



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



**Université Amar Telidji- Laghouat**

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

## **MEMOIRE DE MASTER**

Présenté par : NOUIOUA Hadil Fatma Zohra

DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
FILIERE DES SCIENCES ALIMENTAIRES  
OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE

### **Thème**

**L'effet de la durée et de la température d'extraction  
sur les paramètres physicochimiques et biochimiques  
de sirop de la caroube**

### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mm. Amrani Ouarda	Maître de Conférences	Présidente
M. Adamou Ala-Eddine	Professeur	Rapporteur
Mm. Menasra Amina	Maître de Conférences	Examinatrice

**Promotion : 2022-2023**

### Résumé

Les gousses de caroube présentent un intérêt considérable sur le plan alimentaire. Ces derniers sont utilisés dans la préparation de sirop de la caroube et offrent de nombreux avantages. Notre étude visait à examiner l'effet de différentes durées d'extraction (4, 6, 8 et 12 heures) et les températures d'extraction ]80-100[°C sur la qualité du sirop de caroube. en relation avec des paramètres biométriques et des paramètres physicochimiques. Nos résultats ont montré que la température dans notre étude n'a eu qu'une légère influence sur la qualité physicochimique et biochimique du sirop. Par conséquent, les variations observées dans ces paramètres peuvent principalement être attribuées à la durée d'extraction plutôt qu'à la température. L'analyse de la composition biochimique révèle une teneur en sucre de 15,16 %, des protéines totales de 0,52 %. Le pH indique une faible acidité (5,31), la conductivité électrique a été de 535,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et la densité a été de 1,17 g/ml. Ces résultats varient aussi selon la catégorie de taille et la forme.

L'augmentation de la température d'extraction représente un coût supplémentaire ne peut pas se justifier sur le plan alimentaire et économique.

**Mots clés :** Caroube, Sirop, Paramètres biochimiques, Paramètre physico-chimiques, Paramètres morphologiques, Durée d'extraction, Température d'extraction

### Abstract

Carob pods are of considerable dietary interest. These are used in the preparation of carob syrup and offer many benefits. Our study aimed to examine the effect of different extraction times (4,6,8 and 12 hours) and extraction temperatures ]80-100[ °C on the quality of carob syrup. in relation to biometric parameters and physicochemical parameters. Our results showed that the temperature in our study had only a slight influence on the physicochemical and biochemical quality of the syrup. therefore, the variations observed in these parameters can mainly be attributed to extraction time rather than temperature. Analysis of the biochemical composition reveals a sugar content of 15.16% of total proteins of 0.52%. the pH indicates low acidity (5.31), the electrical conductivity was 535.03 S/cm and the density was 1.17g/ml.

These results also vary by size category and shape. The increase in the extraction temperature represents an additional cost that cannot be justified on a food and economic level.

**Keywords:** Carob, Syrup, Biochemical parameter, Physicochemical parameters, Morphological parameters, Extraction duration, Extraction temperature.

### الملخص

قرون الخروب تحمل أهمية كبيرة في مجال الغذاء. فهي تستخدم في تحضير الدبس الخروب وتقدم العديد من المزايا والاستخدامات. كان الهدف هو دراسة تأثير فترات الاستخلاص المختلفة (4، 6، 8 و 12 ساعة) ودرجات الحرارة المختلفة [80-100] درجة مئوية على جودة دبس الخروب من حيث المعايير الظاهرية والفيزيوكيميائية. أظهرت النتائج أن درجة الحرارة لم تكن لها سوى تأثير طفيف على جودة الدبس الخروب من الناحية الفيزيوكيميائية والبيوكيميائية. و بناءً على ذلك، يمكن أن يُرجع التغيير الملاحظ في هذه المعايير بشكل أساسي إلى فترة الاستخلاص بدلاً من درجة الحرارة تحليل التركيب البيوكيميائي يكشف عن نسبة سكر تبلغ 15.16% وإجمالي البروتين 0.52% يشير الأس الهيدروجيني إلى حموضة منخفضة (5.31)، وكانت ناقلة الكهربائية تتفاوت هذه الكثافة 1.17 535.03  $\mu\text{S/cm}$  النتائج أيضاً بناءً على فئة الحجم والشكل. وزيادة درجة حرارة الاستخلاص تتطلب تكلفة إضافية لا يمكن تبريرها من الناحية الغذائية والاقتصادية.

**كلمات مفتاحية:** الخروب، الدبس، المعايير البيوكيميائية، المعايير الفيزيوكيميائية، المعايير المورفولوجية، مدة الاستخلاص، درجة حرارة الاستخلاص.

# *Dédicaces*

*A l'aide d'ALLAH tout puissant, qui nous a tracé le chemin de notre vie Nous avons pu réaliser ce travail que nous dédions :*

*A nos chers parents*

*Source d'amour et compréhension inépuisable, aucune dédicace ne saurait exprimer nos grands amours, nos estimes, notre vive gratitude, nos intime attachement et nos profondes affections, que dieu vous accorde longue vie.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé leur présence dans ce jour, à ma tante Habiba, À ma sœur Lina, À mes frères Ali et Anes. À mes amies Rania et Amina.*

*À toute la promotion de 2 ème année Master Agro-alimentaire et contrôle de qualité de l'année 2022-2023 à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible,  
je vous dis merci.*

# *Remerciements*

*Nous tenons à remercier avant tout, ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage, la volonté, la faculté et la Patience de réaliser ce modeste travail*

*J'exprime ma profonde reconnaissance à M. ADAMOU Ala-Eddine, Professeur à l'université de Laghouat, d'avoir accepté la charge de diriger ce mémoire, avec une grande rigueur scientifique, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, la confiance qu'il m'a accordée et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce travail.*

*Ma reconnaissance va aussi à Mm AMRANI Ouarda, Maître de Conférences à l'université de Laghouat, d'avoir accepté de présider le jury et d'évaluer ce travail*

