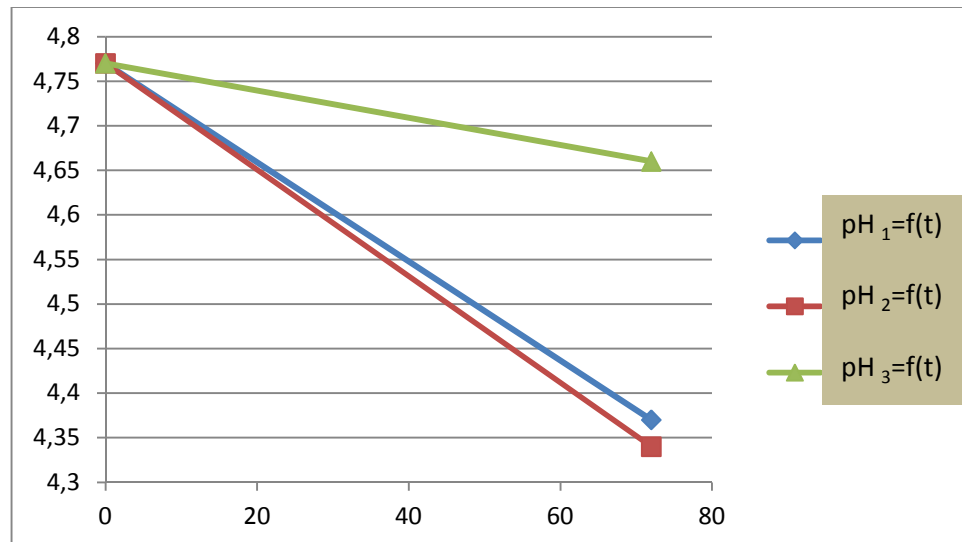
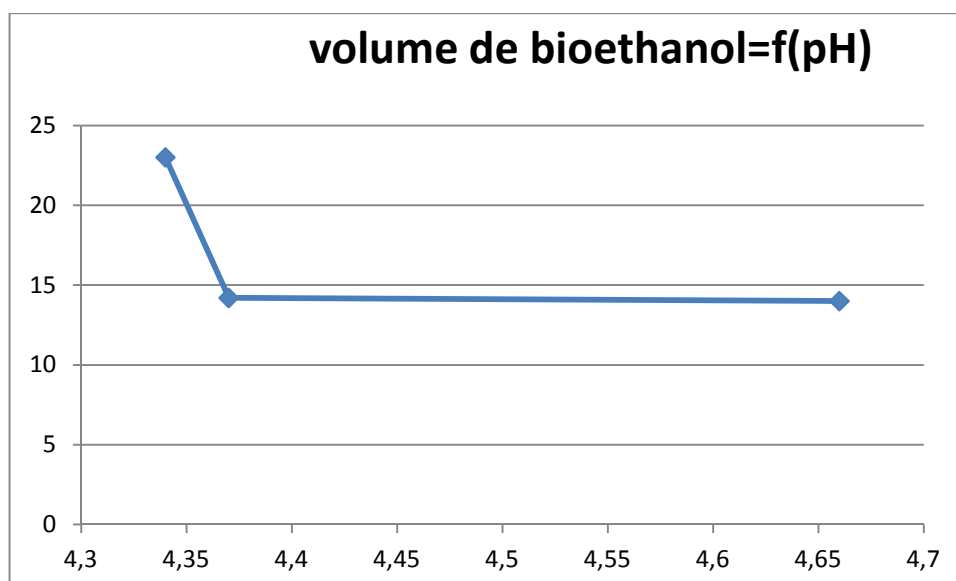


Figure 3.7 Évolution de pH en fonction de temps de fermentation.

- La variation de pH en fonction de temps de fermentation est importante pour le jus d'abricot fermenté avec 1C de levure.
- La variation est moins importante pour le jus de d'abricot fermenté avec 2C de levure
- La diminution est beaucoup moins importante pour le jus d'abricot fermenté sans levure

Tableau 3.6 Variation du pH en fonction du temps de fermentation.

temps (h)	pH 1	pH 2	pH 3
0	4,77	4,77	4,77
72	4,37	4,34	4,66
	Jus d'abricot	Jus d'abricot	Jus d'abricot
	2C	1C	sans levure



**Figure 3.8** Variation du volume de bioéthanol récupéré en fonction du pH.

La récupération de bioéthanol la plus élevée est celle de jus d'abricot fermenté avec 1C de levure, alors que l'élévation de la concentration de la levure dans le milieu fermentaire défavorise la production de bioéthanol.

