



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de  
la vie  
Département des sciences de la nature et de la vie  
Filière : Biotechnologie

Référence ..... / 2024

# MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

---

Présenté et soutenu par :  
**BENRAHMANI Soundous Roumaïssa**  
**DERRADJI Lamis**

Le  
26/06/2024

## Synthèse : Valorisation des produits et sous produits du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*)

---

### Jury:

BOUATROUS YAMINA	PR	BISKRA	Président
<b>MEGDOUD Amel</b>	<b>MAA</b>	BISKRA	Rapporteur
MEDOUR ASMA	MCB	BISKRA	Examineur

Année universitaire: 2023-2024

# Remerciement

*Nous remercions **Allah** qui nous a donné la capacité suffisante  
pour terminer ce travail*

*Nous remercions notre rapporteur madame **MEGDOUD Amel**  
pour ses conseils, ses encouragements qu'elle a prodigués  
tout au long de notre encadrement*

*Nous étions extrêmement chanceuses d'avoir un rapporteur qui se souciait  
tellement de notre travail et qui a répondu à nos questions*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury qui ont bien voulu lire  
et examiner notre travail*

*Un merci spéciale à tous ceux qui nous ont soutenus pour terminer notre travail*

# Dédicaces

*Tout d'abord, je remercie dieu, notre créateur de m'avoir donné la force,  
la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail*

*Je dédicace ce travail*

*À **MA MÈRE**, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes  
et qui m'emmène aux chemins de la réussite pour tous ses sacrifices  
consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa  
présence dans ma vie.*

*À **MON PÈRE** que je remercie énormément  
pour ses efforts et ses conseils*

*À mes chers frères et sœurs : **AYOUB, OUSSAMA, BILAL, ISHAK,  
ASMA***

*À mon fiancé : **MOUNIR***

*A Mes tout chers amis (es) : **HAYET, HADJER, ZOUHRA, AMAL, RIMA** qui  
m'ont aidé et soutenu dans la réalisation de ce modeste travail et ma binôme  
et mon amie **LAMISSE***

*À tous ce je connais sans exception*

*À tous mes enseignants sans exception*

*A tout ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail*

**SOUNDOUS ROUMAÏSSA**

# Dédicaces

*Avant tout je remercie "Allah" tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté  
et la force pour accomplir ce modeste travail.*

*À notre chère patrie, l'Algérie*

*Palestine, le pays de la fierté*

*Au sourire de la vie auquel je ne rendrai jamais justice, ma mère,*

*Que Dieu la protège*

*À mon soutien dans ce monde, , **MON CHER PÈRE***

*À mes chères frères et sœurs **WIDAD ,OUSSAMA ,ZOHUIR,FATIMA***

*A mes neveux **AMER ,ILYAS***

**LAMISSE**

# Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Table des matières

Liste des tableaux .....	I
Liste des figures .....	II
Liste des abréviations.....	IV
Introduction .....	1

## Partie bibliographique

### Chapitre 01:Généralités sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L*)

1. Taxonomie et position systématique .....	3
2. Description botanique.....	3
2.1. Arbre .....	3
2.2. Tronc .....	4
2.3. Ecorce .....	4
2.4. Bois .....	4
2.5. Racines .....	5
2.6. Feuilles .....	5
2.7. Organes reproducteurs .....	6
3. Exigences écologiques du caroubier.....	7
3.1. Climat.....	7
3.1. Sol .....	8
3.2. Apport en eau .....	8
4. Description géographique .....	8
5. Production de la caroube .....	9
5.1. Dans la monde.....	9
3.1. Dans l'Algérie.....	10

### Chapitre 02:Utilisation du caroubier(*Ceratonia siliqua L*)

1. Utilisation de l'arbre.....	12
4. Utilisation des feuilles.....	12
5. Utilisation des gousses.....	12
6. Utilisation de la pulpe.....	13
7. Utilisation des graines.....	13

### **Partie expérimentale**

#### **Chapitre 03: Matériel et méthodes**

1. Utilisation de la graine de caroube : .....	17
1.1. Fabrication de la Gomme de caroube .....	17
1.2. Fabrication de la Farine de germe :.....	18
2. Utilisation des gousses de caroube :.....	19
2.1. Fabrication du sirop de caroube.....	19
2.2. Extraction des sucres : .....	20
2.2.1. Extraction aqueuse de pulpe de caroube .....	20
2.3. Fabrication d'éthanol : .....	20
3. Utilisation de la pulpe de caroube : .....	22
3.1. Fabrication d'un pain traditionnel :.....	22
3.2. Fabrication d'un cake.....	23
3.3. Fabrication des flocons .....	24

#### **Chapitre 04: Résultats et discussion**

1. Utilisation la graine de caroube : .....	26
2. Utilisation des gousses de caroube.....	27
2.1. Fabrication du Sirop de caroube : .....	27
2.2. Extraction des sucres.....	32
2.3. Fabrication de l'éthanol .....	37
3. Utilisation de la pulpe de caroube : .....	41
3.1. Fabrication du pain traditionnel et du cake avec de la farine de caroube :.....	41
Conclusion.....	44
Liste Bibliographique.....	46

**Annexe**

**Résumé**



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Classification classique et phylogénétique de <i>Ceratonia siliqua L</i>	3
<b>Tableau 2</b> : Production mondiale de la caroube (FAOSTAT, 2019) <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
<b>Tableau 3</b> : Estimation de la surface cultivé, production et rendement de la caroube en Algérie DSA de Tlemcen (2009)	11
<b>Tableau 4</b> : Ingrédients des trois formules du pain traditionnel (Salih et Jilal, 2020)	23
<b>Tableau 5</b> : Ingrédients des quatre formules du cake (Salih et Jilal, 2020)	24
<b>Tableau 6</b> : Ingrédients retenus pour la fabrication des flocons (Salih et Jilal, 2020)	25
<b>Tableau 7</b> : Composition en acides gras des huiles issues de germes de graines de caroube	27
<b>Tableau 8</b> : Composition des sirops de caroube obtenus par deux techniques de broyage	32
<b>Tableau 9</b> : Comparaison des paramètres cinétiques de production de l'éthanol	35
<b>Tableau 10</b> : Paramètres cinétiques de production d'éthanol avec et sans contrôle du ph.	40
<b>Tableau 11</b> : Paramètre cinétique de production d'éthanol pour différentes tailles d'inoculum avec contrôle ph (ph=5.5) (Turhan et <i>al.</i> , 2010)	40
<b>Tableau 12</b> : Test Ch-carré des réponses des dégustateurs selon le sexe. (Salih et Jilal, 2020)	41

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Allure de l'arbre du caroubier (Tous <i>et al.</i> , 2013) -----	4
<b>Figure 2:</b> Le tronc de caroubier dans le village de Sahel Bouzeuguène (Berrabah , 2020)-----	4
<b>Figure 3 :</b> Racine du caroubier -----	5
<b>Figure 4 :</b> Les feuilles de caroubier -----	6
<b>Figure 5 :</b> Fruits du caroubier (gousse verte à gauche et murs à droite (Battle et Tous, 1997) ----	4
<b>Figure 6 :</b> Effet de la température sur le rendement d'extraction du sirop -----	28
<b>Figure 7 :</b> Effet du temps sur le rendement d'extraction du sirop (El Bata <i>et al.</i> , 2013) -----	28
<b>Figure 8 :</b> Effet du rapport eau/pulpe sur le rendement d'extraction du sirop (El Bata <i>et al.</i> , 2007) -----	29
<b>Figure 9 :</b> Caractéristiques physico-chimiques des sirops de caroube étudiés A: g/100 g matière sèche ; B: mg acides totaux/100 g matière sèche; C: mg équivalent acide gallique /100 g matière sèche ; aw : L'activité de l'eau (L * ; a* ;b*) : Les paramètres de couleur . Les résultats de la même ligne suivis par des lettres différentes sont statistiquement différentes (P <0,05) -----	30
<b>Figure 10 :</b> Capacités émulsifiantes et rétention d'huile des sirops de caroube étudiés en comparaison avec des émulsifiants alimentaires (LS : lécithine de soja, MG : mono-glycérides, GA : gomme arabique). -----	31
<b>Figure 11 :</b> Extraction aqueuse des sucres de la pulpe de caroube à 4°C (Hjaji <i>et al.</i> , 2016)-----	32
<b>Figure 12 :</b> Taux d'extraction aqueuse des sucres de la pulpe de caroube en fonction du temps à 4°C et à une température ambiante (Hjaji <i>et al.</i> , 2016)-----	33
<b>Figure 13 :</b> Résultats de la production d'éthanol ( Ecran <i>et al.</i> , 2013) -----	34
<b>Figure 14 :</b> Résultats de l'ANOVA pour le modèle quadratique sélectionné de fermentation éthanolique à partir de caroube extrait de gousse (Ecran <i>et al.</i> , 2013) -----	34
<b>Figure 15 :</b> Consommation du sucre et production de l'éthanol (Ecran <i>et al.</i> , 2013)-----	37
<b>Figure 16:</b> Rendement d'extraction des sucres contenus dans les échantillons de gousses de caroube à l'aide d'eau à une température ambiante. (Turhan <i>et al.</i> , 2010) -----	38
<b>Figure 17 :</b> Cinétique de fermentation d'extraits aqueux à cellules libres -----	38
<b>Figure 18 :</b> Production de l'éthanol avec et sans contrôle du ph (Turhan <i>et al.</i> , 2010) -----	39
<b>Figure 19 :</b> Type d'inflorescence du caroubier a : fleure femelle, b :gousses ; c : fleure male ----	3
<b>Figure 20:</b> les graine de caroube avant et après le transformation (Berrabah.,2020) -----	3

## Liste des abréviations

**Germe A** : germes purs, issus d'une extraction acide

**Germe AC** : (germes contaminés par des fractions fines d'enveloppe et d'endosperme, issues d'une extraction acide) ;

**Germes W** : (germes purs, issus de l'extraction à l'eau).

**PEG** : polyéthylène glycol

**Ns** : Normale salin

**NaOH** : Hydroxyde de Sodium

**MgSO<sub>4</sub>** : Magnésiums sulfate

**KH<sub>2</sub>PO** : Potassium dihydrogène phosphate

**KH<sub>2</sub>PO** : Chlorure de calcium dihydraté de haute pureté

**NH<sub>4</sub>** : Ammonium

**CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O** : Chlorure de Calcium

**Brix** : Unité de mesure de la teneur en sucre d'une solution aqueuse.

**APG III** : 3<sup>ème</sup> classification botanique phylogénique des angiospermes

# **Introduction**

# Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), qui appartient à la famille des Fabacées, est une plante qui pousse presque exclusivement dans la région méditerranéenne et au levant (Benmahioul et *al.*, 2011). Il a récemment retenu l'attention en raison de sa capacité à tolérer les pénuries d'eau et les températures élevées (Biner et *al.*, 2007).

Le mot caroubier vient de l'arabe el kharroub. Il est connu sous le nom scientifique de *Ceratonia siliqua L.* Ceratonia, du grec keratia, désigne une petite corne et le nom d'espèce siliqua, désigne en latin une siliqua ou gousse. Il est aussi appelé Carouge, Pain de Saint Jean-Baptiste, figuier d'Egypte, fève de Pythagore (Batle et Tous, 1997).

Le caroubier est une plante utilisée dans les domaines agro-sylvo-pastorals, offrant ainsi des revenus supplémentaires aux communautés rurales des régions montagneuses qui sont souvent en situation de précarité, (Naggar et Lahssini, 2015). Le bois du caroubier est utilisé dans la fabrication d'ustensiles et la production de combustible (Batle et Tous, 1997).

Notre travail s'inspire de l'intérêt économique et de l'industrialisation des produits sous produits du caroubier : *Ceratonia siliqua L* ; ce qui la rendra sujet de plantation sur une large surface. Pour cela ; nous avons abordé beaucoup plus l'utilisation alimentaire des produits et sous produits du caroubier *Ceratonia siliqua L*. Ce qui nous a mener à réaliser une étude synthétique des travaux de valorisation des produits et sous produit de caroubier : gomme ; farine ; gousses ; graines et enfin pulpe.

Notre étude, comporte :

- Une partie bibliographique englobant les généralités sur l'espèce *Ceratonia silica L*, dans un premier chapitre et celles sur l'utilisation des produits et sous produit de *Ceratonia silica L*, dans un deuxième chapitre.

- Une partie expérimentale subdivisée en deux chapitres :

L'un présentant « matériel et méthodes » où nous avons synthétisé à partir des travaux collectés ; le matériel et les méthodes utilisés dans la valorisation des produits et sous produits de caroubier. Le chapitre « résultats et discussion » est une synthèse de recherche fondamentale arborant et discutant les résultats des publications scientifiques traitées faisant l'objet de cette étude

# **Partie**

# **Bibliographique**

**Chapitre 01**  
**Généralités sur**  
**le caroubier**  
*(Ceratonia siliqua L)*

## 1. Taxonomie et position systématique

D'après les méthodes de Cronquist (1981) cité dans Kocherane (2021) et APG III (2009). Le tableau 1 suivant présente la classification de *Ceratonia siliqua L*

**Tableau 1 :** Classification classique et phylogénétique de *Ceratonia siliqua L*

Classification pré- phylogénétique (Cronquist (1981) cité dans Kocherane (2021))		Classification phylogénétique (APGIII, 2009)	
Règne	Plantae	règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta	clade	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphytes		Magnoliopta
Sous- embranchement	Magnoliophyta		Rosidés
Classe	Magnoliopsia		Rosidés I
Sous-classe	Rosidae		ordre
Ordre	Fabales	famille	<i>Fabaceae</i>
Famille	Caesalpinjiaca	Sou-famille	Caesalpiidae
Sous-famille	<i>Caesalpinioia</i>	genre	<i>Ceratonia</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>	espèce	<i>Ceratonia siliqua L</i>

## 2. Description botanique

### 2.1. L'arbre

*Ceratonia siliqua L* est un arbre ou un arbuste sclérophylle qui se développe lentement (Fig.1). Il peut atteindre une hauteur de 7 à 10 mètres, voire 15 à 20 mètres en Orient, et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3 mètres (Batlle et Tous, 1997 ; Ait chitt *et al.*, 2007).

Sa cime est très large et arrondie. Il s'agit d'un arbre xérophile dont la durée de vie dépasse largement les 200 ans (Rejeb *et al.*, 1991) ; (Benmahioul *et al.*, 2011).



**Figure 1:** Allure de l'arbre du caroubier (Tous *et al.*, 2013)

## **2.2. Tronc**

D'après Melgarejo et Salazar (2003) cité dans Kocherane (2021), le caroubier se distingue par son tronc épais, très crevassé et solide, ainsi que par ses larges canaux de circulation de la sève, qui sont liés aux racines les plus profondes. Cela lui donne un aspect tortueux, semblable à celui d'un olivier. Selon Albanell (1990), les arbres épais et âgés ont un tronc tortueux et sinusoïdal, avec un diamètre moyen de 50 cm en fonction de leur âge

## **2.3. Ecorce**

Lorsque l'arbre est jeune, cette espèce ligneuse présente une écorce lisse et grise, puis devient brune et rugueuse à l'âge adulte. Selon Melgarejo et Salazar (2003), cité dans Kocherane (2021) ; l'écorce présente une rugueuse base de couleur grise à rougeâtre, tandis que l'écorce est lisse sur la partie supérieure du tronc et à la base des branches.