*Nous tenons à remercier Mm. MENASRA Amina, Maître de Conférences à l'université de Laghouat, d'avoir bien voulu examiner ce travail.*

*Nos hommages vont à tous nos Enseignants du Département d'Agronomie pour avoir fortement contribué à enrichir nos connaissances. Enfin, nos remerciements s'adressent à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail ou qui nous ont encouragé et soutenu à tout moment.*

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Parties importantes de la gousse de caroube (A), coupe de la gousse (B) et graine (C).	8
<b>2</b>	Stades de développement des gousses de caroube.	9
<b>3</b>	Schéma représentatif du l'échantillonnage et de codage des gousses de caroube.	16
<b>4</b>	Schéma représentatif de processus modifié de préparation de sirop de caroube.	18
<b>5</b>	Bouillage de caroube trempée (chaque sirop a une température et durée d'extraction).	19
<b>6</b>	Concentration de liquide de caroube jusqu'à ce il atteigne 50ml.	20
<b>7</b>	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	29
<b>8</b>	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	30
<b>9</b>	Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	30
<b>10</b>	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	31
<b>11</b>	Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	32
<b>12</b>	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.	32
<b>13</b>	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.	33
<b>14</b>	Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.	34
<b>15</b>	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.	34
<b>16</b>	Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.	35
<b>17</b>	Relation entre la densité et le taux de sucres solubles de sirop de caroube.	35
<b>18</b>	Relation entre le pH de sirop de caroube et la longueur totale des gousses de caroube.	36
<b>19</b>	Relation entre le pH de sirop de caroube et la largeur des gousses de caroube.	36
<b>20</b>	Relation entre le pH de sirop de caroube et la masse des gousses de caroube.	37

<b>21</b>	Relation entre la conductivité électrique de sirop de caroube et la longueur d'arc des gousses de caroube.	38
<b>22</b>	Relation entre la conductivité électrique et le taux de sucres solubles de sirop de caroube.	38

## Liste des Tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Production moyenne de caroube (tonnes) et sommes totales (tonnes) des neuf principaux pays producteurs.	5
<b>2</b>	Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie.	6
<b>3</b>	Principaux produits de la caroube (pulpe et graines) et leurs utilisations majeures.	10
<b>4</b>	Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques.	11
<b>5</b>	Composition chimique du caroubier.	11
<b>6</b>	Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube	27
<b>7</b>	Description statistique des paramètres physicochimiques de sirop des gousses	28
<b>8</b>	Composition physico-chimique du sirop de caroube.	41

# Sommaire

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

## **Introduction**

Introduction 1

## **Synthèse Bibliographique**

**1. Le caroubier** 3

1.1 Appellations 3

1.2 Classification botanique 3

1.3 Présentation du caroubier 4

1.4 Répartition géographique 4

1.4.1 Au niveau du globe 4

1.4.2 Au niveau du Algérie 4

1.5 Production du caroubier 5

**2. Les gousses de caroubier ou la caroube** 7

2.1 Présentation de la caroube 7

2.2 Utilisations 9

2.3 Composition des gousses de caroube 11

**3. Sirop de la caroube** 12

3.1 Méthode de préparation de sirop 13

3.1.1 Méthode artisanale 13

3.1.2 Méthode industrielle 13

## **Matériel et méthodes**

**1. Échantillonnage et préparation** 16

<b>2. Paramètres et analyses au laboratoire</b>	16
2.1 Mesures morpho-métrique	16
2.1.1 Longueur d'arc	16
2.1.2 Longueur totale	16
2.1.3 Largeur	17
2.1.4 Epaisseur	17
2.1.5 La masse	17
2.2 Processus de préparation de sirop de la caroube	17
2.3 Paramètres physico-chimiques et biochimiques	20
2.3.1 pH	20
2.3.2 Conductivité électrique	20
2.3.3 Sucres solubles totaux	21
2.3.4 Protéines totales	21
2.3.5 Densité ou masse volumique	22
2.4 Analyses statistiques	22

## **Résultats**

<b>1. Caractérisation des paramètres morphométriques</b>	27
1.1 Longueur total des gousses de la caroube	27
1.2 Longueur d'arc des gousses de la caroube	27
1.3 Largeur des gousses de la caroube	27
1.4 Epaisseur des gousses de caroube	27
1.5 La masse des gousses de caroube	27
<b>2. Caractérisation des paramètres physico-chimiques et biochimiques</b>	28
2.1 La densité	28
2.2 Conductivité électrique	28
2.3 pH	28

2.4 Protéines totales	28
2.5 Sucres solubles	28
<b>3. Variation des paramètres physicochimiques avec la durée d'extraction</b>	29
<b>4. Variation des paramètres physicochimiques avec la température d'extraction</b>	32
<b>5. Corrélations entre les paramètres morphométriques et physicochimiques</b>	35
<b>Discussion</b>	
Discussion	39
<b>Conclusion</b>	
Conclusion	42
<b>Références bibliographiques</b>	
Références bibliographiques	45

# **Introduction**

---

Le caroubier, en tant qu'espèce agro-sylvo-pastorale, offre de nombreux bénéfices d'ordre social, économique et écologique (**Gharnit et al., 2001**). Les gousses de caroube sont couramment utilisées dans la production de sirop. Elles sont les fruits de l'arbre de caroube (*Ceratonia siliqua* L.), un arbre à feuilles persistantes qui pousse naturellement ou cultivé principalement dans les pays méditerranéens (**Tounsi et al. 2019**). De plus, il est d'une importance économique considérable en raison de ses gousses qui sont plus riches en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière (**Kabouche, 2019 ; Chekerker et Kerkour, 2019**). Ces gousses sont largement utilisées dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique, ce qui confère au caroubier un intérêt économique majeur (**Battle, 1997; Markis et Kefalas, 2004**). C'est un édulcorant naturel avec une saveur et une apparence similaires au chocolat (**Yousif et Alghzawi, 2000 ; Sengül et al., 2007**).