1C : une cuillère de levure = 29,85g.

2C : deux cuillère de levure = 59,7 g.

➤ **Hypothèse** <sup>[53]</sup>

D'après les résultats obtenus par l'augmentation de la concentration de la levure dans le jus d'abricot on pourra se placer au sein de l'étude suivante faite par Lallemand 2007.

**Stratégies visant à diminuer le rendement en éthanol des levures :**

Cette approche consiste à favoriser certaines voies métaboliques au détriment de celle qui produit l'éthanol. Une partie des sucres est détournée vers d'autres sous-produits que l'éthanol. De plus, il ne faut pas que ces modifications affectent les propriétés des levures (capacités fermentaires, croissance, etc.).

Il est possible de réorienter une partie des sucres vers la voie des pentoses phosphate, concurrente à la glycolyse. Une partie des carbones étant éliminée sous forme de CO<sub>2</sub>, l'amplification de cette voie diminue la quantité de carbones disponibles pour la formation d'éthanol.

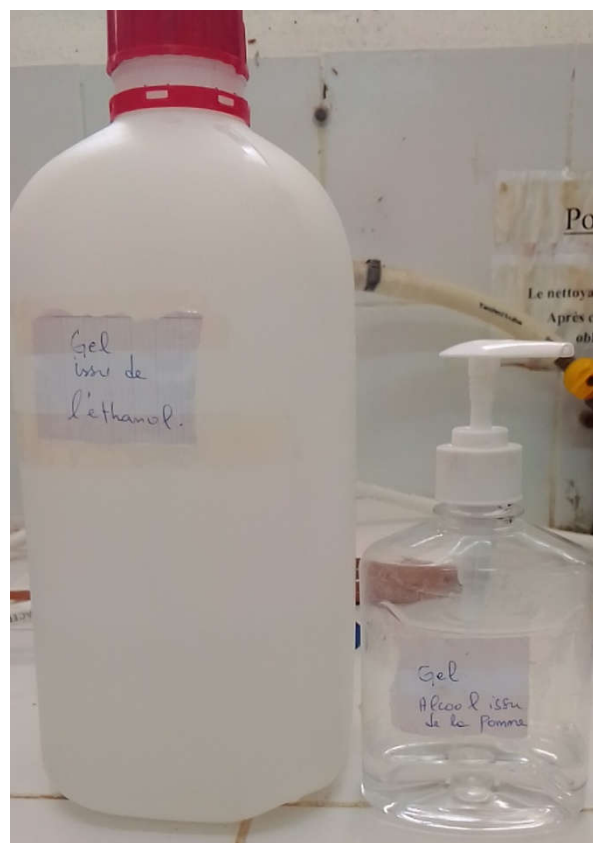
Les travaux menés en ce sens ont permis d'améliorer certains caractères au cours des dernières années. Cette stratégie, actuellement à l'étude à l'INRA, est particulièrement intéressante, puisqu'elle ne provoque aucune modification génétique des levures.

D'autres techniques, dont l'introduction ou la modification de gènes existants, sont en cours d'évaluation à l'Université de *Stellenbosch*, en Afrique du Sud. Pour le moment, cette étude a produit une baisse de 1 à 2 % par vol d'alcool, ce qui résulte en une concentration excessive en acide gluconique et, de ce fait, en une augmentation significative de l'acidité totale.

À Montpellier, l'INRA travaille sur d'autres voies métaboliques, dont la transformation du pyruvate en acide lactique. Cependant, là encore, le rapport entre l'accumulation d'acide lactique et la faible baisse d'alcool (une production de 5 g d'acide lactique correspond à une baisse de 0,2 % par vol. d'éthanol) demeure disproportionné.

### 3.4. Comparaison entre le gel issu de bioéthanol et le gel issu d'éthanol

Il est possible de fabriquer un gel désinfectant en suivant la formule proposée par l'OMS, sachant que le pourcentage volumique de bioéthanol produit est de 60%, alors que le pourcentage volumique de l'éthanol de référence est de 99.8%. On déduit que l'efficacité désinfectante du gel issu d'éthanol est plus forte que celle du gel issu de bioéthanol.



**Figure 3.9** Gel désinfectant fabriqué à partir d'éthanol issu de la pomme et l'éthanol commercial.

### 3.5. Conclusion

Le but visé par notre travail est d'optimiser et développer un bioéthanol à partir de deux fruits (pomme et abricot) produits la région de Bouhmama, en pratiquant un procédé de fermentation alcoolique en présence de la levure (*saccharomyces cerevisiae*) à différents degrés, les résultats trouvés montrent que le bioéthanol obtenu possède un pourcentage volumique de 60%.