## **2.4. Bois**

Lorsque l'arbre est jeune, son bois présente une teinte blanc-jaunâtre, puis devient rose veiné, puis rouge foncé et dur en vieillissant. Il jouit d'une grande popularité dans les domaines

de l'ébénisterie, de la marqueterie, de l'armurerie, du charronnage et de la fabrication du charbon (Boudy, 1950 cité dans Kocherane, 2021 ; Benmahioul *et al.*, 2011).

### **2.5. Racines**

Le système racinaire pivotant de cet arbre peut atteindre une profondeur de 18 mètres Kocherane (2021).

Selon Aafi (1996) et Melgarejo et Salazar (2003), cette espèce est classée parmi celles qui ont un système racinaire très étendu et spécialement réparti en surface.



**Figure 2 :** Racine du caroubier (2001)

### **2.6. Feuilles**

Les feuilles sont solides, mesurant de 10 à 20 cm de longueur, et se distinguent par un pétiole sillonné à l'intérieur et un rachis avec habituellement de 4 à 10 folioles, opposés. Elles sont ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet (Fig.4). Avec une teinte verte éclatante à la partie supérieure et une teinte verte pâle à la partie inférieure (Diamantoglou et Mitrakos, 1981 ; Rejeb, 1995 ; Ait Chitt *et al.*, 2007 ; Bock, 2012). Tous les deux ans, le caroubier perd ses feuilles en juillet, puis elles sont renouvelées au printemps de la même année. , en Avril et Mai (Aafi, 1996 ; Ait chitt *et al.*, 2007



**Figure 3 :** Les feuilles de caroubier

## **2.7. Organes reproducteurs**

Selon Batlle et Tous (1997), le caroubier est une plante dioïque, parfois hermaphrodite et rarement monoïque. Selon Rejeb (1995), les pieds mâles sont stériles et improductifs.

### **2.7.1. Fleurs**

Selon Von Haselberg (1998), le caroubier a été classé traditionnellement en fonction de la teinte de ses fleurs, ce qui a permis de distinguer les arbres à "fleurs jaunes et rouges". Cependant, ce critère semble être insuffisant et indépendant des autres caractéristiques florales. Des variétés à fleurs jaunes et d'autres à fleurs rouges sont présentes dans les caroubiers à inflorescences mâles.

Selon Albanell (1990 ; Aafi 1996 ; Benmahioul *et al.* 2011). La morphologie des fleurs de cette espèce est extrêmement complexe : on peut distinguer des inflorescences mâles avec des étamines courtes ou longues, des inflorescences femelles avec des étamines rudimentaires, et parfois, des inflorescences hermaphrodites sont caractérisées par un pistil et des étamines fonctionnelles au sein d'une même fleur.

## 2.8. Fruit

Le fruit du caroubier, également connu sous le nom de caroube ou de carouge, est généralement considéré comme un fruit sec, même s'il présente une pulpe (Albanell, 1990). Le développement de la caroube est très lent, avec une durée de développement de 9 à 10 mois pour atteindre sa maturité (Batlle et Tous, 1997).

Une croissance rapide des gousses au printemps ; la gousse se mature et se solidifie en juin-juillet. Ces gousses sont solides et de grande taille, mesurant entre 10 et 30 cm de longueur, 1,5 à 3,5 cm de largeur et 1 à 2,5 cm d'épaisseur. Chaque gousse a une masse de 15 à 40 g (Ait chitt *et al.*, 2007).

## 2.8. La graine

Le caroubier présente des graines de petite taille et d'une forme presque ovale. selon Albanell (1990), le tégument est habituellement lisse, solide, de teinte brune rougeâtre et brillant. Elles ont une longueur de 8 à 10 mm, une largeur de 6 à 8 mm et une épaisseur de 3 à 5 mm (Batlle et Tous, 1997 ; Gharnit *et al.*, 2006 ; (Mahdad et Guaour, 2016).

## 3. Exigences écologiques du caroubier

Le caroubier se développe dans les régions des plateaux et des moyennes montagnes jusqu'à 1700 mètres d'altitude (Baum, 1989 ; Zouhair, 1996 ; Sbay et Abrouch, 2006).

### 3.1. Climat

Le climat des régions favorables à la culture du caroubier est le méditerranéen subtropical, avec des hivers doux, des printemps douces à chauds et des étés chauds à très chauds et secs (Batlle et Tous, 1997). Le froid hivernal n'est pas nécessaire pour les arbres adultes, car ils peuvent être endommagés si les températures baissent en dessous de -2°C ou -4°C selon les variétés. Le caroubier ne supporte pas des températures inférieures à -7°C pendant l'hiver (Batlle et Tous, 1997). Il est reconnu comme l'une des espèces méditerranéennes les plus exposées aux dégâts provoqués par les températures basses (Albanell, 1990).

Toutefois, pendant l'été, les arbres peuvent supporter des vents chauds et secs ainsi que des températures élevées allant de 40 à 45 °C, voire jusqu'à 50°C, mais dans des conditions d'humidité adéquates (Albanell, 1990). Il faut entre 5000 et 6000 heures au-dessus de 9°C pour que les fruits soient maturés.

Le caroubier est vulnérable aux vents violents, aux précipitations automnales qui sont en phase de floraison et aux fortes humidités au printemps (Batlle et Tous, 1997).

### 3.1.Sol

Le caroubier est un arbre qui ne nécessite pas un sol spécifique. Il a donc été cultivé traditionnellement sur des terres marginales, ce qui s'explique par sa capacité à produire dans des conditions très réduites et dans des zones où il n'est pas possible de cultiver d'autres espèces, faute de rentabilité (Albanell, 1990).

En règle générale, le caroubier se développe de manière adéquate sur des sols pauvres, rocheux, sablonneux, limoneux lourds, argileux, tout en privilégiant les terrains calcaires avec une texture équilibrée et un bon drainage.

Il ne supporte ni les sols acides ni les sols hydromorphes (risque d'asphyxie et de putréfaction) (Albanell, 1990) ; Sbay et Abourouh, 2006). Il a une préférence pour les sols superficiels (Aafi, 1996 ; Melgarejo et Salazar, 2003). Des plantations de caroubier ont été identifiées (dans la zone du Levant espagnol). À Chypre, on a réussi à cultiver une importante plantation de caroubier sur un sol calcaire à pH = 9 (Morton; 1987).

### 3.2.Apport en eau

Le caroubier est une espèce xérophile qui peut vivre dans des environnements secs et sans irrigation. Il peut parfaitement s'adapter à des environnements où les précipitations moyennes sont compris entre 250 et 500 mm par an (Batlle et Tous, 1997).

## 4. Description géographique

Kocherane (2021) Au Moyen-Orient et dans l'est du bassin méditerranéen, le caroubier semble avoir fait son apparition en pleine nature, notamment en Turquie, à Chypre, en Syrie, au Liban. En premier lieu, il s'est propagé dans la péninsule arabique, puis en Égypte, en Libye et en Tunisie avant d'atteindre l'ouest du bassin méditerranéen. Il est répandu en Grèce et en Italie par les Grecs, puis par les Arabes le long de la côte de l'Afrique du Nord et enfin au sud et à l'est de l'Espagne. Ainsi, sa culture a été répandue dans le sud du Portugal et dans le sud-est de la France (Hillcoat et *al.* 1980).

## 5. Production de la caroube

### 5.1. Dans la monde

Selon les données du FAOSTAT (2013), on estime que la production mondiale annuelle de caroube s'élève à 136 539 tonnes, principalement provenant de la Méditerranée (Afrique du Nord et du Sud de l'Europe). Le Portugal enregistre la production la plus importante, avec 41 909 tonnes, tandis que l'Algérie en produit environ 4 042 tonnes, tandis que le Maroc en produit 21 983 tonnes, qui restent le deuxième pays producteur mondial de caroube (Tableau 2). Les différents pays ne produisent pas simultanément des gousses et des graines, car il y a des disparités dans les rendements en graines entre les cultivars et les variétés sauvages (Batlle et Tous, 1997).

Le siècle dernier a été marqué par une baisse significative de la production mondiale de caroube, passant de 650.000 tonnes en 1945 Orphanos et Papaconstantinou (1969) à 310.000 tonnes en 1997 et à 136 539 tonnes en 2017 Biner et al. (2007) ; FAOSTAT (2019).

En Espagne, la production a connu une importante baisse, passant de 400 000 tonnes en 1930 à 150 000 tonnes en 1990, puis à 2600 tonnes en 2017 MAPA (1994) ; FAOSTAT (2019). D'après Batlle et Tous (1997), la baisse de la production de caroubier a principalement été causée par la diminution des prix et les initiatives de développement des zones côtières qui dépendaient des plantations de caroubier

Le caroubier se manifeste à la fois dans les forêts et dans les arbres. Selon Aafi (1996), il revêt une grande importance tant sur le plan socio-économique qu'écologique car toutes ses composantes (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont bénéfiques et ont des valeurs dans divers domaines.

**Tableau 2** : Production mondiale de la caroube (FAOSTAT, 2019)

<b>Pays</b>	<b>Production en tonnes (2017)</b>
Portugal	41909
Italie	28 910
Maroc	21 983
Turquie	15 016
Grèce	12 528
Chypre	5 378
Algérie	4 042
Espagne	2 600
Lipian	2 226
Tunisie	847
Croatie	452
Ukraine	200
Monde	136 539

### 3.1. Dans l'Algérie

En Algérie, la superficie totale cultivée de caroubier a considérablement diminué, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011. En 2009, la wilaya de Bejaia comptait 69,58 % de la superficie totale, soit 927 ha (tab.3). Tlemcen se classe septième avec une superficie de 5 ha, soit 0,54%.

La production de caroube à l'échelle nationale est estimée à 33841 Qx et elle est principalement concentrée. La Wilaya de Béjaïa produit 18417 Qx, soit 54,42% de la production nationale, suivie de la Wilaya de Blida (23,79%) et de Tipaza (16,55%). Dans la Wilaya d Tlemcen et Mascara, dans le nord-ouest algérien, les caroubiers ne couvrent que 6 hectares, soit 0,65% du pays. La production de caroube est de seulement 0,39 %

**Tableau 3 :** Estimation de la surface cultivée, production et le rendement de la caroube en Algérie DSA de Tlemcen (2009)

<b>Wilaya</b>	<b>Surface cultivées</b>	<b>Production (Qx)</b>	<b>Rendement (qx/ha)</b>
<b>Bejaia</b>	645	18417	28.6
<b>Tipaza</b>	105	5600	53.3
<b>Blida</b>	100	8050	80.5
<b>boume des</b>	32	1080	40.0
<b>Brouira</b>	22	144	6.9
<b>Mila</b>	10	80	8.0
<b>Tlemcen</b>	5	100	20.0
<b>B.B. Arreridj</b>	4	20	5.0
<b>Ain-Defla</b>	2	300	150
<b>Mascara</b>	1	30	30.0
<b>Tizi-Ouzou</b>	1	20	20.0
<b>Total</b>	927	33841	36.5

# **Chapitre 02**

## **Utilisation du caroubier**

*(Ceratonia siliqua L)*

### 1. Utilisation de l'arbre

Selon Battlle et Tous (1997), le caroubier est employé comme plante ornementale dans les jardins et pour la restauration des zones dégradées par l'érosion ou la désertification, en raison de sa faible demande en culture et de sa tolérance aux sols pauvres. À l'heure actuelle, il est reconnu comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus prospères du bassin méditerranéen car toutes ses parties sont très productives.

### 2. Utilisation des feuilles

Différentes recherches ont démontré que l'emploi de feuilles associées au (PEG) améliore la digestion et la qualité nutritionnelle des tanins présents dans les feuilles (Priolo *et al.*, 2000). Ces feuilles ont été employées en Turquie, dans la médecine traditionnelle pour traiter la diarrhée et le traitement de l'obésité (Baytop, 1984 ; Berrougui, 2007).

Selon Corsia *et al.* (2002) et Custodio *et al.* (2011), les extraits de feuilles ont prouvé leur capacité exceptionnelle à entraver la prolifération des cellules tumorales.

Les travaux d'Ibrahim *et al.* (2013), ont montré que les feuilles du caroubier possèdent une activité hépato-protectrice. Ben Hsouna *et al.* (2011), ont constaté que l'extrait de la feuille de caroubier offre quelques avantages pour prévenir les dommages oxydatifs causés par le tétrachlorure de carbone (CCl<sub>4</sub>) dans les articulations des rats.

### 3. Utilisation des gousses

En Égypte, on trouve une grande popularité pour les sirops à base de fruits de caroube (Battlle et Tous 1997). Les Arabes confectionnent une boisson alcoolisée à partir de la pulpe, tandis que les Kabyles préparent un plat appelé tomina à partir du fruit (Bonnier, 1990).

Les gousses de caroube sont principalement employées au Liban pour extraire la mélasse ou le « débés », également appelé mélasse de caroube, et pour fabriquer un produit laitier artisanal appelé « Mekika » (Haddarah *et al.*, 2013)

Autrefois, en Égypte, les gousses de caroubier étaient mélangées à de la bouillie d'avoine, du miel et de la cire pour soigner la diarrhée. Les caroubes étaient également utilisées dans des

produits contre les vermines et traitaient les problèmes visuels et les infections oculaires (Iserin, 1997).

On utilise aussi les extraits de gousses de caroube pour produire de l'éthanol par *Saccharomyces cerevisiae* (Turhan et al. 2010b) ; (Yatmaz et al. 2012) ; (Germeç et al. 2015). Pour produire aussi de l'acide citrique (Makris et Kefalas 2004), de la  $\beta$ -mannanase (Yatmaz et al. 2016) ; (Germeç et al. 2017) et améliorer la production d'acide lactique par *Lactobacillus casei* (Turhan et al., 2010a).

#### 4. Utilisation de la pulpe

D'après certains écrivains (Williams et al. 1995 ; Beaggar et al. 1996 ; Konate, 2007), les fibres solubles présentes dans la pulpe peuvent avoir des effets préventifs ou curatifs sur la santé des êtres humains et des animaux, en réduisant le risque de thrombose et en diminuant la pression sanguine et le taux de cholestérol dans le sang.

On recommande l'utilisation de la pulpe pour traiter la tuberculose pulmonaire et les troubles des bronchies. En décoction, cependant, elle a des propriétés anti-diarrhéiques. Selon Crosia et al., (2002), Gharnit (2003) et Ait Chitt et al.(2007), elle est employée pour soigner diverses affections telles que la gastrite, l'entérite, les angines, les rhumes.

De plus, dans plusieurs pays méditerranéens, la pulpe a été utilisée en fermentation pour la production industrielle de bioéthanol (Merwin ;1981).

#### 5. Utilisation des graines

Le rôle industriel et médical de chaque composant de la graine de caroubier (tégument, endosperme et cotylédon) est crucial, mais la gomme de caroube, obtenue en broyant l'endosperme des graines (Goncalves et Romano ; 2005), demeure le plus crucial. On utilise cette gomme en raison du polyphénol antioxydant présent naturellement dans l'enveloppe.