La pulpe de caroube est souvent utilisée dans la préparation de sirop de la caroube. Ce dernier est une confiserie traditionnelle largement préparée dans de nombreux pays méditerranéens, connue sous le nom de "Rub" en Magreb, "Pekmez" en Turquie et "Débès" au Liban. Il est généralement produit par la concentration du jus de fruits jusqu'à 65-80 Brix sans ajout de sucre ni d'autres additifs alimentaires (**Tounsi et al. 2017**).

Les opérations de production de sirop peuvent varier en fonction de l'origine des fruits utilisés. Cependant, le principe fondamental est d'augmenter la concentration des solides solubles jusqu'à atteindre un niveau désiré (**Yoğurtçu et Kamışlı, 2006**). Car les gousses de caroube sont connues pour leur teneur élevée en sucre, principalement sous forme de saccharose, représentant environ 75% de la composition totale des sucres (**Biner et al., 2007**).

En plus des sucres, il contient également certains minéraux tels que le fer, le phosphore, le calcium et le potassium, ainsi que des acides organiques. En raison de ces caractéristiques, le sirop de caroube peut être considéré comme un aliment naturel, énergétique et sain (**Toker, 2013**).

Les sirops transformés trouvent couramment leur utilisation dans l'adoucissement et la conservation des fruits de saison. Ils sont également largement employés pour préparer des gâteaux, des biscuits et des confiseries faites maison (**Clodoveo, 2022**). Aussi peut être utiliser

comme ingrédient dans de nombreuses formulations alimentaires telles que les crèmes glacées, sirops de fruits, gelées et boissons aux jus de fruits (**Maskan, 2006**).

La production industrielle de sirop de la caroube implique une étape de cuisson qui requiert à la fois du temps et de l'énergie. La durée et la température de cette étape d'extraction peuvent avoir une incidence sur le profil, la qualité physico-chimique et biochimique du sirop obtenu. Par conséquent, il est essentiel de mener des études pour évaluer l'impact de la durée et de la température d'extraction sur ces paramètres. Ces résultats pourraient ensuite fournir des recommandations aux acteurs de l'industrie sur les meilleures pratiques à suivre.

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de la durée et de la température d'extraction sur les paramètres physicochimiques et biochimiques du sirop de caroube. L'accent a été mis sur la détermination des variations du taux de sucre pour évaluer son potentiel en tant qu'édulcorant naturel, ainsi que sur la mesure du taux de protéines pour évaluer son utilisation potentielle comme épaississant dans l'industrie agroalimentaire. Les résultats obtenus permettent de formuler des recommandations pour chaque sirop, afin d'orienter leur utilisation dans les différentes applications industrielles.

# **Synthèse Bibliographique**

---

### 1. Le caroubier

#### 1.1 Appellations

Le caroubier est appelé scientifiquement *Ceratonia siliqua* L, inspiré du mot grec “keratia” qui signifie corne et du latin “*siliqua*” qui signifie gousse, en allusion à la dureté et la forme de la gousse (**Batlle et al., 1997**). La dénomination de l'espèce *C.siliqua* L. dans différents pays et langues découle d'une forme générale du nom arabe Al kharroub ou kharroub (**Albanell, 1990**). Son nom varie d'un pays à l'autre, donnant lieu à plusieurs dérivés tels que : kharuv en hébreu, algarrobo en espagnol, carrubo en italien, caroubier en français, garrofer ou garrover en catalan...etc. (**Batlle et al., 1997**).

En raison de leur uniformité, les graines de caroube sont appelées “carats” et ont pendant longtemps servi aux joailliers comme unité de poids pour la pesée des diamants, des perles et d'autres pierres précieuses (**Rejeb, 1995**). On attribue aux arabes l'utilisation des graines entières du caroubier comme unité de poids dans le commerce des substances et matériels précieux. Il apparaît donc que “el kilate” en espagnol ou “carat” en français (0,2 g) vient du nom arabe (Al-karat ou qirât) donné à la graine, laquelle est caractérisée par sa relative constance de poids (**Albanell, 1990**).

#### 1.2 Classification botanique

Selon **Batlle et Tous (1997)**, le genre *Ceratonia*, qui appartient à la famille des Légumineuses (Fabacées) de l'ordre des Rosales, renferme trois espèces, à savoir *Ceratonia siliqua*, *Ceratonia oreothauma* et *Ceratonia somalensis*. Le caroubier, est un arbre typiquement méditerranéen qui peut atteindre une hauteur de 15 mètres et possède une cime étalée et arrondie (**Quélzel et Santa, 1962**). Les feuilles persistantes du caroubier sont grandes, composées de 4 à 10 folioles ovales ou elliptiques et sont de couleur verte luisante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure. Le caroubier est une espèce dioïque, rarement monoïque, qui fleurit en automne sur le bois de deux ans et les vieux bois (**Batlle et Tous, 1997**). Les fleurs mâles et femelles sont de couleur pourpre et rougeâtre et la pollinisation est généralement anémophile, bien qu'elle puisse également être assurée par les insectes (**Retana et al., 1994; Rejeb et al., 1995; Ortiz et al., 1996**). Les sujets hermaphrodites peuvent également être utilisés en tant que pollinisateurs et producteurs de

fruits comestibles appelés caroubes, qui apparaissent à partir de l'âge de 15 ans (**Passos de Carvalho, 1988**). Les caroubiers sont cultivés pour leur fruit, les caroubes, qui sont comestibles et sucrées (**Retana et al., 1990; Rejeb et al., 1991; Ortiz et al., 1996**).

### 1.3 Présentation du caroubier

Le caroubier est un arbre de croissance lente, d'une longévité importante dépassant souvent les 200 ans (**Haddarah, 2013**). Le caroubier croit dans les conditions naturelles à l'état sauvage sous des bioclimats de type subhumide, semi-aride et aride (**Benmahioulet et al., 2011**). La couleur de la caroube est d'abord verte, puis elle devient brune foncée à maturité. Pour arriver à cette maturité, la caroube nécessite généralement 9 à 10 mois (**Bechri, 2017**).