Les caractéristiques physico-chimiques de bioéthanol produit sont très similaires à celles de l'éthanol de référence, en plus ils présentent l'avantage d'être des produits 100% bio donc préservant l'environnement et ne porte pas atteinte à l'écologie.

Le meilleur rendement en bioéthanol est obtenu suivant les paramètres inscrits dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 3.7** Tableau récapitulatif des conditions et résultats du meilleur rendement en bioéthanol.

<b>Le paramètre</b>	<b>Le résultat</b>
jus d'abricot fermenté (ml)	V=750 ml
levure (g)	m=29,85g
durée de fermentation (h)	t=72h
Diminution de pH	4,77 - 4,34
durée de la distillation (h)	t=2h
température de la première goutte de bioéthanol (°C)	T=78°C
Densité	d=0,851
bioéthanol obtenu (ml)	V=23ml
Indice de réfraction	1,363
pourcentage volumique de bioéthanol (%)	60%
degré de bioéthanol (°cartier)	33

---

# CONCLUSIONS GÉNÉRALES

---

Les biocarburants ont le vent en poupe, cela est une certitude.

Pourtant des voix discordantes se font entendre, car de trop nombreux arguments en faveur des biocarburants reposent sur une hypothèse : un pétrole cher d'un côté, des produits agricoles bon marché de l'autre.

Si aujourd'hui, tout produit agricole dont le cours est inférieur à son équivalent pétrole est susceptible d'être transformé en carburant, qu'en serait-il demain ?

Et quelles en seront les conséquences pour les marchés agricoles : ne seront-ils pas de plus en plus corrélés aux marchés de l'énergie ? le sucre bon marché serait-il un fait qui appartiendrait bientôt à l'histoire ? <sup>[57]</sup>

Le bioéthanol, biodiesel, biométhanol, biodiméthylether (bio-DME), bio-ETBE, bio-MTBE, biocarburants synthétiques, bio hydrogène, les huiles végétales pures sont cités comme étant les 10 produits considérés comme biocarburants, ces derniers sont définis comme étant des combustibles liquides ou gazeux utilisés pour le transport et produit à partir des matières organiques végétales et animales non fossiles <sup>[58]</sup>.

L'objectif du présent projet était la production de bioéthanol à partir de ressources d'agriculture de deuxième génération précisément des déchets de pomme et d'abricot produits dans la wilaya de Khenchela à la région de Bouhmama, qui conduit conjointement à la production de coproduits valorisables commercialement (protéine, acides organiques, etc.).

Notre étude a porté plus spécifiquement sur l'analyse de deux filières développées à partir de deux ressources : l'abricot et la pomme en présence de la levure *S. cerevisiae* et sa capacité de fermentation à différentes doses en transformant le glucose en bioéthanol avec un dégagement de CO<sub>2</sub>.

Ce travail n'a certes pas été exhaustif sur les effets des différents paramètres testés, mais il permet cependant de proposer des idées permettant d'améliorer le bilan environnemental et potentiellement économique de la production de bioéthanol à partir d'un substrat fruitier.