# **Partie expérimentale**

# **Chapitre 03**

## **Matériel et méthodes**

## Matériel

Produits et sous produits		Région	Références
<b>La Graine de carroube :</b> Fabrication de gomme de caroube		Belgique.	Gillet et <i>al</i> (2014)
		Belgique	Dakia et <i>al.</i> (2003)
		Amérique Australie Japon	Kawamura (2008)
		Amérique	Yousifet <i>al.</i> (2000)
Fabrication de farine de germe		Belgique	Dakia et <i>al.</i> (2003)
<b>Les gousses de caroube</b>	Fabrication du sirop	Tunisie	Tounsi et <i>al.</i> (2020)
		Maroc	El Batal et <i>al</i> (2013)
		Liban	Abi Azar, (2007)
	Extraction de sucre	Maroc	Hajaji et <i>al</i> (2016)
		Turquie	Ecranet <i>al</i> (2013)
	Fabrication éthanol	Espagne	Sánchez-Segado et <i>al.</i> (2010)
		Turquie	Turhan et <i>al.</i> (2010)
Amérique		Box and Behnken (1960)	
<b>La pulpe de caroube</b>	Fabrication de Pain	Maroc	Salih et Jilal (2020)
	Fabrication de Cake		
	Fabrication de Flocons		

Méthodes

Produits et sous produits		Méthode d'utilisation	Références
<b>La Graine de caroube :</b> Fabrication de gomme de caroube		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation des graines</li> <li>• Décutilation par 4 traitement</li> <li>• Dégermination : éliminer de germe et l'écraser.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gillet et <i>al.</i> (2014)</li> <li>• Dakia et <i>al.</i> (2003)</li> <li>• Kawamura (2008)</li> <li>• Yousif.,et <i>al.</i> (2000)</li> </ul>
<b>Fabrication farine de germe</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'extraction à l'eau brouillante (germ W)</li> <li>• L'extraction acide (germ A)</li> <li>• L'extraction acide (germ AC) similar (germ A)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dakia et <i>al.</i> (2007)</li> </ul>
<b>Les gousses de caroube</b>	Fabrication de sirop de caroube	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavage des gousses de caroube avec de l'eau</li> <li>• Coupe des gousses en morceaux</li> <li>• Extraction aqueuse du jus de caroube avec de l'eau bouillante pendant 30min</li> <li>• Mettre en ebullition (70-80) C°</li> </ul>	Leila <i>et al.</i> (2021)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation et séchage des graines</li> <li>• Séparation du sucre par centrifugation</li> </ul>	El Batal <i>et al.</i> (2013)

	Fabrication de mélasse de caroube	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broyage et trempage dans l'eau.</li> <li>• Séries de décantations donnant le jus</li> </ul>	Abi Azar (2007).
	Extraction de sucre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation par centrifugation</li> <li>• Utilisation des agents chimiques</li> <li>• Soumettre le filtre à une fermentation anaérobie</li> </ul>	Hajaji <i>et al.</i> (2016) Ecran <i>et al.</i> (2013)
	Fabrication d'éthanol de carburant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agitation mécanique des gousses</li> <li>• Purification</li> <li>• Fermentation anaérobie</li> </ul>	Sánchez-Segado <i>et al.</i> (2010)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maintien en température 30C°</li> <li>• Maintien du ph 5.5</li> <li>• Fermentation éthanolique 48h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turhan <i>et al.</i> (2010)</li> <li>• Box et Behnken, (1960)</li> </ul>
<b>La pulpe de caroube</b>	Fabrication de pain	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concassage</li> <li>• Broyage</li> <li>• Tamissage de la pulpe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salih et Jilal (2020)</li> </ul>
	Fabrication de cake	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesée de tous les éléments sauf œufs</li> <li>• Le Mélange aux œufs</li> </ul>	
	Fabrication de flacons	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mélange des ingrédients</li> <li>• Etalage de la pate par machine</li> <li>• Séchage à 70C°</li> </ul>	

## **1. Utilisation de la graine de caroube :**

### **1.1. Fabrication de la Gomme de caroube**

On peut extraire et broyer l'endosperme de la graine de caroube afin de produire une poudre blanche appelée « gomme de caroube » selon les étapes suivantes (Gillet *et al.*, 2014)

#### **Etape 01: la séparation des graines**

Les gousses sont laissées séchées pendant environ un mois. Elles sont ensuite écrasées dans les machines d'égrenage, appelées des broyeurs à marteaux. Ces broyeurs- concasseurs sont associés d'une série de tamis qui trient les morceaux cassés selon la taille. Les graines sont encore séparées des morceaux de gousses de même taille en soufflant de l'air dans le mélange (Dakia *et al.*, 2003).

Après la collecte des graines, la séparation de l'endosperme est la première étape de la production de la gomme. Deux étapes à réaliser : la décutilation et la dégermination.

#### **Etape 02: l'élimination des téguments**

La décutilation implique l'élimination des téguments. Afin d'accomplir cela, il existe quatre méthodes principales : un traitement chimique, un traitement physique, un traitement mécanique et un traitement par trempage (Gillet *et al.*, 2014)

Selon Wielinga (1990) cité par Gillet *et al.*, (2014), le traitement chimique implique la combustion des enveloppes coriaces en utilisant un traitement à l'acide sulfurique. Les fragments restants peuvent être éliminés grâce à un lavage et un brossage. Selon Kawamura (2008), cette méthode permet d'obtenir une gomme de caroube blanche et à haute viscosité.

La méthode physique consiste à briser l'enveloppe de manière plus ou moins complète par rôtissage (100 °C). Dans des machines abrasives, elle se détache ensuite facilement du reste de la graine (Wielinga, 1990) cité par (Gillet *et al.*, 2014)

Selon Yousif *et al.* (2000), il est conseillé de rôtir la gomme pendant 60 minutes à une température de 150 °C afin d'obtenir une gomme de qualité supérieure. La gomme de caroube réalisée par rôtissage est légèrement plus foncée (Kawamura, 2008). Le processus mécanique consistera à séparer la coque du mucilage de la graine en les passant à travers des broyeurs à marteaux ou autres outils de décortique et de dégermage. Le traitement de trempage des graines consiste à tremper les graines entières ou en morceaux

dans une solution aqueuse.

Ensuite, passées en congélation. Le liquide absorbé congelé augmente le volume des graines, ce qui entraîne un détachement important des différents composants, au point que la coque et l'embryon peuvent être facilement retirés par passage dans un séparateur mécanique.

#### **Etape 03: La Dégermination**

Elle consiste à éliminer le germe. Il est écrasé à l'aide d'un broyage mécanique et principalement éliminé par tamisage. La gomme de caroube est fabriquée en broyant les endospermes en fines particules (Gillet *et al.*, 2014).

#### **Etape 04: La clarification**

Selon Kawamura. (2008), on qualifie la gomme de caroube de clarifiée (extraite et purifiée). La précipitation de la gomme de caroube se fait à l'aide d'un polysaccharide non soluble (miscible à l'eau), soit par la formation de complexes métalliques.

Gillet *et al.* (2014) avancent qu'ils utilisent principalement la précipitation à l'éthanol. La purification par précipitation à l'isopropanol et le méthanol peut se faire aussi. Certains écrivains font également appel à la précipitation en utilisant des complexes de cuivre.

#### **1.2.Fabrication de la Farine de germe :**

Au moins trois procédures d'extraction ont été réalisées pour la fabrication de la farine de germe (Dakia *et al.*, 2007) .

- Le GermW (germes purs, provenant de l'extraction à l'eau bouillante) a été produit après un prétraitement thermique aqueux des graines de caroube dans les conditions suivantes : 100 g (environ 780 graines) de graines complètes sont plongés dans 800 ml d'eau bouillante pendant une durée de 60 minutes. La séparation des éléments (enveloppe, endosperme et germe) des graines gonflées, sans rupture du tégument, a été alors aisée par la manipulation. Par la suite, une farine de germe pure a été produite en séchant (100 °C ;30 min) et en broyant la partie germinale
- Le GermA (germes purs, provenant d'une extraction acide) est obtenu après avoir préalablement traité les graines de caroube avec de l'acide dans les conditions suivantes : Ajouter 100 g de graines à 60 ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O 60/40 v/v) à une température de 60 °C pendant 60 minutes.

Les graines pelées ont été soigneusement lavées avec de l'eau et frottées afin de retirer l'enveloppe carbonisée, puis tamiser à l'aide d'un tamis de 2 mm. Les fragments de graines ont été

séchés à une température de 100 °C pendant 30 minutes, puis brièvement broyés (10 graines pendant 2 à 3 secondes) à l'aide d'un broyeur de laboratoire (modèle MF 10, IKA, Staufen, Allemagne) afin de libérer le germe qui s'était détaché en morceaux en raison de sa friabilité accrue.

- Le GermAC (germes contaminés, provenant d'une extraction acide) est isolé en utilisant un prétraitement acide, similaire au GermA, et en éliminant uniquement les fragments d'endosperme. Les résidus de coque et d'endosperme étaient légèrement présents dans cette farine de germes, ce qui la rendait plus semblable à celle obtenue par un processus technologique. La farine obtenue était semblable à celle obtenue précédemment.

## **2. Utilisation des gousses de caroube :**

### **2.1. Fabrication du sirop de caroube**

Selon Tounsi *et al.* (2021) ; la production du sirop de caroube est réalisée en laboratoire selon la méthode classique. Elle passe par le lavage des gousses de caroube avec de l'eau, puis les couper en morceaux. Ensuite à une extraction aqueuse du jus de caroube avec de l'eau bouillante, avec un rapport solide/liquide de 1/4 (g/l), pendant 30 minutes. Une fois filtré, le jus est purifié en ébullition à pression atmosphérique jusqu'à ce qu'il atteigne le niveau de brix désiré (60, 70 et 80 °Brix).

Les travaux d'El Batal *et al.* (2013) au Maroc annoncent que la production de sirop à partir des gousses a nécessité la séparation des graines et un séchage à 40 °C pendant une journée. Par la suite, ils ont suspendu 100 g de pulpe, mesurant en moyenne 0,5 à 1,0 cm, dans de l'eau (rapport eau/brut matériau, 1 à 3 en v/w) et agiter dans des conditions expérimentale.

L'extrait des sucres et la phase solide ont été séparés grâce à la centrifugation.

Au Liban, Abi Azar (2007) avance que le principal usage des gousses de caroube est d'extraire la mélasse ou « débés », qui est produite par broyage, trempage dans de l'eau et par une série de décantations qui donnent un jus sucré. Ce jus est bouilli afin d'obtenir ce qu'on nomme la mélasse de caroube.

Un autre produit laitier fabriqué est peut être aussi fabriqué à partir des gousses de caroube. Artisanalement appelé « mekika ». L'obtention de ce produit se fait en coagulant le lait avec l'extrait de gousses vertes de caroube.

## 2.2. L'extraction des sucres :

### 2.2.1. Extraction aqueuse de pulpe de caroube

L'opération d'extraction des sucres des gousses de caroube s'effectue après enlèvement des graines puis séchage et broyage des gousses de caroube. La farine obtenue mélangée à de l'eau distillée avec un rapport S/V (g/ml) 1/4. (Ecran et *al.*, 2013)

Selon Hjaji et *al.* (2016), Après 24 heures de macération, le résidu est séparé de la partie liquide par une machine centrifuge à 2000 tours/minute pendant 10 minutes, et soumis à une deuxième et troisième extraction dans les mêmes conditions.

Les trois filtrats sont mélangés pour mesurer la quantité de sucres extraits. Après la troisième extraction, la partie solide est séchée et pesée pour estimer la masse des dissous de la pulpe. L'effet de la température 4°C et de la température ambiante ainsi que le rapport S/V (l'effet la mass de la farine et volume de l'eau sur les sucres extrait)

### 2.2.2. Hydrolyse de la pulpe de caroube

Après la macération, l'eau distillée ne permet pas la dissolution des sucres. Pour en tirer profit, le résultat de macération s'unit un traitement d'hydrolyse en présence d'acide ou de base pour attaquer en masse les matières ligno cellulosiques restantes.

A cet effet différents agents chimiques pour l'étude de l'hydrolyse, tels que les acides (sulfurique, tartrique et oxalique) et les bases (hydroxyde de sodium et hydroxyde de potassium) à la température de 80° C pendant huit heures.

Dans le cas de l'acide sulfurique, d'autres températures ont été explorées. D'autres tests, utilisant l'acide sulfurique et l'hydroxyde de sodium ont été appliqués à T 100 °C pendant dix heures sur la poudre de pulpe de caroube directement sans macération dans l'eau

## 2.3. Fabrication d'éthanol :

Les gousses de caroube sont broyées (sans graines) .Selon Ecran et *al.* (2013) Deux types de levures ont été utilisés *Saccharomyces saccharum*. (Sánchez-Segado et *al.*, 2010)

### 2.3.1. Extraction des sucres:

L'extraction du sucre des gousses de caroube (S) a été effectuée en utilisant de l'eau (L) à des rapports différents L/S. On a mis 50 g de gousse de caroube broyée dans une quantité suffisante d'eau et on les a mécaniquement agités dans des flacons ouverts à température

ambiante (20-25 °C) jusqu'à ce qu'on atteigne un équilibre d'extraction. Par la suite, le mélange a subi une filtration et l'extrait a été examiné pour sa concentration en sucres totaux. Le rendement en sucre total dans l'extrait a été calculé en utilisant l'équation suivante (Sánchez-Segado *et al.*, 2010).

$$T.S \left( \% \frac{W}{W} \right) = \frac{\text{sucre total dans la solution}}{\text{sucre totale montante de gousse de caroube broyée}} \cdot 100$$

### 2.3.2. Fermentation

La fermentation anaérobie a été effectuée dans une cuve de fermentation de 3 L, équipée de différentes installations pour prélever les échantillons d'éthanol, contrôler la température et utiliser un agitateur. L'extrait aqueux du test d'extraction du sucre est utilisé comme matière première. Avant de verser cet extrait aqueux dans la cuve de fermentation, les résidus solides sont éliminés à l'aide d'un tamis vibrant avec un maillage de 0,5 mm. (Sánchez-Segado *et al.*, 2010)

Par la suite, on ajoute du phosphate d'ammonium (3,2 g/L), du sulfate de potassium (1 g/L) et du magnésium. La solution aqueuse précédente était enrichie en nutriments inorganiques, tels que du sulfate (1,8 g/L).

Le pH a ensuite été réduit à 3,5-4 avec de l'acide sulfurique dilué. La solution finale a été chauffée jusqu'à ébullition et refroidie à une température de 35 °C.

Cette solution finale est placée dans le réacteur de fermentation thermostaté à une température de 35°C ; agité à une vitesse de 125 tr/min. Par la suite ; l'ajout des cellules libres (15 g/L) comme levure pour la transformation du sucre en éthanol.

La mesure de la densité des solutions hydro-alcooliques obtenues et la chromatographie en phase gazeuse à l'aide d'un HP-INNOWAX ont permis de déterminer l'évolution du processus de fermentation.

Une analyse semi-quantitative par HPLC des monosaccharides et des oligosaccharides présents dans le bouillon de fermentation en utilisant une colonne CarboPac PA1-PG1, un PED, Dionex 2010I, avec une teneur en NaOH de 6,0 g/l.

La croissance microbienne a été étudiée en utilisant des mesures de population à l'aide d'une chambre Neubauer comme méthodes analytiques supplémentaires (Sánchez-Segado et al., 2010)

### **2.3.3. Fermentation à l'éthanol :**

Selon Turhan et al. (2010) ; le milieu de fermentation de base (glucose/extrait de levure) est composé de 50 g de glucose, 6 g d'extrait de levure, 0,3 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 4 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 1 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  et 1,5 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , par litre d'eau déminéralisée

La fermentation à l'éthanol a été réalisée dans un bioréacteur Sartorius Biostat B Plus (Allentown, PA) avec un récipient de 2,5 L (volume de travail de 1,5 L). La température a été maintenue à 30 °C et la vitesse d'agitation était de 150 tr/min sans aération. Le pH a été maintenu à 5,5 en utilisant l'ajout automatique de NaOH 4 N. Les inocula de toutes les fermentations ont été cultivés pendant 24 h à 30 °C. Après inoculation, la fermentation éthanolique a été réalisée pendant une période de 48 h avec prélèvement d'échantillons toutes les 1 ou 2 h.