### 1.4 Répartition géographique

#### 1.4.1 Au niveau du globe

La distribution originale de *C.siliqua* n'est pas claire car elle a subi de nombreuses cultures depuis l'Antiquité. **Hillcoat et al. (1980)** suggère son aire de répartition à l'état sauvage inclus la Turquie, Chypre, la Syrie, le Liban, Palestine, le sud de la Jordanie, l'Égypte, l'Arabie saoudite, l'Algérie, la Tunisie et la Libye et qu'il s'est déplacé vers l'ouest à un stade précoce. Le caroubier est cru avoir été répandu par les Grecs en Grèce et en Italie, puis par les Arabes le long la côte de l'Afrique du Nord dans le sud et l'est de l'Espagne, d'où il a migré au sud du Portugal et au sud-est de la France (**Battle et tous, 1997**). Il a été introduit aussi en Australie, en Afrique du sud, aux États-Unis et en Amérique du sud (**Sbay et Abourouh, 2006**). Actuellement le caroubier se trouve aussi aux Philippines et en Afrique du sud (**Battle et tous, 1997**).

#### 1.4.2 Au niveau du Algérie

En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (**Quezel et Santa, 1962**) .il est généralement trouve avec l'amandier , Olea Europea et Pistacia Atlantica Dans les régions chaudes semi-arides, semi-humides et humide, à des altitudes allant de 100m à 1300m, dans les vallées fraîches qui la protègent Gelée ; température de 5 °C à 20 °C, précipitations de 80 mm à 600 mm/an (**Rebour, 1968**).

Les collines ensoleillées sont un lieu de prédilection pour les caroubiers. régions littorales ou sublittorales : Sahel algérois; Dahra, Grande Kabylie et Petite– Kabylie, vallée de la Sommam (1074 ha) et de l'Oued–Isser; collines d'Oran et des coteaux de Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaine de Bône, Mitidja et les vallées intérieures (1054 ha), il descend jusqu'à Boussaâda, Djelfa et Laghouat mais n'y porte pas beaucoup de fruit (**Lavalée, 1962 ; Zitouni, 2010**).

### 1.5 Production du caroubier

Selon L'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO**), les pays avec la plus grande production de la caroube sont l'Espagne, le Portugal, l'Italie, le Maroc, Turquie et Grèce (**Tab. 1**).

Étant donné que le marché de la caroube s'est développé ces dernières années et qu'on s'attend à ce grandir encore plus jusqu'en 2027.

**Tableau 1:** Production moyenne de caroube (tonnes) et sommes totales (tonnes) des neuf principaux pays producteurs (**FAOSTAT, 2021**).

<b>Pays producteur</b>	<b>Moyenne (tonnes)</b>	<b>Somme (tonnes)</b>
<b>Espagne</b>	44.283	265.700
<b>Portugal</b>	44.214	265.284
<b>Italie</b>	29.025	203.175
<b>Maroc</b>	21.790	152.707
<b>Turquie</b>	14.469	101.280
<b>Grèce</b>	12.912	129.116
<b>Chypre</b>	7.769	54.380
<b>Liban</b>	3.589	25.124
<b>Algérie</b>	3.577	25.037

En Algérie, les wilayas avec la plus grande production de la caroube sont Béjaia, Tipaza, Blida et Boumerdes (**Tab. 2**).

**Tableau 2:** Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009  
(Dahim et Nait 2018).

<b>Wilaya</b>	<b>Surface cultivée (ha)</b>	<b>Production (qx)</b>
<b>Bejaia</b>	645	18417
<b>Tipaza</b>	105	5600
<b>Blida</b>	100	8050
<b>Boumerdes</b>	32	1080
<b>Bouira</b>	22	144
<b>Mila</b>	10	80
<b>Tlemcen</b>	5	100
<b>B.B.Arreridj</b>	4	20
<b>Aïn-defla</b>	2	300
<b>Mascara</b>	1	30
<b>Tizi-Ouzou</b>	1	20
<b>Total</b>	927	33841

## 2. Les gousses de caroubier ou la caroube

### 2.1 Présentation de la caroube

Le fruit du caroubier est classifié habituellement compte tenu de sa faible teneur en eau au moment de sa collecte comme un fruit sec et cela malgré son aspect pulpeux (**Albanell, 1990**). La caroube est un fruit indéhiscent d'une grande taille de 10 à 30 cm de long et de 2 à 3,5 cm de large. Il est vert puis brun et au moment de la maturité d'un ton brun foncé, rouge ou noir selon les variétés mais toujours très brillant. Il est sinueux autour des bordures, aplati, droit ou courbé et présente un tissu pulpeux sucré et rafraichissant (**Battle et Tous, 1997**).

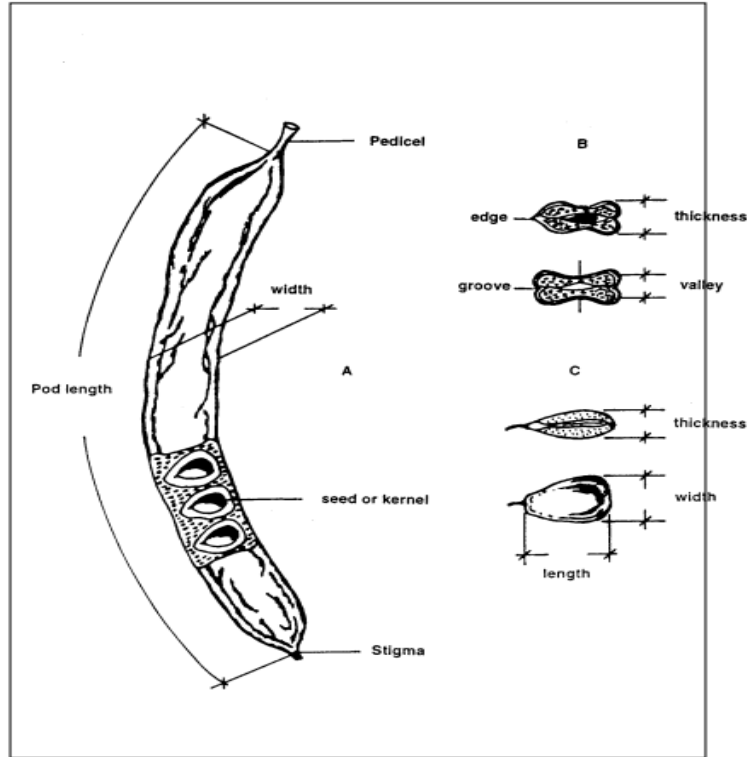
La gousse est divisée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et contient de 5 à 16 graines, soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction de la variété, des conditions environnementales, l'efficacité de la pollinisation et de la conduite culturale (**Melgarejo et Salazar, 2003 ; Ait Chitt et al., 2007**).