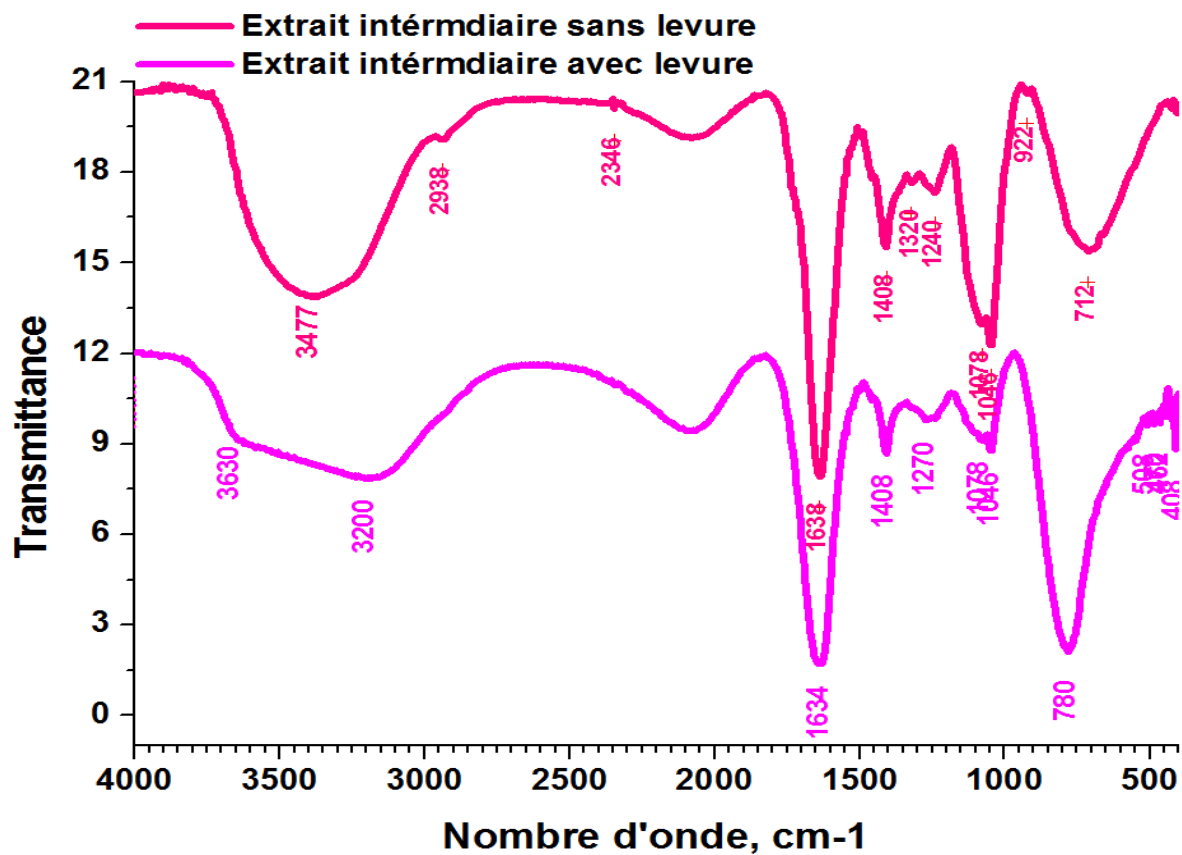
Pour conclure, les résultats obtenus par le présent travail démontrent que issu des déchets d'abricot et de pomme, a un grand potentiel pour la production de bioéthanol en terme de quantité et de qualité.

Pour des meilleurs résultats, Il serait souhaitable de compléter le présent travail par :

- Une optimisation des différents paramètres liés à la fermentation alcoolique.
- Une analyse Approfondie donnant la composition et le pourcentage exact en sucres de la biomasse visée.
- Proposer plusieurs types de souches autres que la *S. cerevisiae* pour un meilleur degré en bioéthanol.
- Tester la quantité d'eau ajoutée lors de prétraitement.



## Annexe



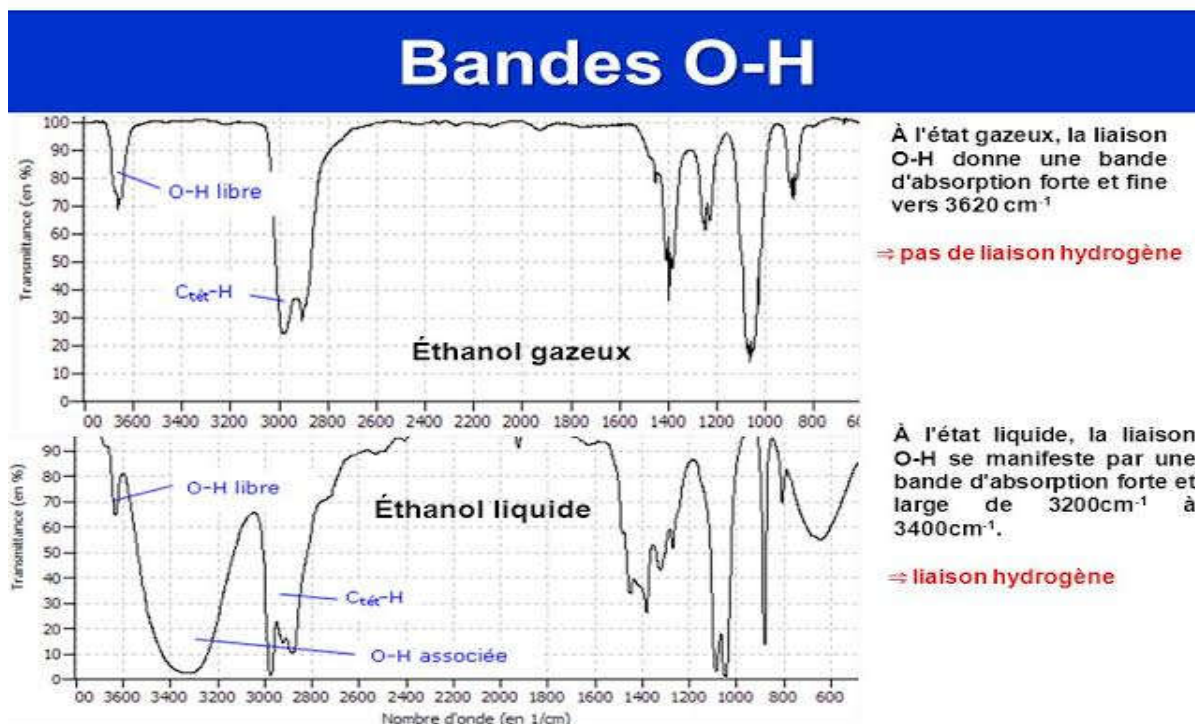
Annexe 1 Spectre infrarouge de jus d'abricot fermenté avec et sans levure (fait au laboratoire).