## **3. Utilisation de la pulpe de caroube :**

### **3.1. Fabrication d'un pain traditionnel :**

Selon Salih et Jilal (2020), la farine de caroube a été préparée en concassant, broyant et en tamisant la pulpe au laboratoire.

Le pain a été effectué de manière « artisanale ». On a testé trois formules (A, B, C). Un pain test à déguster a également été préparé pour mieux évaluer l'impact de l'incorporation de la poudre de caroube sur la qualité du produit final.

**Tableau 4 :** Ingrédients des trois formules du pain traditionnel (Salih et Jilal, 2020)

Ingrédient	Pain		
	A	B	C
Farine boulangère (g)	285.0	270	262.5
poudre de caroube	5%	10%	12.5%
sel (g)	1.2	1.2	1.2
Levure (g)	1.5	1.5	1.5
Eau (Cl)	180	180	180
Farine pâtissière	-	-	-
Œufs (unité)	-	-	-
Sucre (g)	-	-	-
Lait (Cl)	-	-	-
Vanille (g)	-	-	-
Farine d'orge	-	-	-

### 3.2. Fabrication d'un cake

Tous les ingrédients ont été pesés à l'exception des œufs, puis mélangés dans un bol en porcelaine à l'aide d'un batteur électrique.

La pâte bien mélangée est versée dans un moule à cake, puis cuite au four à une température de 180°C pendant 40 minutes. On a expérimenté quatre formules (2A, 2B, 2C, 2D)

Un cake témoin a été préparé pour mieux évaluer l'impact de l'ajout de la poudre de caroube sur la qualité du produit final.

**Tableau 5** : Ingrédients des quatre formules du cake (Salih et Jilal, 2020)

Ingrédient	Cake			
	2A	2B	2C	2D
Farine boulangère (g)	-	-	-	-
poudre de caroube	20.5%	35%	50%	50%
sel (g)	Pincée	Pincée	Pincée	Pincé
Levure (g)	14	14	14	14
Eau (Cl)	180	180	180	-
Farine pâtissière	166	130	100	100
Œufs (unité)	2	2	2	2
Sucre (g)	150	150	100	75
Lait (Cl)	10	10	10	10
Vanille (g)	7.5	7.5	7.5	
Farine d'orge	-	-	-	-

### 3.3. Fabrication des flocons

Les flocons de caroube ont été fabriqués en utilisant une pâte de caroube en mélangeant les ingrédients répertoriés dans le tableau 3. Ensuite, cette pâte a été étalée à l'aide d'une machine manuelle spécialement conçue pour les pâtes alimentaires, puis en flocons, puis séchée dans une étuve ventilée à une température de 70°C pendant trois heures (Salih et Jilal, 2020) .

**Tableau 6** : Ingrédients retenus pour la fabrication des flocons (Salih et Jilal, 2020)

Ingrédient	Flocons
	3A
Farine boulangère (g)	-
poudre de caroube	46%
sel (g)	0.4
Levure (g)	-
Eau (Cl)	37
Farine pâtissière	6
Œufs (unité)	-
Sucre (g)	-
Lait (Cl)	-
Vanille (g)	-
Farine d'orge	-

# **Chapitre 04**

## **Résultats et discussion**

### 1. Utilisation la graine de carroube :

- Les résultats de Gillet et *al.* (2014) indiquent que l'étape de purification à une grande influence sur la composition et les propriétés de la gomme de caroube. Lors de la clarification, la température de dissolution influence considérablement la composition de la gomme obtenue et les propriétés physicochimiques qui en découlent. Plus la température est importante plus le rendement de la gomme est important aussi

Ainsi, une gomme de caroube purifiée à froid présente des propriétés significativement différentes de celle extraite à chaud. La température n'est pas le seul facteur impactant sur les propriétés de la farine de caroube clarifiée. La proportion de solvant utilisé lors de la précipitation joue également un rôle important.

- Selon Wielinga. (1990) cité par Gillet et *al.* (2018) ; met en évidence l'influence du volume de l'éthanol comme solvant ; sur la composition de la gomme de caroube plus le volume est élevé plus la composition de la gomme en galactose est élevée aussi.
- Les travaux de Yusif et *al.* (2000) en Jordanie ; montrent que le temps de torréfaction de la gomme de caroube ; affecte significativement la qualité de poudre de caroube. Plus le temps est augmenté plus la qualité de poudre est meilleure et en faible teneur en matière grasse. De cet fait ; la caroube peut être un aliment naturel sain.
- D'après les résultats de Dakia et *al.* (2005) il apparaît que la quantité de la farine de germe diffère selon la procédure utilisée. Un rendement qui varie de 17 à 23 par le prétraitement acide et de 18 à 25 par le prétraitement à eau

Dans les cas de GermA et de GermAC (tous deux extraits après prétraitement acide), les teneurs en protéines et en lipides ont montré une réduction significative par rapport à ceux de GermW (issu du prétraitement de l'eau). Cela peut être dû à une dégradation partielle lors de la procédure de décorticage acide.

Cependant, quelle que soit la technique d'extraction utilisée, la farine de germes de caroube présentait une teneur élevée en protéines (54–67 %). Une quantité élevée en sucre et un peu moindre en lipides. Tous ces résultats sont en concordance avec les précédents cités en haut.

Les compositions en acides gras de l'huile extraite par chloroforme/méthanol (2/1 v/v) provenant des tourteaux de germes de graines de caroube sont données dans le tableau 7.

Les résultats confirment que le germe des graines de caroube est riche en acides gras insaturés. Une étude antérieure Maza et *al.* (1989) cité dans Dakia et *al.* (2005) a également montré que l'huile de germe de (*Ceratonia siliqua L.*) Contient des acides oléiques 38,5 % et linoléiques 43,6 % à des niveaux relativement élevés.

**Tableau 7 :** Composition en acides gras des huiles issues de germes de graines de caroube

(Gillet et *al.*, 2014)

Fatty acide	Germ A	Germ AC	Germ W
Myristique	-	-	-
palmitique (C16)	15.4 ± 0.4	16.2 ± 0.1	15.7 ± 0.4
Palmitoleique (C16 :1)	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.1
Stearique (C18)	3.4 ± 0.4	3.4 ± 0.5	3.5 ± 0.5
Oleique (C18 :1)	35.3 ± 2.0	34.4 ± 0.1	34.7 ± 0.2
Linoleique (C18 :2)	45.0 ± 0.1	44.5 ± 0.2	44.5 ± 0.3
Linolenique (C18 :3)	0.7 ± 0.4	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.1
Arachidique (C20)	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1
Gadoleique (C20 :1)	0.3 ± 0.03	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.04

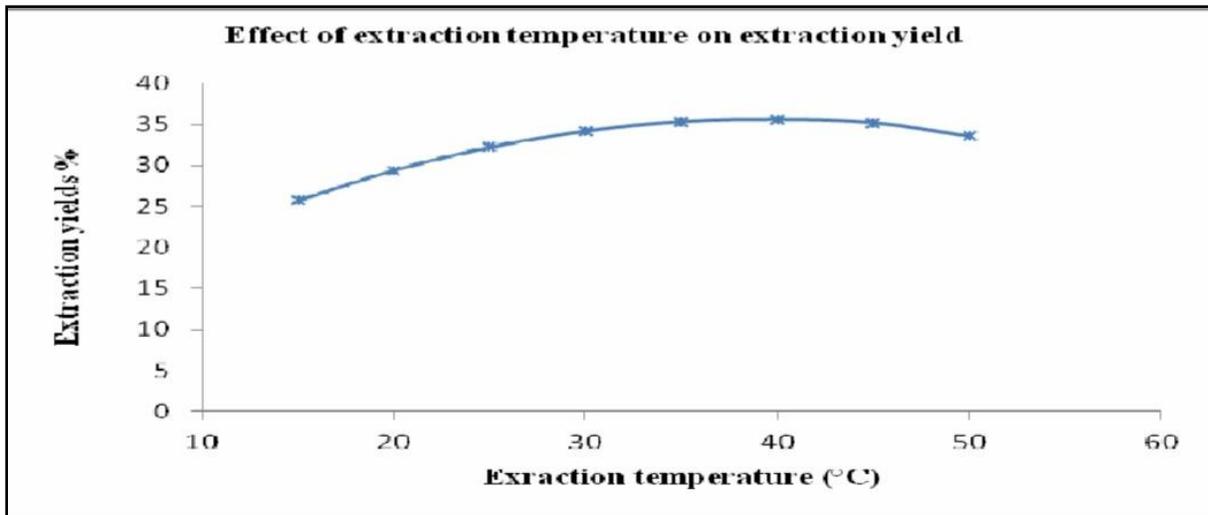
Les acides gras insaturés sont ceux qu'il convient de privilégier dans le cadre d'une alimentation équilibrée. Ces résultats font de la caroube ; un bon aliment de consommation.

## 2. Utilisation des gousses de caroube

### 2.1. Fabrication du Sirop de caroube :

- Les résultats Boxamp et Behnken (1960) qui ont étudié l'effet de différentes températures sur le rendement de l'extraction du sirop de caroube.

Ces auteurs montrent que le rendement d'extraction des polysaccharides avaient augmenté lorsque la température d'extraction augmentait de 15 à 45 °C (Figure 6), le rendement maximum (35,6%) de sirop a été observé lorsque la température d'extraction était de 40 °C.



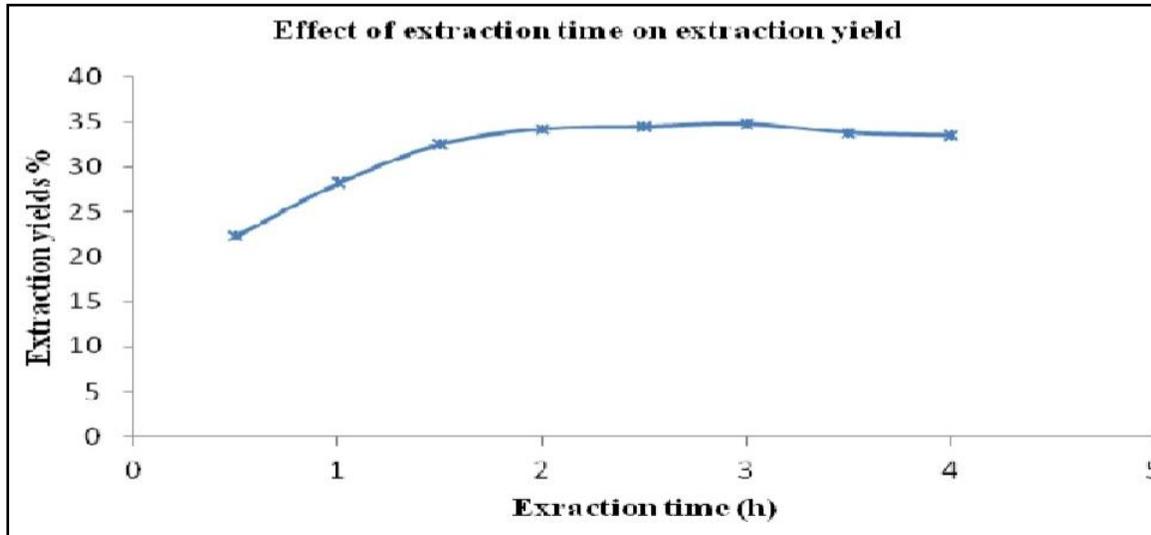
**Figure 4 :** Effet de la température sur le rendement d'extraction du sirop

(El Bata *et al.*, 2007)

### 2.1.1. L'Effet du temps sur l'extraction

L'effet du temps sur le rendement d'extraction du sirop est aussi étudié ;il est illustré en figure 7

Un rendement maximum est observé au bout de trois heures ; puis il devient stable

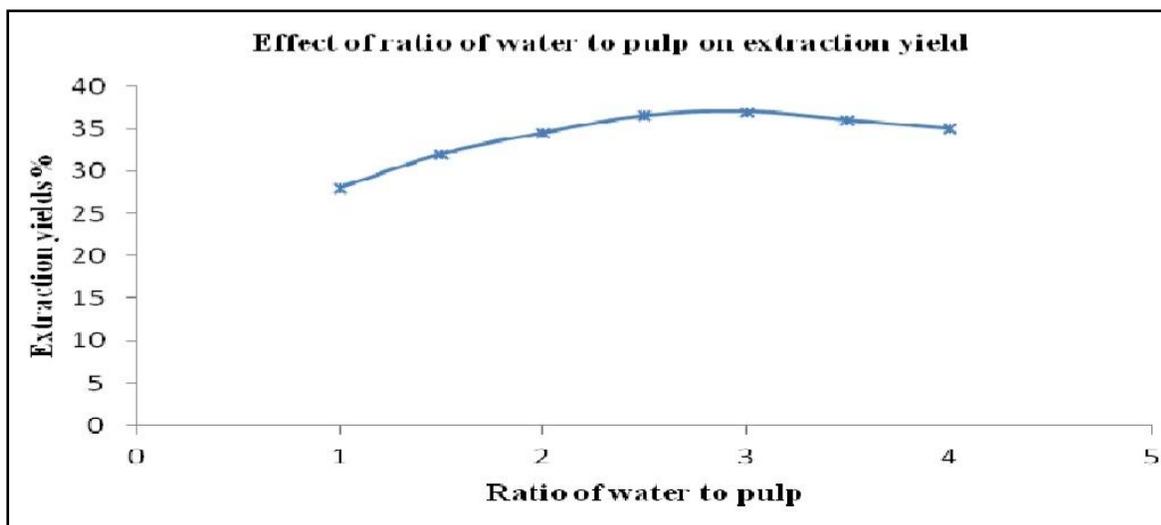


**Figure 5 :** Effet du temps sur le rendement d'extraction du sirop (El Bata *et al.*, 2013)

### 2.1.2. Le rapport eau/pulpe :

Les résultats de Bendahou *et coll.* (2007) cité par El Bata *et al.* (2007) montre l'effet de différents rapports eau/pulpe sur le rendement d'extraction du sirop avec aussi une augmentation de la température. Ils on conclut qu'un niveau élevé du rendement du sirop pourrait être obtenu en combinant un rapport liquide/solide approprié et un temps d'extraction optimisé

- Les résultats de ces auteurs concordent avec ceux données par les résultats (Boxamp et Behnken, 1960) cité par (El Bata *et al.*, 2007) . Un maximum de rendement 38,73 % pour une durée de temps d'extraction 2h40 et rapport eau/pulpe 2,27.



**Figure 6 :** Effet du rapport eau/pulpe sur le rendement d'extraction du sirop (El Bata *et al.*, 2007)

Concernant la composition chimique du sirop de caroube ; les résultats de Tounsi *et al.* (2020); sont exprimés dans la figure N°8 par la diminution des teneurs en sucres solubles, sucres réducteurs et poly phénols. Outre, les différents sirops de caroube étudiés se caractérisent par une richesse en sucres solubles surtout saccharose (~15-16 g/100 g matière sèche).