Le fruit du caroubier croît très lentement à ses débuts durant l'automne. Sa croissance s'accélère au printemps et croît d'une manière visible jusqu'au début de l'été où il atteint sa taille maximale. La maturité est atteinte à partir du début septembre. Entre la nouaison et la maturité, peut s'écouler une période de 11 mois (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

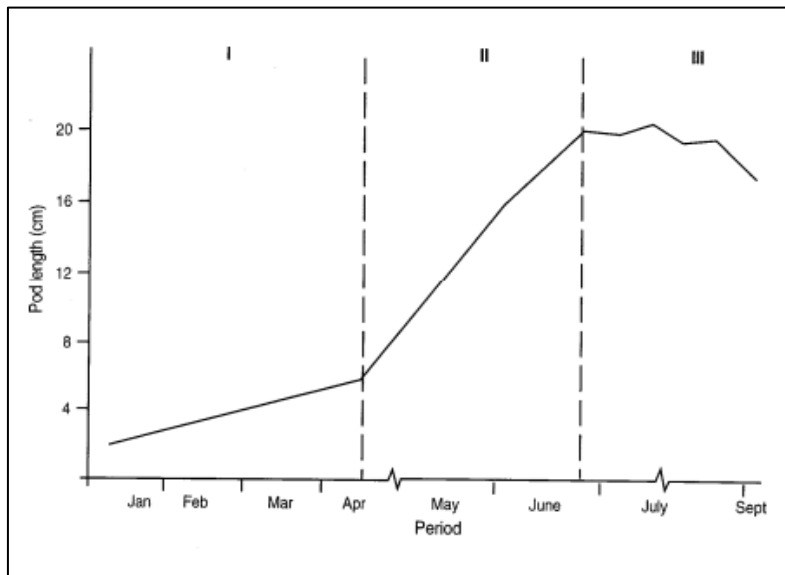
La gousse est composée de trois parties : l'épicarpe, le Mésocarpe et l'endocarpe (**Fig. 1**).

Les stades de développement de la caroube :

- Le premier stade correspond à une croissance lente en automne et en hiver durant lequel la gousse montre une légère augmentation du poids.
- Le deuxième stade correspond à une croissance rapide entre avril et août caractérisé par une période d'activité de la gousse en début printemps.
- Au troisième stade la gousse s'accroît lentement, mûrit et se durcit en juin, change de la couleur verte en brune. Ainsi, la gousse devient mûre après dix mois (**Boublenza, 2012**) (**Fig. 2**).



**Figure 1:** Parties importantes de la gousse de caroube (A), coupe de la gousse (B) et graine (C) (Batlle et Tous, 1997).



**Figure 2:** Stades de développement des gosses de caroube d'après Ilahi et Vardar 1976 in Batlle et Tous, 1997.

### 2.2 Utilisations

On utilise la caroube dans le secteur agro-alimentaire et dans le domaine médicale, cosmétique et l'alimentation animale (**Toker, 2013**).

Le caroubier est de plus en plus recommandé pour le reboisement des zones côtières dégradées sous l'effet de l'érosion ou de la désertification (**Battle et Tous, 1997**). De nos jours, le caroubier est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus intéressants, puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorce et racines) sont exploitées et ont des valeurs dans plusieurs domaines (**Aafi, 1996**).

Le bois du caroubier appelé carouge (**Rivière et Leco, 1900**) est dur à grain fin ; il est utilisé pour la fabrication d'ustensiles et la production de combustible (**Battle et Tous, 1997**). Son bois est très apprécié en menuiserie et en charbonnerie grâce à sa dureté et à sa couleur rougeâtre, quant à l'écorce et aux racines sont utilisés dans le tannage grâce à leur richesse en tannins. Les fleurs sont exploitées en apiculture de la production du miel de caroube alors que les feuilles sont utilisées pour l'alimentation des animaux (**Hariri et al., 2009**).

La pulpe peut être broyée en poudre fine pour l'alimentation humaine. La caroube poudre de 46% de sucre, 7% de protéines et de petites quantités de nombreux minéraux et vitamines et est donc très nutritif.

Après séchage au four, la poudre peut être ajoutée aux gâteaux, pains, bonbons, glaces ou boissons comme aromatisant. La poudre de caroube « cacao » présente des avantages par rapport au chocolat qui a moins de calories et ni caféine ni théobromine. Sa saveur n'est pas aussi riche que le chocolat noir. Mais ressemble au chocolat au lait (**Battle et Tous, 1997**). En Egypte, les sirops élaborés à partir de la caroube constituent une boisson populaire (**Battle et Tous, 1997**). Par ailleurs, différents aliments pour l'homme peuvent dériver de la pulpe de caroube tels que les sirops de sucre ou de mélasse, la poudre de caroube non torréfié et torréfié utilisés comme substituts de cacao dans les pâtes, les barres de céréales, les confiseries au chocolat, les crèmes glacées et les produits légers (**Loeb, 1989 ; Marakis, 1996**).