liaison	nature	nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	intensité
O-H alcool libre	valence	3 580 – 3 670	F ; fine
O-H alcool lié	valence	3 200 – 3 400	F ; large
N-H amine	valence	3 100 – 3 500	m
imine			
N-H amide	valence	3 100 – 3 500	F
C <sub>di</sub> -H	valence	3 300 – 3 310	m ou f
C <sub>tri</sub> -H	valence	3 000 – 3 100	m
C <sub>tri</sub> -H aromatique	valence	3 030 – 3 080	m
C <sub>tét</sub> -H	valence	2 800 – 3 000	F
C <sub>tri</sub> -H aldéhyde	valence	2 750 – 2 900	m
O-H acide carboxylique	valence	2 500 – 3 200	F à m ; large
C≡C	valence	2 100 – 2 250	f
C≡N	valence	2 120 – 2 260	F ou m
C=O anhydride	valence	1 700 – 1 840	F ; 2 bandes
C=O chlorure d'acyle	valence	1 770 – 1 820	F
C=O ester	valence	1 700 – 1 740	F
C=O aldéhyde et cétone	valence	1 650 – 1 730	F
		abaissement de 20 à 30 cm <sup>-1</sup> si conjugaison	
C=O acide	valence	1 680 – 1 710	F
C=C	valence	1 625 – 1 685	m
C=C aromatique	valence	1 450 – 1 600	variable ; 3 ou 4 bandes
N=O	valence	1 510 – 1 580	F ; 2 bandes
		1 325 – 1 365	
C=N	valence	1 600 – 1 680	F
N-H amine ou amide	déformation	1 560 – 1 640	F ou m
C <sub>tét</sub> -H	déformation	1 415 – 1 470	F
C <sub>tét</sub> -H (CH <sub>3</sub> )	déformation	1 365 – 1 385	F ; 2 bandes
C-O	valence	1 050 – 1 450	F
C-C	valence	1 000 – 1 250	F
C-F	valence	1 000 – 1 040	F
C <sub>tri</sub> -H aromatique monosubstitué	déformation	730 – 770 690 – 770	F ; 2 bandes
C <sub>tri</sub> -H aromatique <i>o</i> -disubstitué	déformation	735 – 770	F
<i>m</i> -disubstitué	déformation	750 – 810 680 – 725	F et m ; 2 bandes
<i>p</i> -disubstitué	déformation	800 – 860	F
C <sub>tri</sub> -H aromatique trisubstitué	déformation	770 – 800	F et m ; 2 bandes
1,2,3		685 – 720	
1,2,4	déformation	860 – 900	F et m ; 2 bandes
		800 – 860	
1,3,5	déformation	810 – 865	F ; 2 bandes
		675 – 730	
C-Cl	valence	700 – 800	F
C-Br	valence	600 – 750	F
C-I	valence	500 – 600	F

F : fort ; m : moyen ; f : faible

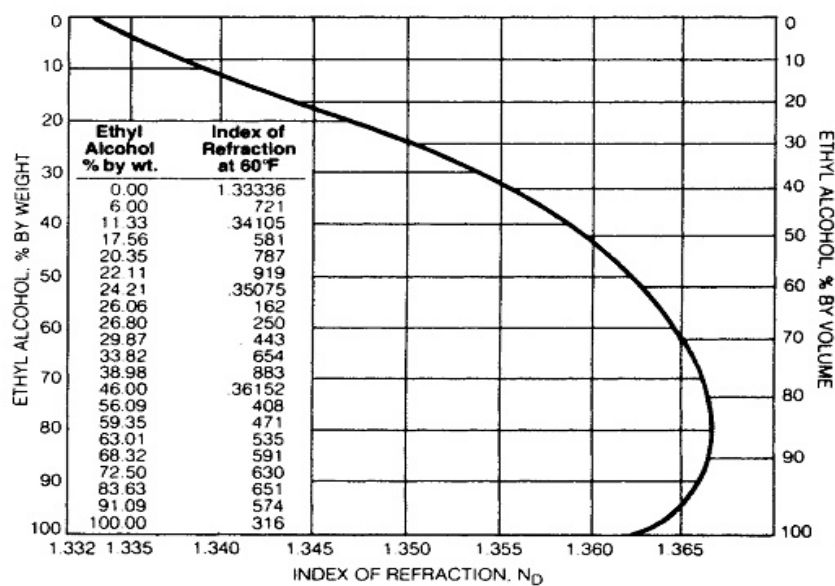
**Annexe 2 (Tableau 3.8** Identification spectrométriques des molécules clés- la longueur d'onde [54]).