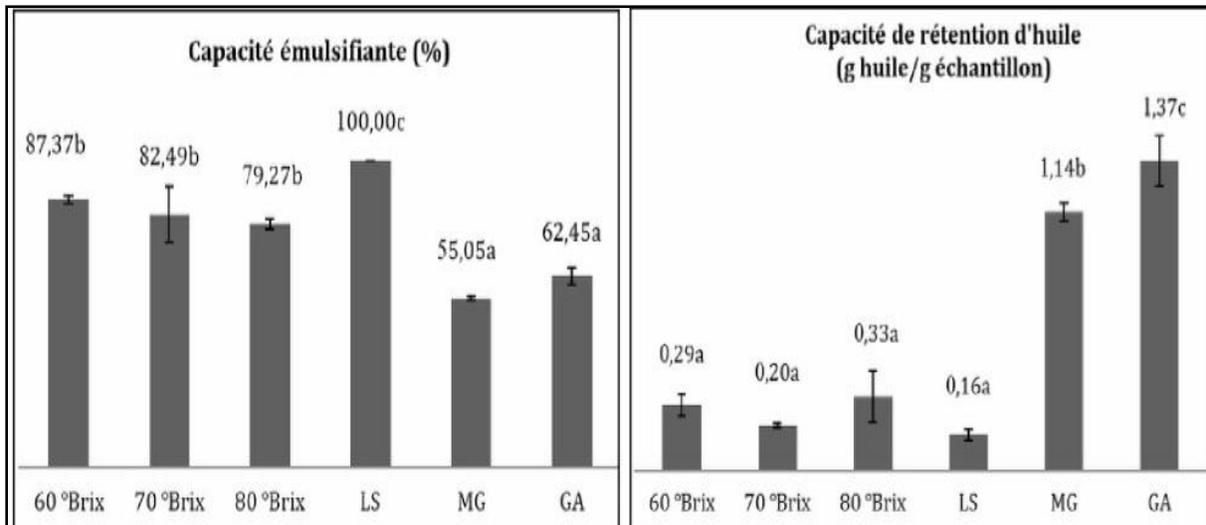
Ils renferment également des teneurs appréciables en minéraux et protéines (~5 et -3,5% respectivement) et une faible teneur en lipides (-0,3 g/100 g matière sèche). On note aussi la présence des fibres alimentaires surtout solubles (~1,5 g/100 g matière sèche), des acides organiques (-700-900 mg/100 g matière sèche) et des composés phénoliques (~500 mg équivalent ; acide gallique/100 g matière sèche)

	60 °Brix	70 °Brix	80 °Brix
<b>pH</b>	5,20 ± 0,00 a	5,14 ± 0,01 a	5,18 ± 0,02 a
<b>a<sub>w</sub></b>	0,72 ± 0,00 c	0,66 ± 0,00 b	0,52 ± 0,00 a
<b>L*</b>	29,54 ± 0,05 a	30,94 ± 1,14 a	28,07 ± 1,36 a
<b>a*</b>	0,79 ± 0,02 a	0,83 ± 0,07 a	0,87 ± 0,15 a
<b>b*</b>	-0,53 ± 0,00 a	-0,61 ± 0,04 a	-0,48 ± 0,10 a
<b>Sucres solubles (A)</b>	30,20 ± 0,63 b	29,35 ± 0,84 b	24,20 ± 0,22 a
<b>Sucres réducteurs (A)</b>	14,30 ± 0,44 b	14,66 ± 0,53 b	9,39 ± 1,35 a
<b>Saccharose (A)</b>	15,90 ± 1,07 a	14,70 ± 0,31 a	14,81 ± 1,57 a
<b>Minéraux (A)</b>	4,99 ± 0,51 a	4,14 ± 0,71 a	4,75 ± 0,86 a
<b>Protéines (A)</b>	3,33 ± 0,02 a	3,40 ± 0,07 a	3,45 ± 0,02 a
<b>Fibres solubles (A)</b>	1,60 ± 0,50 a	1,43 ± 0,45 a	1,24 ± 0,39 a
<b>Fibres insolubles (A)</b>	0,64 ± 0,02 a	0,57 ± 0,02 a	0,49 ± 0,02 a
<b>Fibres totales (A)</b>	2,24 ± 0,52 a	2,00 ± 0,47 a	1,73 ± 0,41 a
<b>Lipides (A)</b>	0,37 ± 0,04 a	0,32 ± 0,03 a	0,28 ± 0,02 a
<b>Acidité (B)</b>	948,28 ± 121,91 a	846,15 ± 108,79 a	733,33 ± 94,28 a
<b>Polyphénols (C)</b>	521,02 ± 4,98 c	500,50 ± 4,71 b	437,36 ± 1,31 a

**Figure 7 :** Caractéristiques physico-chimiques des sirops de caroube étudiés A: g/100 g matière sèche ; B: mg acides totaux/100 g matière sèche; C: mg équivalent acide gallique /100 g matière sèche ; a<sub>w</sub> : L'activité de l'eau (L \* ; a\* ; b\*) : Les paramètres de couleur . Les résultats de la même ligne suivis par des lettres différentes sont statistiquement différentes (P <0,05)

Les sirops présentent statistiquement (P>0,05) la même capacité émulsifiante (-80-87%). Cette valeur semble très intéressante en comparaison avec celles des émulsifiants alimentaires. Largement utilisés en industrie alimentaire pour maintenir la stabilité des émulsions. En fait, elle est proche à celle de la lécithine de soja (100%) et elle est même supérieure à celles des mono-glycérides (55%) et gomme arabique (62,5%).

Les sirops de caroube présentent également la même capacité de rétention d'huile (P>0,05) que la lécithine de soja (0,16-0,3 g huile/g échantillon). Ces valeurs sont inférieures à celles. Des mono-glycérides et gomme arabique (1,14 et 1,37 g huile/g échantillon respectivement). Cette différence peut être due à l'aspect des échantillons; il est visqueux pour les sirops et la lécithine de soja, alors qu'il est granuleux pour les mono-glycérides et la gomme arabique)



**Figure 8 :** Capacités émulsifiante et de rétention d'huile des sirops de caroube étudiés en comparaison avec des émulsifiants alimentaires (LS : lécithine de soja, MG : mono-glycérides, GA : gomme arabique).

Concernant les paramètres physiques (pH, couleur), les sirops de caroube présentent statistiquement ( $P > 0,05$ ) les mêmes valeurs du pH (le pH des deux jus est proche et il est acide). La couleur des deux extraits de sirop est aussi proche ; quelle que soit la teneur en extrait sec soluble ("Brix).

### 2.1.3. Préparation l'extrait de caroube :

- Selon les résultats d'Abi Azar (2007) ; pour l'extraction du sirop au laboratoire, montrent que la gousse verte de caroubier offre un rendement d'extraction élevé.

Les gousses fraîches ou récemment décongelés et broyés au laboratoire à l'aide de deux techniques donnent une structure du jus présentée dans le tableau 8

**Tableau 8 :** Composition des sirops de caroube obtenus par deux techniques de broyage

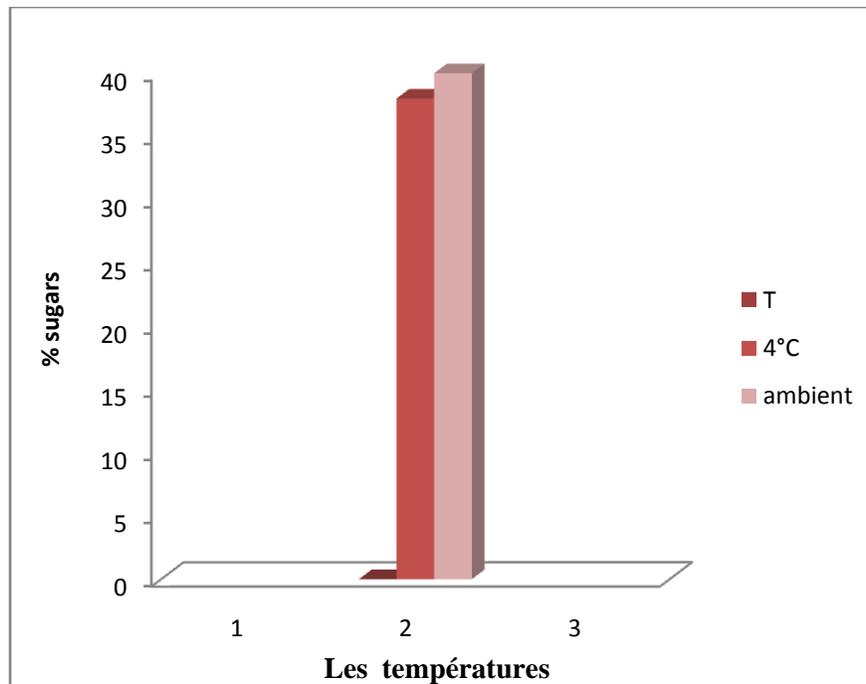
(Abi Azar, 2007)

	Broyage au laboratoire	Pressage traditionnel
Rendement (%)	-	-
Ph	5	5.33
Teneur matière sèche (%)	14.79	9.02
Teneur protéine (%)	1.12	0.11
Azote non protéique (%)	1.09	0.04

Le jus de caroube fabriqué en laboratoire contient une quantité plus importante de matière sèche et de protéines que le jus obtenus de manière traditionnelle. L'extraction à jus électrique est plus efficace que la méthode traditionnelle par pression à l'aide d'une pierre.

### 2.2.Extraction du Sucre

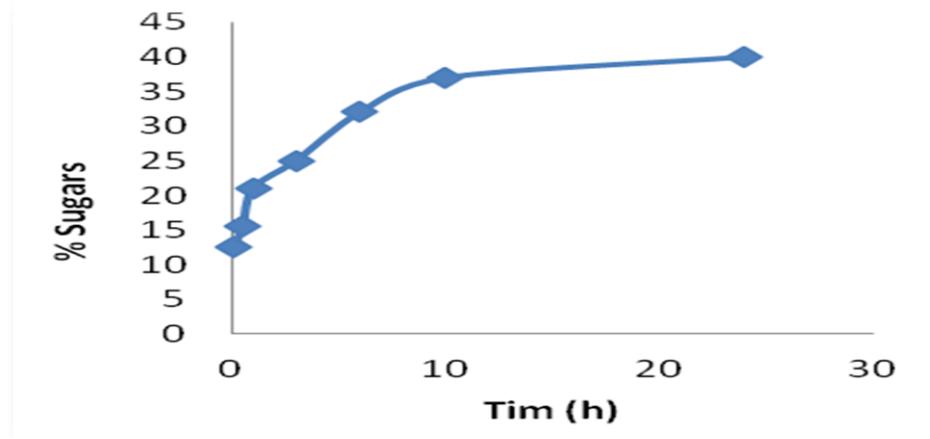
- Hajaji *et al.* (2016), montrent que la quantité de sucres extraite évolue de manière régulière avec le temps. Cependant, ; Ils remarquent que dès les premières heures de macération le mélange (gousse de caroubes broyées + l'eau distillé) la majorité des sucres est extrait.

**Figure 9 :** Extraction aqueuse des sucres de la pulpe de caroube à 4°C (Hajaji *et al.*, 2016)

De même la température de macération ; a un effet sur la quantité de sucres extraite. Elle passe de 4°C à la température ambiante. La température a généralement tendance à accélérer les transformations physico-chimiques. Les sucres peuvent être extraits par simple macération dans l'eau à une température ambiante.

L'obtention des sucres passe par deux étapes ; une première qui est rapide ; 10heures pour un pourcentage de presque 36%. Une deuxième étape ralentie ; de 15 heures pour un maximum 40% de sucre extrait.

Cette différence de comportement entre les deux types de sucres peut être dû à la nature des liaisons de ces sucres dans la pulpe, en d'autres termes, le saccharose est lié à la pulpe plus fortement que les autres sucres (glucose et fructose).



**Figure 10 :** Taux d'extraction aqueuse des sucres de la pulpe de caroube en fonction du temps à 4°C et à une température ambiante (Hjaji *et al.*, 2016)

- Les résultats d'Ecran *et al.* (2013) ; ont montré que l'utilisation d'une concentration d'alginate plus élevée ; entraînait un taux de consommation de sucre et de production d'éthanol plus faible. Ils ont conclu Une concentration de 2 % d'alginate de calcium était la meilleure pour la concentration d'éthanol. ( $39,85 \pm 2,84$  g/L) et le rendement ( $46,61 \pm 0,92$  %) (figure12).

Ces auteurs indiquent clairement que des concentrations plus élevées d'alginate de calcium donnent un rendement faible en éthanol

No.	Ca-alginate conc. (%)	Agitation (rpm)	ACEB (%)	pH	P (g/L)	$Y_{PIS}$ (%)	$Q_s$ (g/L/h)	$Q_p$ (g/L/h)
1	3	150	1	5.5	34.59 ± 0.01	40.97 ± 1.97	4.71 ± 1.41	1.91 ± 0.17
2	2.5	150	1	6	32.11 ± 0.83	44.01 ± 0.15	3.66 ± 0.52	1.82 ± 0.26
3	2.5	150	1	5	36.07 ± 0.37	42.45 ± 1.10	4.71 ± 1.29	2.03 ± 0.11
4	2.5	200	1	5.5	35.16 ± 0.83	46.53 ± 0.49	5.41 ± 0.29	2.60 ± 0.28
5	2.5	100	1	5.5	33.76 ± 0.88	44.75 ± 1.70	4.54 ± 1.30	2.10 ± 0.54
6	2	150	1	5.5	36.96 ± 0.43	48.39 ± 0.22	4.11 ± 1.54	2.16 ± 0.55
7	2.5	150	3	5.5	37.01 ± 0.72	47.66 ± 0.78	5.75 ± 0.81	2.65 ± 0.43
8	2	150	3	5	35.36 ± 0.82	48.00 ± 2.41	5.80 ± 0.38	2.70 ± 0.18
9	2	150	3	6	35.79 ± 0.88	46.09 ± 1.49	5.54 ± 0.25	2.61 ± 0.30
10	2.5	150	3	5.5	38.85 ± 1.00	47.90 ± 0.67	5.84 ± 0.40	2.79 ± 0.12
11	2.5	200	3	6	33.62 ± 0.62	45.88 ± 1.50	5.42 ± 0.82	2.99 ± 0.57
12	3	150	3	5	29.05 ± 1.15	43.98 ± 0.76	4.97 ± 1.00	1.96 ± 0.16
13	2.5	200	3	5	35.86 ± 0.30	48.69 ± 0.33	5.26 ± 0.53	2.63 ± 0.42
14	3	100	3	5.5	37.14 ± 1.04	44.48 ± 1.52	5.07 ± 0.11	2.26 ± 0.39
15	3	200	3	5.5	35.25 ± 0.51	45.89 ± 0.86	6.91 ± 0.81	2.39 ± 0.62
16	3	150	3	6	33.72 ± 2.35	42.61 ± 2.46	5.81 ± 1.53	2.57 ± 0.79
17	2	100	3	5.5	33.53 ± 0.72	45.06 ± 0.34	5.61 ± 1.30	1.97 ± 0.33
18	2	200	3	5.5	34.67 ± 1.67	49.24 ± 1.10	5.68 ± 0.17	3.37 ± 1.02
19	2.5	100	3	6	36.46 ± 0.15	46.17 ± 0.06	6.13 ± 1.79	2.73 ± 0.34
20	2.5	150	3	5.5	35.04 ± 1.17	45.98 ± 1.12	5.08 ± 1.46	2.45 ± 0.53
21	2.5	100	3	5	39.23 ± 1.28	48.71 ± 1.32	5.14 ± 1.26	2.59 ± 0.19
22	2.5	150	5	6	38.71 ± 2.20	45.16 ± 1.93	6.34 ± 1.05	3.02 ± 0.26
23	2.5	150	5	5	39.39 ± 2.29	46.51 ± 2.48	5.88 ± 0.38	3.11 ± 0.14
24	2.5	200	5	5.5	39.89 ± 0.86	45.70 ± 0.53	6.74 ± 0.48	3.41 ± 0.24
25	2	150	5	5.5	39.85 ± 2.84	46.61 ± 0.92	6.34 ± 0.75	3.17 ± 0.18
26	2.5	100	5	5.5	38.67 ± 0.75	42.92 ± 0.33	5.39 ± 0.30	2.76 ± 0.16
27	3	150	5	5.5	38.54 ± 1.84	48.79 ± 2.63	4.67 ± 0.62	2.80 ± 0.18

**Figure 11** : Résultats de la production d'éthanol (Ecran *et al.*, 2013)

Pour l'effet de l'agitation ; les résultats suggèrent qu'il n'existe aucune différence significative dans la production d'éthanol entre les niveaux d'agitation (figure 13).