La gomme reste le produit le plus important parmi ceux dérivés de la graine. Elle constitue le tiers (1/3) du poids total de la graine ; 100 kg de graines produisent une moyenne de 20 kilos de gomme pure et sèche (**Jones, 1953**). Cette gomme mucilagineuse connue sous

le code E-410 est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire comme épaississant, stabilisant, liant et gélifiant ou comme agent dispersant. Elle est aussi utilisée dans le domaine de l'impression, la photographie, le textile, la pharmacie et la cosmétique (**Battle et Tous, 1997**).

**Tableau 3:** Principaux produits de la caroube (pulpe et graines) et leurs utilisations majeures (**Mahdad, 2013**).

Produits		Traitement	Utilisations
<b>Pulpe</b>	Brute	Aucun	Alimentation animale (Cheval et ruminants)
		Moulage	Alimentation humaine et animale (ruminants et non ruminants)
		Extraction et purification	Sucre et mélasse
		Fermentation et distillation	Alcool et production de protéines microbiennes
		Extraction	Tanins comme anti-diarrhée
	Poudre	Lavage et séchage	Ingrédients alimentaires ; substituant du cacao ;
		Torréfaction et moulage	Préparation de produits diététiques et pharmaceutiques
<b>Graines</b>			
Endosperme		Moulage	CBG ou E-410 ; additifs alimentaires ; fibre diététique, aliments pour mascottes ; produits pharmaceutiques et cosmétiques
Embryon Episperme		Moulage Extraction	Farine de germe ; nutrition humaine et animale Tanins pour le tannage des cuirs

**Tableau 4:** Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques (**Mahdad, 2013**).

Utilisation industrielle	Applications
Pharmaceutiques	Produits anti cœliaques, pommades, comprimés, dentifrice
Cosmétiques	Emulsions et mousses, mousse à raser
Textiles	Epaississant de coloration
Papier	Produit de flottation pour matériel de couverture; épaississant pour traitement de surface
Chimiques	Colles, coloriage, polissage, teinture, allumettes, pesticides
Pétrole	Adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité
Mines	Produit de flottation
Béton	Renforcement de la solidification
Explosifs	Liant d'eau pour les explosifs

### 2.3 Composition des gousses de caroube

La pulpe et les graines sont les deux principaux composants de la gousse du caroubier et la composition chimique de la pulpe de caroube est souvent influencée par : l'origine, période de récolte, variétés, période de stockage (**Orphanos et Papaconstantinou, 1969, Vardar et al., 1972, Calixto et Canellas, 1982, Albanell et al., 1991**).

**Tableau 5:** Composition chimique du caroubier (**Youcef et al., 2022**).

<b>La pulpe 90 %</b>	<b>La graine 10 %</b>
<b>Glucide 48 -72</b>	
<b>Protéine 1- 2</b>	
<b>Matière grasse 0,5-0,7</b>	<b>L'enveloppe tégumentaire (cuticule) 30 -33%</b>
<b>Cellulose et hémicellulose 18</b>	
<b>Minéraux (Ca, Mg, K, P)</b>	<b>L'endosperme (albumen) 42-46%</b>
<b>Pectine et fibres 4,2à 9,6</b>	
<b>Cendres 1,5à 2,4</b>	
<b>Poly phénols 16-20</b>	<b>L'embryon (germe) 23-25%</b>

### 3. Sirop de la caroube

Le sirop de la caroube est un jus concentré produit à partir des gousses en faisant bouillir jusqu'à 70 à 80 % de matière sèche soluble (**Akbulut et al., 2008**). Le sirop est un aliment liquide et, par conséquent, les caractéristiques rhéologiques sont importantes en plus des propriétés chimiques et physiques pour le processus de production (**Karaman et Kaycier, 2011**).

Les sirops à base de fruits de la caroube constituent une boisson populaire (**Batlle et Tous, 1997**), les Arabes fabriquent avec la pulpe une boisson alcoolisée et les Kabyles fabriquent à partir du fruit un plat appelé tomina (**Bonnier, 1990**). Au Liban, les gousses de caroube sont principalement utilisées pour extraire le sirop ou «Débés » et la fabrication d'un produit laitier artisanal connu sous le nom de «Mekika ». Il est spécifique de la région (**Haddarah et al., 2013**). Il est préparé par séchage la gousse ou de la pulpe et concentré par ébullition au sirop cohérent (**Özcan et al., 2007**), sans ajout de sucre ou d'autres additifs alimentaires (**Sengül et al., 2007**).

Le sirop de la caroube est un aliment nutritif, avec des quantités élevées de sucres (saccharose, glucose et fructose), de minéraux (potassium, calcium, magnésium, phosphore et fer) et acides organiques (acide citrique) (**Sengül et al., 2007 ; Tounsi et al., 2017 ; Tounsi et al., 2020 ; Karhan et al., 2005**).

### 3.1 Méthode de préparation de sirop

#### 3.1.1 Méthode artisanale

Tout d'abord, les caroubes sont lavées, séchées au soleil pendant plusieurs jours à l'air libre au sol et écrasées avec du mortier et du pilon.

Ensuite, les gousses écrasées sont mélangées avec de l'eau courante et le mélange est conservé en macération pendant une nuit, et filtré le lendemain à l'aide d'un tamis ou d'un chiffon filtrant. Le produit de la filtration est mélangé avec de l'eau courante, puis bouillie à petit feu.

Les jus groupés sont bouillis une deuxième fois dans un récipient ouvert jusqu'à concentration. Après refroidissement, le concentré de jus de caroube est rempli dans des bouteilles en plastique (**Tounsi et al., 2020**).