Annexe 4 Spectre identifiant des différentes molécules dans le domaine infrarouge <sup>[55]</sup>.

**Table 6.23: Index of Refraction of Ethyl Alcohol–Water Mixtures at 60°F (30)**



Annexe 5 Indice de réfraction en fonction de la fraction molaire d'éthanol <sup>[59]</sup>.

**Correspondance des degrés Baumé et Cartier  
pour les liquides plus légers que l'eau et densité  
à + 15° des mélanges d'eau et d'alcool contenant  
pour 100 volumes n volumes d'alcool absolu  
(n = degrés Gay-Lussac).**

DEGRÉS				DEGRÉS				DEGRÉS			
Baumé	Cartier	Gay-Lussac	Densités	Baumé	Cartier	Gay-Lussac	Densités	Baumé	Cartier	Gay-Lussac	Densités
10	10	0	1.000			35	0.960	28	26	70	0.891
		1	0.999			36	0.959			71	0.888
		2	0.997		16	37	0.957		27	72	0.886
		3	0.996			38	0.956	29		73	0.884
		4	0.994	17		39	0.954		28	74	0.881
11	11	5	0.993			40	0.953	30		75	0.879
		6	0.992		17	41	0.951			76	0.876
		7	0.990			42	0.949	31	29	77	0.874
		8	0.989	18		43	0.948			78	0.871
		9	0.988			44	0.946	32	30	79	0.868
12	12	10	0.987			45	0.945			80	0.865
		11	0.986	19	18	46	0.943	33	31	81	0.863
		12	0.984			47	0.941			82	0.860
		13	0.983			48	0.940	34	32	83	0.857
		14	0.982	20		49	0.938			84	0.854
		15	0.981		19	50	0.936	35		85	0.851
		16	0.980			51	0.934		33	86	0.848
13	13	17	0.979			52	0.932	36	34	87	0.846
		18	0.978	21	20	53	0.930			88	0.842
		19	0.977			54	0.928	37	35	89	0.838
		20	0.976			55	0.926		36	90	0.835
		21	0.975	22	21	56	0.924	38	37	91	0.832
		22	0.974			57	0.922			92	0.829
14	14	23	0.973			58	0.920	40	38	93	0.826
		24	0.972	23	22	59	0.918			94	0.822
		25	0.971			60	0.915	41	39	95	0.818
		26	0.970			61	0.913			96	0.814
		27	0.969	24	23	62	0.911	43	40	97	0.810
		28	0.968			63	0.909			98	0.806
15	15	29	0.967			64	0.906	44	41	99	0.800
		30	0.966	25	24	65	0.904			100	0.795
		31	0.965			66	0.902	46	42		0.805
		32	0.964			67	0.899	47	43		0.800
		33	0.963	26	25	68	0.896	48	44		0.795
16	16	34	0.962			69	0.893				0.791

*(Agenda du Chimiste.)*

Annexe 6 Tableau 3.9 de correspondance entre la densité et le degré d'alcool <sup>[56]</sup>.