Term	Coefficients	P values
Constant	47.1787	0.000*
Ca-alginate conc. ( $X_1$ )	-1.3887	0.019*
Agitation ( $X_2$ )	0.8204	0.135
ACEB ( $X_3$ )	0.7169	0.186
pH ( $X_4$ )	-0.7022	0.195
$X_1^* X_1$	-0.5576	0.481
$X_2^* X_2$	-0.0709	0.928
$X_3^* X_3$	-1.4729	0.079
$X_4^* X_4$	-0.7888	0.324
$X_1^* X_2$	-0.6942	0.448
$X_1^* X_3$	2.4005	0.019*
$X_1^* X_4$	0.1348	0.882
$X_2^* X_3$	0.2481	0.784
$X_2^* X_4$	-0.0684	0.940
$X_3^* X_4$	-0.7279	0.427
Lack of fit		0.257

**Figure 12** : Résultats de l'ANOVA pour le modèle quadratique sélectionné de fermentation éthanolique à partir de caroube extrait de gousse (Ecran *et al.*, 2013)

En comparant les résultats des billes de Ca-alginate, il apparaît clairement qu'une concentration cellulaire plus élevée diminue le temps de fermentation et fournit des valeurs de paramètres cinétiques plus élevées (figure 14).

**Tableau 9 :** Comparaison des paramètres cinétiques de production d'éthanol

Paramètres cinétiques	fermentation par lots optimale	5cycle	fermentation incontrôlée au pH provenant du NCPE
Sucre consommé (g/L)	86.57±2.89	47.15±0.00	40.64±0.92
éthanol produit (g/L)	40.10±2.79	45.17±0.31	38.41±0.49
Rendement ( $Y_p/s$ )%	46.32±1.68	4.13±0.19	4.83±0.04
Max.taux de consommation (-ds/dt)max(g/L/h)	6.49±0.89	2.63±0.08	2.57±0.02
Max.taux de production,(dp/dt max (g/L/h)	3.19±0.01	2.63±0.08	2.57±0.02
utilisation du sucre (%)	90.66±0.50	90.41±0.17	89.12±0.43
Max.temps de production d'éthanol(h)	14-6	30-36	30-36

Ariyajaroenwong *et coll.* (2012) cité dans Ecran *et al.* (2013) ont rapporté que l'augmentation initiale de la concentration cellulaire entraîne une production d'éthanol plus élevée.

Les travaux de Yu *et coll.* (2007), Laopaiboon et Laopaiboon (2012), Chandel *et coll.* (2009) cité par Ecran *et al.* (2013) ont également signalé que l'utilisation des cellules immobilisées avec des concentrations cellulaires élevées produisent plus de sucre de consommation et taux de production d'éthanol.

L'effet du pH sur la fermentation de l'éthanol à partir de l'extrait des gousses de caroube (les valeurs de pH des milieux de fermentation ont été fixées à pH 5,0, 5,5 et 6,0 avec NaOH 4 N)

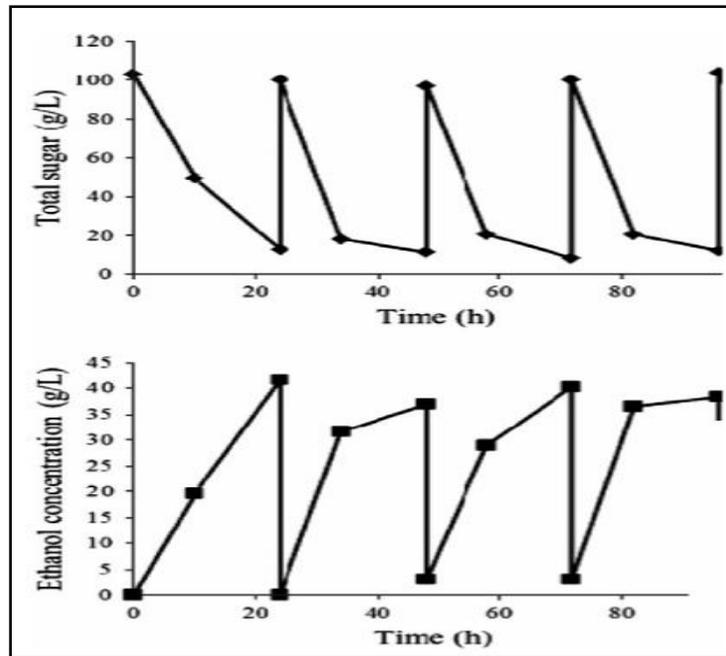
n'est significatif sur la fermentation de l'éthanol, mais les concentrations d'éthanol les plus élevées ( $39,85 \pm 2,84$  et  $39,89 \pm 0,86$  g/L) ont été obtenus à pH 5,5 (figure 13).

La fermentation de l'éthanol par *S. cerevisiae* a eu lieu entre 3,5 et 6,5. La valeur optimale du pH a été déterminée à 5,5. Turhan et al. (2010) ont également signalé que les valeurs optimales de pH pour la fermentation de l'éthanol par *S. cerevisiae* étaient de 5,5.

Les conditions pour la fermentation de l'éthanol (Concentration de 2 % de Ca-alginate, taux d'agitation de 150 tr/min, 5 % d'ACEB et un pH de 5,5) se sont révélés être les valeurs optimales.

La consommation de sucre (S), la production d'éthanol (P), le rendement (YP/S), le taux de consommation maximum des sucres (QS) et les valeurs du taux de production maximum d'éthanol (QP) dans des conditions optimales étaient déterminé comme étant  $86,57 \pm 2,89$  g/L,  $40,10 \pm 2,79$  g/L,  $46,32 \pm 1,68$  %,  $6,49 \pm 0,89$  g/L/h et  $3,19 \pm 0,01$  g/L/h respectivement dans le Tableau 9.

Les expériences de fermentation ont été réalisées par lots répétés. La durée de chaque cycle est restée constante à 24 heures ; comme le montre la figure 15. Les cellules de levure sur une matrice d'alginate de calcium peuvent être utilisée cinq cycles, mais une légère baisse des valeurs de production d'éthanol était évidente après le troisième cycle.



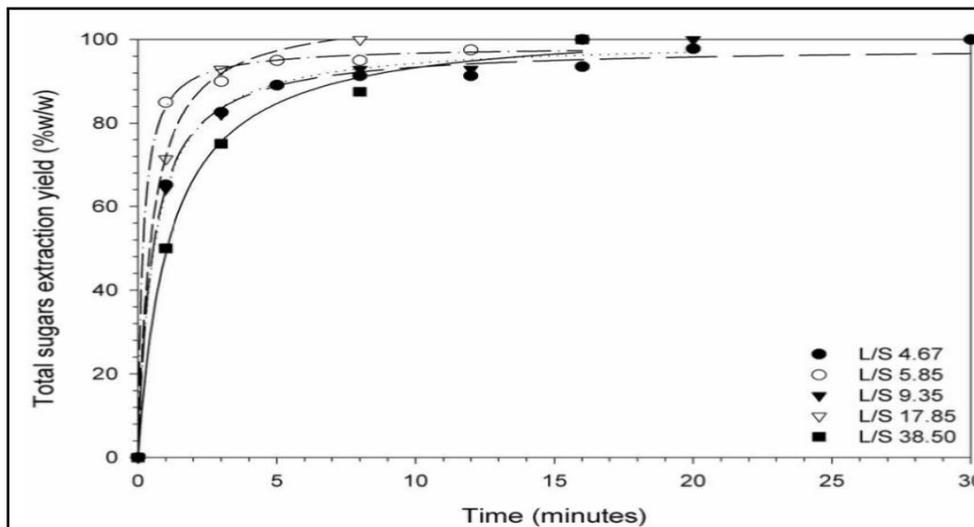
**Figure 13 :** Consommation du sucre et production de l'éthanol (Ecran *et al.*, 2013)

Enfin, la fermentation l'éthanol a été réalisée avec succès à partir de NCPE avec et sans contrôle du pH et les valeurs de rendement en éthanol étaient respectivement 45,17% et 38,41%.

### 2.3.Fabrication de l'éthanol

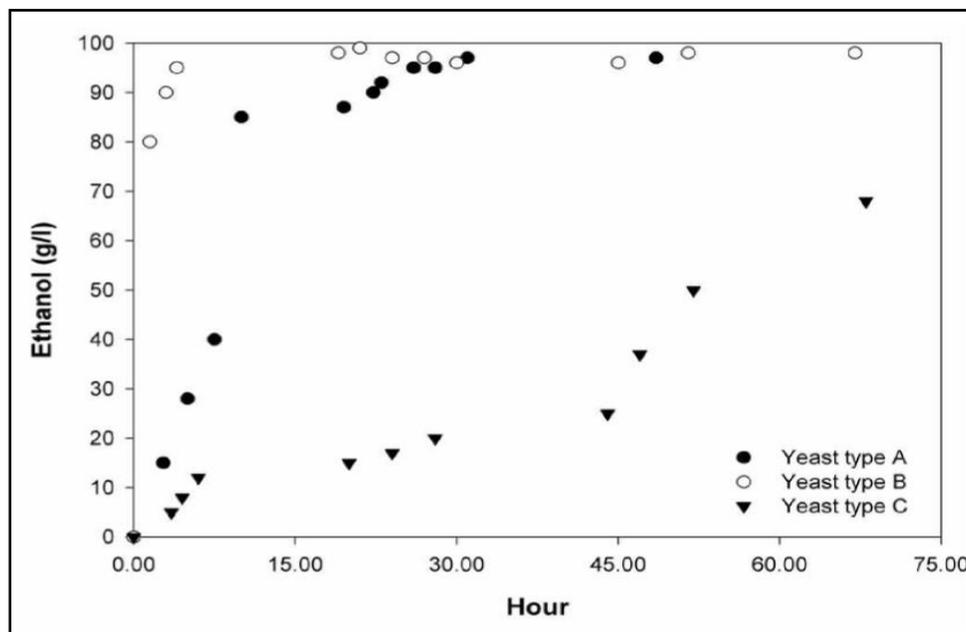
- Les travaux de Sánchez-Segado *et al.* (2010), montrent que la fabrication de l'éthanol passe d'abord par la phase de l'extraction aqueuse du sucre (représenté dans la figure16) en utilisant 5 ratios S/L . S : Quantité gousse de caroube ; L : L'eau utilisée

L'extraction aqueuse des sucres de la caroube des gousses est quasiment complète et a été réalisée en moins de 30 minutes. Ce qui en fait un processus facile à utiliser dans le domaine industriel



**Figure 14:** Rendement d'extraction des sucres contenus dans les échantillons de gousses de caroube à l'aide d'eau à une température ambiante. (Turhan *et al.*, 2010)

Selon les mêmes auteurs cités en haut, pour la fermentation et la production d'éthanol ; 3 types différents de cellules de levure de *Saccharomyces Cerevisiae* (A, B, C) provenant de différentes sources ont été testé .La figure 17 montre l'évolution temporelle de l'éthanol



**Figure 15 :** Cinétique de fermentation d'extraits aqueux à cellules libres de *Saccharomyces Cerevisiae*. (Turhan *et al.*, 2010)

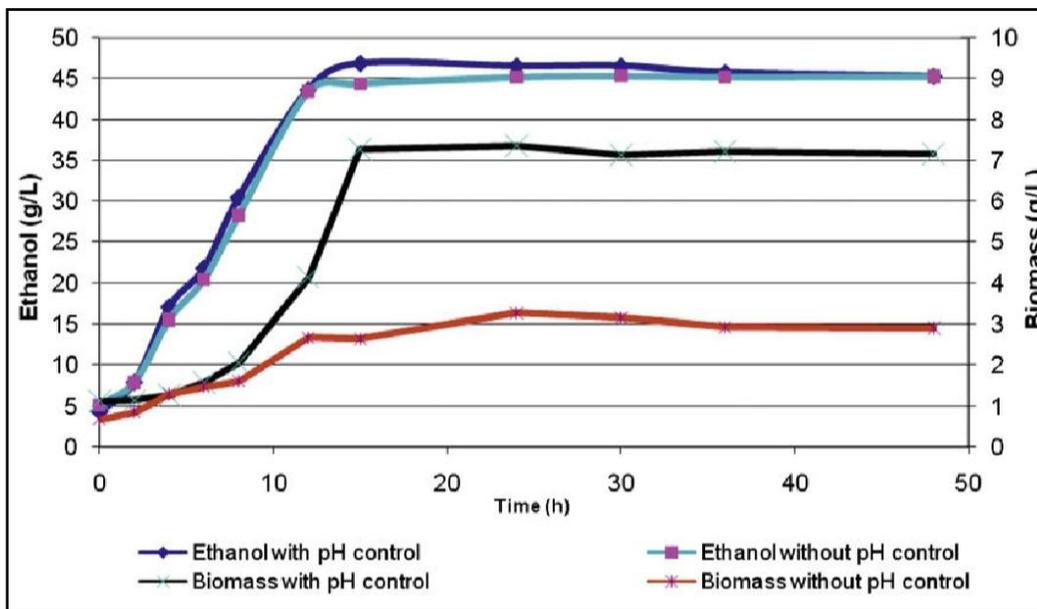
Un maximum de 85 g/L a été observé après presque 15 heures pour le type A. Durant les premières heures de fermentation, une augmentation rapide de l'éthanol a été observée, atteignant un maximum estimé (95g/L) pour le type B. Après 60 heures ; le maximum est observé chez le type C.

Dans leur comparaison et après 60h ; les résultats de Sánchez-Segado *et al.*, (2010) étaient similaires et meilleurs successivement à Cardona et Sánchez., (2007) et Roukas (1994) ; travaux cités par Sánchez-Segado *et al.* (2010).

Les raisons de la variation des niveaux d'éthanol sont dues à la différence de la source de levure et à l'élimination des solides avant l'étape de fermentation.

Les travaux de Turhan *et al.* (2010) ; montrent l'effet du pH sur la croissance des cellules de levure *Saccharomyces Cerevisiae* .

En lissant les deux tableaux (10 et 11) et la figure18, la production d'éthanol était sous l'effet de pH=3.26 à pH=7.35, et a été de 42.60 et 40.17 avec contrôle et sans contrôle du pH, respectivement.