#### 3.1.2 Méthode industrielle

Selon **Diaz (1997)**. Le procédé d'obtention du sirop de caroube comprend les étapes suivantes :

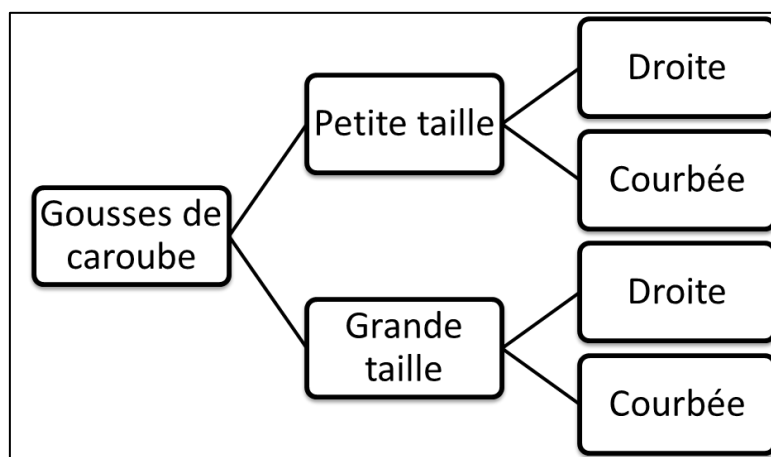
- Le fruit de caroube est soumis à des opérations pour séparer les éléments étrangers, il est lavé dans l'eau et séché par un courant d'air puis coupées les gousses suffisamment pour libérer la graine.
- Les gousses découpées sont soumises à une opération de séparation-tamissage pour séparer les graines de la pulpe ;
- La pulpe est bouillie pour obtenir un jus brute, avec une concentration comprise entre 30° à 50° Brix, La pulpe de déchets est pressée afin d'extraire une partie substantielle de l'eau. Le jus brut obtenu dans ce processus est filtré pour éliminer les particules de caroube en suspension, puis évaporer et concentrer. Le jus brut à une concentration d'environ 60°Brix.

# **Matériel et méthodes**

---

### 1.Échantillonnage et préparation

Sept kg de gousses de caroube ont été acheté. Puis, les gousses de caroube ont été séparées en fonction de deux facteurs phénotypiques ; la taille (grandes, petites) puis selon la forme (droite, courbée) ensuite, les gousses ont été codées. Les gousses codées ont été stockées dans des sacs en papier et séparées en groupes pour faire les mesures morphométriques (**Fig. 3**)



**Figure 3:** Schéma représentatif de l'échantillonnage et de codage des gousses de caroube.

## 2. Paramètres et analyses au laboratoire

### 2.1 Mesures morpho-métrique

Avant de commencer les mesures morpho-métriques des gousses de caroube, ces derniers ont été séparés selon la taille et la forme en 4 groupes, puis elles ont été codées pour faire les mesures suivantes : la longueur totale, longueur d'arc, largeur, épaisseur et la masse.

#### 2.1.1 Longueur d'arc

La longueur d'arc représente la distance entre les deux extrémités de la gousse, elle est déterminée à l'aide d'un mètre ruban en cm.

#### 2.1.2 Longueur totale

La longueur totale représente la distance totale courbée entre les deux extrémités de la gousse, détermine à l'aide d'un mètre ruban en cm.

### 2.1.3 Largeur

Largeur est déterminée dans le centre de la gousse, mesurée par un pied à coulisse en cm.

### 2.1.4 Epaisseur

L'épaisseur est déterminée dans le centre des gousses de caroubes, par un pied à coulisse en cm.

### 2.1.5 La masse

La masse des gousses en grammes, à l'aide d'une balance électronique.

## 2.2 Processus de préparation de sirop de la caroube

Trente-deux échantillons de sirop de la caroube ont été préparés avec différentes température d'extraction dans un intervalle de ]80 - 100[°C et différents durées (4 h, 6 h, 8 h et 12 h), selon le procédé de préparation traditionnel (modifier) présenté par les étapes suivantes (**Fig. 4**) :

#### - **Lavage des gousses de caroube**

Les gousses de caroubes ont été lavées soigneusement à l'eau pour les nettoyer et éliminer les impuretés. Après le lavage, les gousses de caroubes ont été étalées au soleil pour les sécher complètement. Les gousses de caroubes séchées ont ensuite été divisées en groupes de 50 g et stockées dans des sacs en papier.

#### - **Fragmentation des gousses de caroubes**

Pour préparer le jus de caroube, les gousses de caroubes séchées ont été manuellement fragmentées en petits morceaux à l'aide d'un pilon dans un mortier en cuivre.

#### - **Trempage**

Trempées 50g de gousses de caroubes sèches et cassées dans un erlenmeyer contenant 1 litre d'eau de puits pendant 24 heures.

#### - **Bouillage**

À cette étape, il convient de faire cuire chaque 50g de gousses de caroubes cassées à feu doux dans un grand erlenmeyer posé sur un trépied et une grille en fer, utilisant un bec Bunsen comme source de chaleur (**Fig. 5**). Chaque catégorie de sirop nécessite une durée

allant de 4 heures à 12 heures et une température de bouillage différente contrôlée par un thermomètre.