## Références Bibliographiques

- [1] Fiche toxicologique n°48. Édition novembre 2019  
[https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_48](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_48)
- [2] Le bioéthanol dans le monde, article publié le 9 juillet 2014  
<https://www.bioethanolcarburant.com/actualite/le-bresil-champion-du-monde-de-lethanol/>
- [3] Biocarburants, Fiche pédagogique, énergies renouvelables,  
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biocarburant>
- [4] Les biocarburants de troisième génération posté le 30 septembre 2009 <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/les-biocarburants-de-troisieme-generation-6831/>
- [5] M2/GC/2018, Farouk.CHA, "production de bioéthanol. Analyse et modélisation par loi de Michaelis-Menten" mémoire de fin d'études de master académique, département de génie civil, université Abdelhamid ibn Badis de Mostaganem <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/13605/memoire.pdf>
- [6] « 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>
- [7] Le bioéthanol une source d'énergie pour l'avenir, par Paul.ISNARDON ET Sébastien.CAMBRON  
<https://sites.google.com/site/tpebioethanolavenir05/>
- [8] 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*,
- [9] 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/>
- [10] 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/>
- [11] "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>
- [12] Généralités sur la levure <https://www.africmemoire.com/part.7-chap-i-a-generalites-sur-la-levure-37.html>
- [13] Étude et caractérisation de l'état " Viable mais Non Cultivable " chez *Saccharomyces cerevisiae*, Mohammad Salma, 7 novembre 2013, UNIVERSITE DE BOURGOGNE institut Universitaire de la Vigne et du Vin UMR PAM A02-102 Equipe VAIMiS <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00973496/document>
- [14] La levure de boulanger débuté par Dominique 17/02/2013  
<https://forum.mikroskopia.com/topic/12658-la-levure-de-boulangier/>

- [15] 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>
- [16] 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)
- [17] La distillation par Basil.Bédud 2018 <https://docplayer.fr/>
- [18] Fiche méthode de distillation fractionnée principe et dispositifs expérimentales [file:///C:/Users/pc/Downloads/Fiche%20m%C3%A9thode\\_distillation%20fractionn%C3%A9e%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Fiche%20m%C3%A9thode_distillation%20fractionn%C3%A9e%20(1).pdf)
- [19] 44FAO, 2007 «Production mondiale du pommier», Organisation Mondiale de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2p
- [20] MADR, 2013 «Statistiques Agricoles», bulletin du Ministère de l' Agriculture et du Développement Rural, 3p.
- [21] Ferree, D. and Warrington, I. (2015) Apples Botany, Production and Uses, Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015.
- [22] USAD (2018) *Fresh Deciduous Fruit : World Markets and Trade (Apples, Grapes & Pears*
- [23] Nacional, C. and Alimentación, D. (2009) *Tablas Peruanas De Composición De Alimentos*.
- [24] Sites.google.com
- [25] Guide des différentes variétés de pommes <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/guide-varietes-pommes-pommiers.1468.html>
- [26] Belitz, H. D. and Grosch, W. (2009) *Food Chemistry Berlin Allemagne: Springer Verlag*.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Nicolas, J. J. *et al.* (1994) 'Enzymatic browning reactions in apple and apple products.', *Critical reviews in food science and nutrition*. United States, 34(2), pp. 109–157.
- [30] *DSA direction des services agricole de la willaya 2009*.
- [31] Lahbari M, 2015. Etude et simulation du séchage de l'abricot : Application a quelques variétés de la région des Aures. Thèse de doctorat, Université de Batna, 20-30 p.
- [32] Baert J-P., 1999. Agroalimentaire. Techniques de l'ingénieur. F100: Vol. Génie des Procédés.
- [33] [www.fruit-et-legumes.net](http://www.fruit-et-legumes.net)
- [34] Arevalo P. A. Murr F. X., 2007. Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 80: 152–156.