**Figure 16 :** Production de l'éthanol avec et sans contrôle du pH (Turhan *et al.*, 2010)

**Tableau 10 :** Paramètres cinétiques de production d'éthanol avec et sans contrôle du ph.  
(Turhan *et al.*, 2010)

Paramètres cinétiques	Avec contrôle du ph Ph =7.35	Sans contrôle du ph ph=3.26
Ethanol produit (g/l)	42.60	40.17
Max .taux de consommation (g/l/h)	5.35	4.07
Max .taux de production d'éthanol (g/l/h)	3.37	3.26
Taux de croissance spécifique	4.29	0.10

**Tableau 11:** Paramètre cinétique de production d'éthanol pour différents taille d'inoculum avec contrôle ph (ph=5.5) (Turhan *et al.*, 2010)

Paramètre cinétique	1%	2%	3%
Ethanol produit (g/l)	42.60	42.90	38.55
Max .taux de consommation (g/l/h)	5.35	45.90	40.94
Max .taux de production (g/l/h)	3.37	3.70	3.19
Taux de croissance spécifique	0.16	0.16	0.19

D'après le tableau 10 ; les auteurs constatent que plus le ph diminue plus la production de l'éthanol diminue aussi. Une diminution du ph en dessous de la valeur moyenne entraine une diminution de la production d'éthanol (Hwang *et al.*, 2004) cités in (Turhan *et al.*, 2010)

Selon des auteurs Graves *et al.* (2006) ; Narendranath and Power (2005) cités par (Turhan *et al.*, 2010) ; la valeur moyenne du ph pour la production d'éthanol est comprise entre (5 - 5.5) et la production d'éthanol est inhibée avec  $ph < 4$

Le ph du milieu de 5.5 entraîné une production maximale d'éthanol dans différents milieux concentration

Les gousses de caroube peuvent être une bonne matière première pour la production de l'éthanol et par la fermentation *Saccharomyces Cerevisiae*.

### 3. Utilisation de la pulpe de caroube :

#### 3.1. Fabrication du pain traditionnel et du cake avec de la farine de caroube :

- Dans l'étude de Jilal *et al.* (2020) ; le test dégustateur du consommateur a montré que le pain et le cake étaient acceptables et confirmé auparavant par plusieurs travaux (Everitt, 2009; Argaiiz *et al.*, 2005 ; Lee *et al.*, 2005 ; Yeh *et al.*, 1998 ; Yao *et al.*, 2003)

**Tableau 12:** Test Ch-carré des réponses des dégustateurs selon le sexe. (Salih et Jilal, 2020)

Test Ch-carré	Pain	Cake A	Cake B	Flocons
F (aspect)	7,17 ns	9,31 ns	4,09 ns	3,17 ns
F (goût)	5,41 ns	6,46 ns	3,74 ns	5,76 ns

#### ✓ Pain :

Aspect : 10.5% et 3.9% → Extrêmement désagréable à assez désagréable

85,5 % → Assez agréable à extrêmement agréable

Goût : 7,9% → 15,8 Extrêmement désagréable à assez désagréable

76,3 % → Assez agréable à extrêmement agréable

#### ✓ Cake A

Aspect : 1,1 % et 5,3 % → Extrêmement désagréable à assez désagréable

93,4 % → Assez agréable à extrêmement agréable

Goût : 5,3 % et 2,6 % → Extrêmement désagréable à assez désagréable

92.1 % → Assez agréable à extrêmement agréable

#### ✓ Cake B

Aspect 2,6 % et 6,7 % → Extrêmement désagréable à assez désagréable

90,8 % → Assez agréable à extrêmement agréable

Goût 5,3 % et 5,3 % → Extrêmement désagréable à assez désagréable

89,5 % → Assez agréable à extrêmement agréable

#### ✓ Flocons

Aspect 17,1 % et 32,9 % → Extrêmement désagréable à assez désagréable

50,0 % → Assez agréable à extrêmement agréable

Goût 15,8 % et 28,9 % → Extrêmement désagréable à assez désagréable  
55,3 % → Assez agréable à extrêmement agréable

Les résultats Salih et Jilal, (2020) montrent que le pain et le cake enrichis avec de la poudre de caroube ont été appréciés par la majorité des dégustateurs (plus de 80%) dont la majorité ont jugé le pain de «agréable» et le cake de «très agréable».

Par conséquent, l'utilisation de la caroube comme ingrédient dans ces deux produits a eu un effet extrêmement positif sur leur l'apparence générale et leur goût. L'ajout de la caroube a permis également de réduire de 50% la quantité de sucre dans le cake. Pour les flocons, ce produit a été accepté par la moitié des dégustateurs

## Conclusion

Cette modeste étude se concentre sur la synthèse des résultats de 15 travaux divers sur la valorisation des produits et sous produits de la caroube (*Ceratonia Siliqua*), car il a été prouvé que la caroube présente des avantages économiques importants et incontestables.

Pour la gomme de caroube ; plus la température est importante plus le rendement de la gomme est important. Aussi, une gomme de caroube purifiée à froid présente des caractéristiques différentes de celle extraite à chaud. De plus ; plus le temps de torréfaction est augmenté plus la qualité de poudre de caroube est meilleure et en faible teneur en matière grasse. En conséquence ; la caroube peut être un aliment naturel sain.

Par ailleurs ; la quantité de la farine de germe de caroube diffère selon la procédure utilisée. Un rendement est un peu meilleur par le prétraitement à eau. Cependant, quelle que soit la technique d'extraction utilisée, la farine de germes de caroube présentait une teneur élevée en protéines et en sucre et un peu moindre en lipides. Le germe des graines de caroube est riche aussi en acides gras insaturés.

On conclut aussi que la température élevée augmentait le rendement d'extraction des polysaccharides.

L'effet du temps est aussi observé sur le rendement d'extraction du sirop. Un niveau élevé du rendement du sirop pourrait être obtenu en combinant un rapport liquide/solide approprié et un temps d'extraction optimisé.

Quand à la composition chimique du sirop de caroube ; ce dernier contient des petites teneurs en sucres solubles, en sucres réducteurs et en poly phénols. Il présente un pH acide.

Le sirop de caroube contient aussi des teneurs appréciables en minéraux et protéines et une faible teneur en lipides. Comme il est composé aussi de fibres alimentaires solubles, d'acides organiques. Le sirop est un émulsifiant alimentaire intéressant ; il présente une capacité de rétention d'huile non négligeable. Pour le rendement du sirop ; la gousse verte de caroubier offre un rendement d'extraction de sirop élevé.

Les sucres de caroube peuvent être extraits par simple macération dans l'eau à une température ambiante. Il contient du saccharose ; lié à la pulpe plus fortement que les autres sucres (glucose et fructose).

La fabrication de l'éthanol associée à une concentration élevée d'alginate; entraînait un taux de consommation de sucre et de production d'éthanol plus faible. On conclut aussi que l'augmentation initiale de la concentration cellulaire en levure entraîne une production d'éthanol plus élevée. L'effet du pH acide du milieu par la présence de la levure *Saccharomyces Cerevisiae* ; sur la fermentation de l'éthanol à partir de l'extrait des gousses de caroube ; donne des concentrations élevées d'éthanol. Les raisons de la variation des niveaux d'éthanol sont dues à la différence de la source de levure et à l'élimination des solides avant l'étape de fermentation. Les gousses de caroube peuvent être une bonne matière première pour la production de l'éthanol et par la fermentation *Saccharomyces Cerevisiae*.

En outre, les expériences en lots répétés pour évaluer l'efficacité du cyclage des cellules immobilisées et le rendement en éthanol étaient déterminés comme étant supérieurs à 40 % pour les cinq cycles testés. La fermentation de l'éthanol a été réalisée avec succès à partir de NCPE avec et sans contrôle du pH et les valeurs de rendement en éthanol étaient respectivement 45,17% et 38,41%.

Enfin la fabrication du pain et du cake avec de la farine de caroube est appréciable. Il est de même pour les flocons fabriqués à base de la farine de caroube.

Compte tenu des résultats intéressants obtenus, il paraît d'une grande utilité de savoir exploiter les produits et sous-produit du caroubier (*Ceratonia Siliqua*) dans l'activité agro-alimentaire, en raison de sa richesse en composants consommables ; qui peuvent être utilisés pour l'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits incorporés.

Comme complément à notre étude synthétique ; il est important d'approfondir les études sur le caroubier et de sa mise en valeur sur tous les aspects. De synthétiser et de rassembler des études sur l'effet antioxydant de cette espèce. De prendre aussi en considération l'aspect anti-fongique et antibactérien du caroubier afin de valoriser cette espèce dans le domaine pharmacologique

# **Références**

## **Bibliographiques**

## Liste Bibliographique

**Abi Azar R., 2007**, Complexassions des protéines lactières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus, Agroparistech Ecole Doctorale Abies, Thèse de doctorat

**Ait Chitt, A., Belmir, H., Lazrak, A., 2007**. Production des plants sélectionnés et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA MAPM/DERD 153, 1-4

**Albanell, E., 1990**. Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua L.*) cultivadas en España. Tesis doctoral. Barcelona. España, pp. 209

**Aafi, A., 1996**. Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). Centre National de la Recherche Forestière, Rabat (Maroc), pp. 10

**Hicham El Batal1 , Aziz Hasib1 \*, Aziz Bacaoui2 , Fatima Dehbi1 , Aziz Ouatmane1 , Abderrahim. Jaouad.,2007**. Syrup of natural carob sugars and a process for its production using Response Surface Methodology. Environment and Valorization of Agro-resource, Applied Organic Chemistry Marrakesh, Morocco . University of Cadi Ayyad, of Sultan Moulay Slimane; Morocco, 44-56

**Battle, I., Tous, J., 1997**. Carob tree *Ceratonia siliqua L.*, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 92 pages.

**Baum, N., 1989**. Arbres et arbustes de l'Egypte ancienne, pp. 354

**Baytop, T., 1984**. « Thrapy with medicinal plant in Turkey (Past and present) », Publication of the Istanbul University, Istanbul. pp 3255

**Beagger, M., Andersen, O., Neilsen, J. D., et Rytting, K. L., 1996**. Dietary fibre reduce blood pressure serum total cholesterol and platelet aggregation in rats. British J. Nutr. 75: 483- 493.

**Bendahou, A., Dufresne, A., Kaddami, H. & Habibi, Y. 2007**, “Isolation and structural characterization of hemicelluloses from palm of *Phoenix dactylifera* L”, Carbohydrate Polymers 68, 601–608.

**Bernardo-Gil, M. G., Roque R., Roseiro L.B., Duarte L.C., Gírio, F., Esteves P., 2011.** Supercritical extraction of carob kibbles (*Ceratonia siliqua* L.). J. of Supercritical Fluids 59, 36–42.

**Ben Hsouna, A., Trigui, M., Jaoua, S., 1986.** Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of the ethyl acetate extract of endemic *Ceratonia siliqua* leaves Journal of agricultural and food chemistry, vol. 34, N° 5, pp. 827-829

**Benmahioul, B., Kaïd-Harche, M., Dagon, F., 2011.** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. Forêt méditerranée, pp. 51–58 t. XXXII n°1.

**Berrabah, L, 2020.** Etude de la variabilité intra-spécifique de la gousse de (*Ceratonia siliqua* L.). Dans la village de sahel, région de Bouzeguène, Tizi-Ouzou (Doctorat dissertation, Université Mouloud Mammeil).

**Berrougui, G., 2007.** « Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales, Maghreb Canada Express Vol. 5 », N° 9.

**Bonnier, G., 1990.** La grande flore en couleurs (tome 3), pp.309-310.

**Bock, B., 2012.** Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France. Tela Botanica. BDNFF v4.02. (<http://www.tela-botanica.org>)

**Boudy, P., 1950.** « Economie forestière Nord-Africain (tome II) : Monographie et traitement des essences forestière ». Ed. Larose, Paris, pp.443-445.

**Box, G.E.P., Behnken, D.W., 1960.** Some new three level designs for the study of quantitative variables. Technometrics 2, 455–475

**Cardona C., Sánchez O., 2007.** Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. Bioresour. Technol. 98, 2415–245.

- Corsia, L., Avallonea, R., Cosenza, F., Farina, F., Baraldia, C. & Baraldia, M., 2002.** Antiproliferative effects of *Ceratonia siliqua L.* on mouse hepatocellular carcinoma cell line. *Fitoterapia*. 73 : 674-684.
- Cronquist, A., 1981.** An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press, New York, 248-250
- Custodio, L., Escapa, A.L., Fernandes, E., Fajardo, A., Aligue, R., Albericio, F., Neng, N., Nogueira, J.M.F., Romano, A., 2011.** Phytochemical profile, antioxidant and cytotoxic activities of the carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) germ flour extracts. *Plant. Food. Hum. Nutr.* 66, 78–84.
- Dakia P., 2003.** Extraction et caractérisation de la gomme de caroube (*Ceratonia siliqua L.*). Mémoire : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).
- Dakia P., Wathélet B. & Paquot M., 2007.** Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germ. *Food Chem.*, 102, 1368-1374.
- Diamantoglou, S., et Mitrakos, K., 1981.** Leaf longevity in Mediterranean evergreen sclerophylls. In *Components of Productivity of Mediterranean Climate Region. Basic and Applied Aspects* (N.S.Margaris and H.A. Mooney, eds), Junk Publishers, The Hague ISBN. 90: 6193-9445. pp: 17-19
- Hicham El Batal , Aziz Hasib, Aziz Bacaoui , Fatima Dehbil , Aziz Ouattmane , Abderrahim. Jaouad.,2013 .** Syrup of natural carob sugars and a process for its production using Response Surface Methodology. *Chemical and Process Engineering Research*. Faculty of Science and Technology of Beni-Mellal; University of Sultan Moulay Slimane; Morocco Faculty of Science Semailia; University of Cadi Ayyad Marrakesh, Morocco 2224-7467 (Paper)
- El Bouzdoudi, B., Saïdi, R., Embarch, K., El Mzibri, M., Nejjar El Ansari, Z., El Kbiach, M.L., Badoc, A., Patrick, M., Lamarti, A., 2017.** Mineral composition of mature carob (*Ceratonia siliqua L.*) pod : study. *Int. Food Sci. Nutr. Eng.* 7 (4), 91–103.

**Feillet, P., & Roulland, T. M. 1998.** Caroubin : A gluten-like protein isolate from carob bean germ. *Cereal Chemistry*, 75, 488–492.

**FAOSTAT. 2013.** The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. ([www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)).

**Germeç, M., Turhan, İ., Karhan, M., Demirci, A., 2015.** Ethanol production via repeated batch fermentation from carob pod extract by using *Saccharomyces cerevisiae* in biofilm reactor. *FUEL*, vol.161, pp.304-311.

**Germec, M., Yatmaz, E., Karahalil, E., Turhan, I., 2017.** Effect of different fermentation strategies on beta-mannanase production in fed-batch bioreactor system. *Biotech*, 7(1)77p.

**Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A., Sayah F., 2006a.** Importance socio-économique du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc). *J. Bot. Soc. Bot. France* 33: 43-48.

**Gharnit, N. & Ennabili, A., 2009.** Essais préliminaires de culture in vitro du caroubier (*Ceratonia siliqua*) originaire du nord-ouest du Maroc. *Biomatec Echo*. 3: 18-25.

**Gonçalves, S., Correia, P.J., Martins-Loução, M.A. & Romano, A., 2005.** A new medium formulation for in vitro rooting of carob tree based on leaf macronutrients concentrations. *Biologia plantarum* 49: 277-280

**Goulas, V., Stylos, E., Chatziathanasiadou, M.V., Mavromoustakous, T., Tzakos, A.G., 2016.** Review functional component of carob fruit: linking the chemical and biological space. *Int. J. Mol. Sci.* 17, 1875

**G. SALIH1 A. JILAL2.,2020.** Utilisation alimentaire de la pulpe de Caroube : Formulation et test consommateur.N° 8(2) .249-252

**GAOUAR Naila épouse BORSALI,** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes, 2010/2011.

**Haddarah A., Ismail A., Bassal A., Hamieh T., Ioannou I., Ghoul M., 2013.** Morphological and chemical variability of Lebanese carob varieties. *European Scientific Journal*, 9 (18): 353-369.

**Haselberg C., 1988.** A contribution to the classification and characterization of female and male varieties of *Ceratonia siliqua* L. *Proceedings of the II International Carob Symposium*. Valencia, pp. 137-151.