- [35] Ziegelbaum h., 1992. Identification et place des critères de qualité dans un programme d'amélioration variétale de l'abricotier. Mémoire de maîtrise de l'université d'angers, station de recherche fruitière méditerranéenne, station de technologie des produits végétaux. INRA Avignon. 30 pages.
- [36] Bimbenet J.J., 1998. Bases conceptuelles du génie des procédés agroalimentaires. Techniques de l'ingénieur, F1000, 19 p.
- [37] Bahlouli F., Tiaiba A., Slamani A., 2008. Etude des différentes méthodes de séchage d'abricot, point sur les méthodes de séchage traditionnelles dans la région du Hodna, wilaya de M'Sila. Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger (2008) 61 - 66.
- [38] (D.S.A., 2013).
- [39] Bauman I., Bobi C, 2005. Time And Speed of Fruit Drying On Batch Fluid-Beds, Sadhana Vol.30, Part 5, October 2005, Pp. 687-698.
- [40] Zöllner H, Giebelmann R ,2007 . Glycosides cyanogènes dans les aliments - culturelles remarques historiques. Deutsche Rundschau Lebensmittel-, 103 (2007), pp 71-77.
- [41] Sefer F, A. Misirli, R. Gulcan, 2006: Une recherche sur les composés phénoliques et en cyanogènes douces et amères kernelled variétés d'abricots. Acta Horticulturae, 701 , pp 167-169.
- [42] Silem HO Günter, J. Einfeldt, A. Boualia, 2006. L'apparition de phénomènes de transport de masse au cours de la lixiviation de l'amygdaline d'amandes d'abricots amères: la désintoxication et l'amélioration de la saveur. International Journal of Food Science and Technology, 41 , pp 201-213.
- [43] Manzoor M, Anwar F, Ashraf E and K.M. Alkharfy 2012: Physico-chemical characteristics of seed oils extracted from different apricot.
- [44] [www.biogranulates.com](http://www.biogranulates.com) .
- [45] [www.wilaya-batna.gov.dz](http://www.wilaya-batna.gov.dz).
- [46] 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.
- [47] Richard Giasson. Cours de chimie de l'université de Montréal. Spectroscopie
- [48] M. Le moniteur de l'internat. Tome 1. Toxicologie Sciences Mathématiques, Physiques et chimiques. Ed : Wolters Kluwer. 2005
- [49] Fiche mesure d'un indice de réfraction avec le réfractomètre d'Abbe
- [50] Fiche technique-indice de réfraction, 1<sup>ère</sup> STL-SPCL Chimie et développement durable [https://spcl.acmontpellier.fr/moodle/pluginfile.php/3367/mod\\_resource/content/8/Fiche%20indice%20e%20refraction.pdf](https://spcl.acmontpellier.fr/moodle/pluginfile.php/3367/mod_resource/content/8/Fiche%20indice%20e%20refraction.pdf)
- [51] Refractive index measurement principle
- [52] N.Bouzidi et F.Aribi, Valorisation et Etude de la Qualité Nutritionnelle, Microbiologique et Organoleptique du sirop de Dattes RUB et son utilisation, Projet de fin d'Etude, Sciences Agronomiques, spécialité Technologie Agroalimentaire, 1998.
- [53] Wine Update 2 08fr.indd-Lallemand Wine
- [54] Agenda Lumière 1930 Paris : Société Lumière & Gauthier Villars, 543p. (p.25)
- [55] <https://slideplayer.fr/amp/1193882/>
- [56] Identification spectrométrique de composés organiques – Robert M Silverstein



- [57] Helga-Jane Scarwell : Biocarburant, les temps changent !
- [58] (la directive européenne 2003/30/CE du 08 mai 2003, reprise par la directive 2009/28/CE)
- [59] Indice de réfraction, <https://forums.futura-sciences.com/chimie/403047-indice-de-refraction.html>

## ملخص:

يحتل إنتاج التفاح والمشمش مكانة كبيرة في الزراعة الجزائرية تحديدا في منطقة الاوراس ولاية خنشلة، ونظرا لكون جزء كبير من هذا الانتاج نفايات (بقايا فواكه فاسدة) غير قابلة للتسويق. اقترحنا حل للاستفادة من هذه النفايات من خلال تحويلها الى منتج جديد له فائدة صناعية واقتصادية كبيرة وكذلك له طابع عضوي يقلل من التلوث ومصدر بديل للطاقة. لتحقيق هذه الغاية ، حاولنا إنتاج الإيثانول الحيوي عن طريق التخمير الكحولي لنفايات التفاح والمشمش المنتجة في ولاية خنشلة تحديدا في بلدية بوحمامة المنطقة الأولى المنتجة لهتين الفاكهتين في الجزائر. مع مراعاة تحسين العوامل التي تؤثر على كمية مردود الايثانول.

**كلمات مفتاحية:** الايثانول الحيوي، التخمير الكحولي، النفايات، عضوي.

## Résumé :

la production de pomme et d'abricot occupe un grand rang dans l'agriculture Algérienne précisément dans la région des Auresse à la willaya de Khenchela. une partie de celle-ci (déchets) reste non commercialisable. nous avons proposer de valoriser ce dernier par la transformations en un nouveau produit qu'a un grand intérêt industriel et économique ainsi qu'a le caractère bio ce que réduit la pollution et une source d'énergie alternative. à cet effet nous avons essayé de produire du bioéthanol par fermentation alcoolique des déchets de pomme et d'abricot produits dans la willaya de khenhela à la région de Bouhmama la première productrice des deux fruits dans l'Algérie. on tient compte de l'optimisation des paramètres influents sur le rendement en éthanol.

**Mots Clés :** bioéthanol, fermentation alcoolique, déchets, bio.

## Abstract :

Apple and apricot production ranks high in Algerian agriculture, part of it (waste) remains non-marketable. 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 Aurèsse region in eastern Algeria, the first producing region of two fruits in Algeria. The optimization of the parameters influencing the ethanol yield is taken into account.

**Key Words:** bioethanol, alcoholic fermentation, waste, organic.