**Hillcoat, D., Lewis, G., & Verdcourt, B., 1980.** A new species of *Ceratonia* (LeguminoceaCaesalpinoideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35 : 261- 271.

**Hmamouchi, M., 1999.** Les plantes médicinales et aromatiques marocaines. Prix ISESCO. ISBN : 99548007-0-0. 450p (389).

**Ibrahim, A. H., Rehab, M. A.E.B., Samar Y.D., Ahmed, A.L. et Mohamed, S.K., 2013.** Bacterial Growth Inhibitory Effect of *Ceratonia siliqua* L. Plant Extracts Alone and in Combination with Some Antimicrobial Agents. *J. Adv. Biotechnol. Bioeng.*(1): 3-13

**Iserin, P., 1997.** Encyclopédies des plantes Médicinales identification, préparation, soins Ed. Larousse-Bordas, pp.247

**Kaderi, M., Ben Hamouda, G., Zaheir, H., Hanana, M., Hamrouni, L., 2014.** Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua* L. *Lavoisier SAS* 2014 (13), 144–147.

**Kawamura Y., 2008.** Carob bean gum. Chemical and Technical Assessment for the 69th JECFA, [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/69/Carob\\_bean\\_gum.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/69/Carob_bean_gum.pdf), (08/05/12).

**Khelifa, M., Bahloul, A., Kitane, S., 2013.** Determination of chemical composition of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) and its morphological study. *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (3), 348–353.

**Kivçak, B., et Mert, T., 2002.** «Antimicrobial and cytotoxic activities of (*Ceratonia siliqua* L.) extracts». *Turk J. Biol.*, vol. 26, pp.197-200.

**Kocerane Rima., 2021.** Caractérisation morpho-écologique et phytochimique du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) en Algérie. Ecologie Forestière. Université Zianne Achoune Djelfa , pp188

**Konate, I., 2007.** « Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) et des Bactéries endophytes qui lui sont associées ». Université Mohammed V Agdal Faculté des sciences Rabat, thèse de doctorat.196p

**Lee H-S., O'Mahony M. 2005.** Sensory evaluation and marketing: Measurement of a consumer concept. Food Qual. Pref., 16: 227–235.

**Leila Tounsi, Héla Kechaou et Nabil Kechaou., 2021.** Etude des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du sirop de caroube. Study of the physico-chemical and functional properties of carob syrup. Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development, 3 (1), 21-25.

**Linskens, H., et Scholten, W., 1980.** « The fower of carob ». Pptug. Acta. Bilo. (A) XVI (1- 4): pp. 95-102.

**Lizardo, R., Cañellas, J., Mas, F., Torrallardona, D. & Brufau, J., 2002.** L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets. Journées de la Recherche Porcine. 34: 97-101.

**Mahdad M. Y., Guaour S.B., 2016.** Le caroubier (*Ceratonia Siliqua L.*) dans le NordOuest de l'Algérie, Situation et perspective d'amélioration. Éditions Universitaires Européennes. 90 pages.

**Mapa., 1994.** «Ministerio de Agricultura, pesca Y Alimentation ». Anuario de Estadística Agraria. Ed . Secretaria General Técnica, Madrid, Spain

**Makris, D.P., Kefalas, P., 2004.** Carob pods (*Ceratonia siliqua L.*) as a source of polyphenolic antioxidant. Food Technol. Biotechnol. 42 : 105-108.

**Melgarejo, P., & Salazar, D.M., 2003.** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.

**Merwin, M.L., 1981.** The culture of carob (*Ceratonia siliqua*) for food. Fooder and fuel in semi-arid environments. International Tree Crops Institute USA Inc., California.

**Meziani S., Dave Oomah B., Zaidi F., Simon-Levert A., Bertrand C., Zaidi- Yahiaoui R., 2015.** Antibacterial activity of carob (*Ceratonia siliqua L.*) extracts against phytopathogenic bacteria *Pectobacterium atrosepticum*. *Microbial Pathogenesis* 78: 95-102.

**Meziou-Chebouti, N., Merabet, A., Behidj, N., Kirouani, M. and Aliouat, S., 2015.** Chemical composition and antibacterial activity of (*Ceratonia siliqua L.*) growing in Boumerdes (Algeria). In *New Developments in Biology, Biomedical & Chemical Engineering and Materials Science. Proc. Int. Conf. Chem. Engin. Mater. Sci. (CEMS 2015), Vienna, Austria, March 15-17, pp. 96-99*

**Mohammed Mohammed Mater Hajaji, Abdelouahid Ben Ali and Mahdi Chaouch., 2016.** Study the extraction of sugars from caroub boids . *Global Journal of Engineering Science and Researches* 3(5) 2348-8034

**Ndir, B., Lognay, G., Wathelet, B., Cornelius, C., Marlier, M., Thonart P., 2000.** Composition chimique du netetu, condiment alimentaire produit par fermentation des graines du caroubier africain *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth, (4, 5) *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol.4, N° 2, pp.101–105.

**NAS., 1979.** Tropical Legumes: Resources for the Future. National Academy of Sciences. Washington DC, USA, pp. 109-116.

**Orphanos, P.I., & Papaconstantinou, J., 1969.** The carob varieties of Cyprus. *Tech. Bull.* 5. Cyprus Agricultural Research Institute. Ministry of Agriculture and Natural Resources, Nicosia. 27p

**Parrado, J., Bautista, J., Romero, E.J., García-Martínez, A.M., Friaiza, V., et Tejada, M., 2008.** Production of a carob enzymatic extract: Potential use as a biofertilizer *Bioresource Technology* Vol. 99, N°7, pp. 2312-2318.

**Priolo, A., Waghorn, G.C., Lanza, M., Biondi, L. & Pennisi, P., 2000.** Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: Effects on lamb growth performance and meat quality. *J. Anim. Sci.* 78: 810-816.

**Rejeb, M.N., Laffray, D., & Louguet, P., 1991.** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) en Tunisie. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, Groupe d'Etude de l'Arbre, Paris, France, pp. 417-426.

**Rejeb, M.N., 1995.** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans : Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp. 79-85.

**Roukas, T., 1994.** Continuous ethanol production from carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in a packed-bed reactor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 59, 387–393.

**Rtibi K., Jabri M.A., Selmi S., Sebai H., Amri M., Marzouki L., El-Benna J., 2016 a.** Preventive effect of carob (*Ceratonia siliqua L.*) in a dextran sulfate sodium-induced ulcerative colitis in rat. *RSC Adv.*, 6, 19992-20000. **Rtibi K., Jabri M.A., Selmi S., Sebai H., Amri, M., El-Benna, J. et Marzouki, L., 2016 b.** *Ceratonia siliqua* leaves exert a strong ROS-scavenging effect in human neutrophils, inhibit myeloperoxidase in vitro and protect against intestinal fluid and electrolytes secretion in rats. *RSC Adv.*, 6, 65483-65493.

**Rtibi K., Selmi S., Grami, D., Amri, M., Eto, B., El-Benna, J. Sebai H. et Marzouki, L., 2017.** Chemical constituents and pharmacological actions of carob pods and leaves (*Ceratonia siliqua L.*) on the gastrointestinal tract: A review. *Biomedecine & Pharmacotherapy* 93:522- 528.

**Salih G., Jilal A. (2020).** Agro-morphological and quality attributes of Moroccan carob. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 1:20-25.

**Sbay, H. & Abourouh, M., 2006.** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier. Centre de recherche forestière haut commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, Rabat, pp. 1 -9

**Sergio Sánchez-Segado\* , Diego de Juan García, Luis Javier Lozano, Carlos Godínez., 2010.** Fuel Ethanol Production from Carob Pod. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS 1255-1259

**Sébastien Gillet, Mathilde Simon, Michel Paquot, Aurore Richel.,2014.** Synthèse bibliographique de l'influence du procédé d'extraction et de purification sur les caractéristiques et les propriétés d'une gomme de caroube, 18(1) ), 97-107

**Sébastien GILLET., 2018.** ETUDE DES RELATIONS ENTRE LA STRUCTURE DES GALACTOMANNANES DE CAROUBE ET LEURS PROPRIETES FONCTIONNELLES, Biotechnol, Agron. Soc. Environ. COMMUNAUTE FRANCAISE DE BELGIQUE UNIVERSITE DE LIEGE – GEMBOUX AGRO-BIO TECH

**Tous, J., Romero, A., Batlle, I. (2013).** The Croub tree : Botany, horticulure, and genitic resources. Horticulural Reviews Volume 41,385-456

**Turhan, I., Bialka, L.K., Demirci, A., Karhan, M., 2010a.** Enhanced lactic acid production from carob extract by Lactobacillus casei using invertase pretreatment. Food Biotechnology. 24(4):364-374.

**Turhan, I., Bialka, L.K., Demirci, A., Karhan, M., 2010b.** Ethanol production from carob extract by using Saccharomyces cerevisiae. Bioresource Technology. 101 (14), 5290-5296

**Williams, C. L., Bollella M., Spack A. and Puder D., 1995.** Soluble fibre enhances the hypocholesterolemic effect and the step I diet in childhood. J. Am. College Nutr. 14: 251- 257

**Yao E, Lim J, Tamaki K, Ishii R, Kim K-O., O'Mahony M. (2003).** Structured and unstructured 9-point hedonic scales: A cross cultural study with American, Japanese and Korean consumers. J. Sens. Stud., 18: 115–139.

**Yeh L.L, Kim K-O., Chompreeda P., Rimkeeree H., Yau N.J.N., Lundahl D.S. (1998).** Comparison in use of the 9-point hedonic scale between Americans,Chinese, Koreans, and Thai. Food Qual. Pref., 9: 413–419

**Yatmaz, E., Turhan, I., Karhan, M., 2012.** Optimization of ethanol production from carob pod extract using immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells in a stirred tank bioreactor. *Bioresource Technology*.135:365-371.

**Yatmaz, E., Karahalil, E., Germeç, M., Ilgin, M., Turhan, İ., 2016.** Controlling Filamentous Fungi Morphology with Microparticles to Enhanced  $\beta$ -mannanase Production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 39:1391–1399

**Yousif A. & Alghzawi H., 2000.** Processing and characterization of carob powder. *Food Chem.*, 69, 283- 287.

**Youssef, M.K.E., El-Manfaloty, M.M., Ali, H.M., 2013.** Assessment of proximate chemical composition, nutritional status, fatty acid composition and phenolic compounds of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Food Public Health* 304–308.

**Zouhair, O., 1996.** Le caroubier : situation actuelle et perspectives d’avenir. Document interne, Eaux et forêts, Maroc, 22p

# **Annexe**

## Annexe



**Figure 17** : Type d'inflorescence du caroubier **a** : fleur femelle, **b** :gousses ; **c** : fleur male (Rajeb, 1995 ; Batle et tous, 1997)



**Figure 18:** les graines de caroube avant et après le transformation (Berrabah.,2020)



**Figure 19 :** Fruits du caroubier (Battle et Tous, 1997)



**Figure 20:** Le tronc de caroubier dans le village de Sahel Bouzeguène (Berrabah , 2020)

### Résumé

Cette étude synthétique se base sur de 15 Travaux scientifiques et porte sur la valorisation des produits et sous produit du caroubier. Le matériel utilisé est ce lui des gousses de caroube y compris les graines et la pulpe ; dont le but est : la fabrication de la gomme ; la farine de germe ; le sirop ; l'éthanol ; le pain ; le cake et les flocons de caroube. Une extraction des sucres est aussi valorisée. Les résultats obtenus montrent que la gomme de caroube est en faible teneur en matières grasses. La farine de germes de caroube est composé d'une quantité importante en protéines ; en sucre et un peu moindre en lipides. Le germe des graines de caroube est riche aussi en acides gras insaturés. Quand au sirop de caroube ; il contient des quantités faibles en sucres solubles, en sucres réducteurs et en poly phénols. Son pH est acide. Sirop de caroube contient aussi des teneurs non négligeables en minéraux et protéines et une faible teneur en lipides. Comme il est composé aussi de fibres alimentaires solubles et d'acides organiques. Les sucres de caroube peuvent être extraits par simple macération dans l'eau à une température ambiante. Il contient du saccharose ; du glucose et du fructose. La fabrication de l'éthanol associée à pH acide du milieu et par la présence la levure *Saccharomyces Cerevisiae* ; à partir de l'extrait des gousses de caroube ; donne des concentrations élevées d'éthanol. Enfin la fabrication du pain et du cake avec de la farine de caroube est appréciable. Il est de même pour les flocons fabriqués à base de la farine de caroube.

**Mots Clés :** caroube ; gousses ; farine de germe ; sirop ; éthanol ; sucres.

### **Abstract**

This synthetic study is based on 15 scientific works and focuses on the valorization of carob products and by-products. The material used is carob pods including seeds and pulp; whose purpose is: the manufacture of gum; germ flour; the sirup ; ethanol; the bread ; the cake and carob flakes. Sugar extraction is also valued. The results obtained show that locust bean gum has a low fat content. Carob sprout flour is composed of a significant amount of protein; and sugar and a less amount of lipids. The germ of carob seeds is also rich in unsaturated fatty acids. As for carob syrup; it contains low quantities of soluble sugars, reducing sugars and polyphenols. Its pH is acidic. Carob syrup also contains significant levels of minerals and proteins and a low lipid content. As it is also composed of soluble dietary fiber and organic acids. Carob sugars can be extracted by simple maceration in water at room temperature. It contains sucrose; glucose and fructose. The production of the ethanol in an acidic pH of and in the presence of the *yeast* *Saccharomyces Cerevisiae*; from the extract of carob pods; gives high concentrations of ethanol. Finally, making bread and cake with carob flour is enjoyable. The same goes for flakes made from carob flour.

**Keywords:** carob; pods; eraser ; germ flour; syrup; ethanol and sugars.

### الملخص

تعتمد هذه الدراسة على 15 عملاً علمياً وتركز على تثمين منتجات الخروب ومنتجاته الثانوية. المادة المستخدمة هي قرون الخروب بما في ذلك البذور واللب. والغرض منه: صناعة الصمغ. دقيق الخروب جنيني؛ الشراب؛ الإيثانول. الخبز؛ الكعك ورقائق الخروب. استخراج السكر. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن علكة الجراد تحتوي على نسبة منخفضة من الدهون. يتكون دقيق الخروب من كمية كبيرة من البروتين. في السكر وأقل قليلاً في الدهون. كما أن جنين بذور الخروب غنية بالأحماض الدهنية غير المشبعة. أما شراب الخروب؛ لاحتوائه على كميات قليلة من السكريات القابلة للذوبان، والسكريات يحتوي شراب الخروب أيضاً على مستويات كبيرة من المعادن. المختزلة، والبوليفينول. الرقم الهيدروجيني لها حمضي والبروتينات ومحتوى منخفض من الدهون. كما أنه يتكون أيضاً من الألياف الغذائية القابلة للذوبان والأحماض العضوية. يمكن استخلاص سكريات الخروب عن طريق النقع البسيط في الماء في درجة حرارة الغرفة. يحتوي على السكروز. الجلوكوز. والفركتوز.

يرتبط إنتاج الإيثانول بدرجة الحموضة الحمضية للبيئة ووجود خميرة الخروب؛ يعطي تركيزات عالية من الإيثانول وأخيراً، يعد صنع الخبز والكعك باستخدام دقيق الخروب أمر مفيداً. وينطبق الشيء نفسه على الرقائق المصنوعة من دقيق الخروب.

**الكلمات المفتاحية:** الخروب؛ القرون؛ دقيق الخروب جنيني؛ شراب مركز؛ الإيثانول والسكريات.