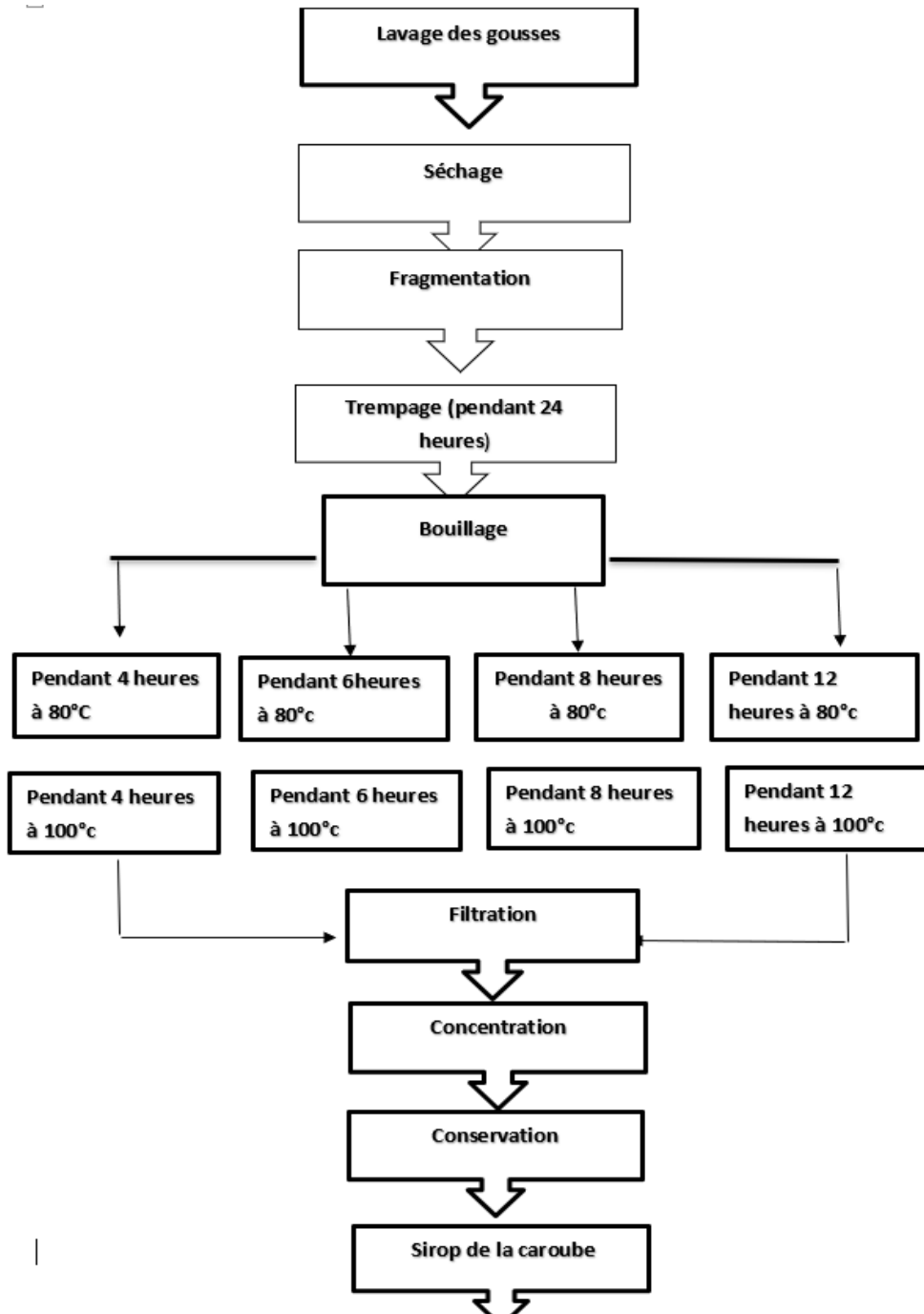


Figure 4: Schéma représentatif de processus modifié de préparation de sirop de caroube selon Tounsi (2019).



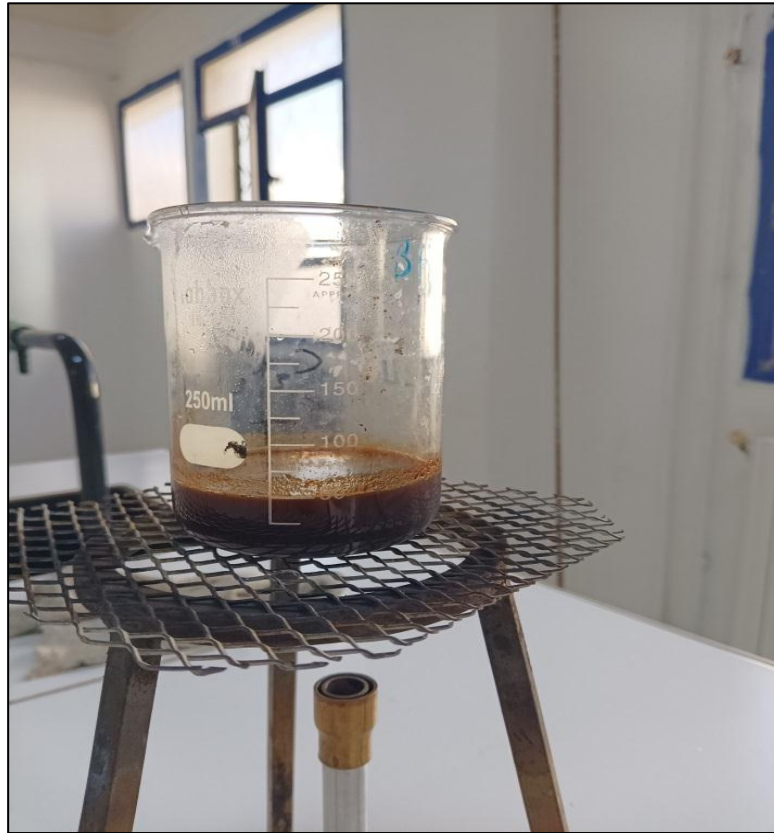
**Figure 5:** Bouillage de caroube trempée (chaque sirop a une température et durée d'extraction).

- **Séparation**

Après l'extraction, le liquide de la caroube a été séparé en premier lieu, et le jus a été filtré à travers un filtre en acier inoxydable.

- **Concentration**

Lors de cette étape, le même dispositif de bouillage (bec Bunsen et trépied) a été utilisé pour concentrer le liquide de caroube. Dans un bécher, le liquide a été porté à ébullition jusqu'à ce qu'il se transforme en un sirop concentré de caroube de 50 ml (**Fig. 6**).



**Figure 6:** Concentration de liquide de caroube jusqu'à ce il atteigne 50 ml.

### - **Conservation**

Le sirop de la caroube a été entreposé dans des flacons stériles au réfrigérateur afin de préserver ses propriétés nutritionnelles.

## **2.3 Paramètres physico-chimiques et biochimiques**

### **2.3.1pH**

Le pH a été mesuré directement à température ambiante à l'aide d'un pH-mètre étalonné.

### **2.3.2 Conductivité électrique**

Pour déterminer la conductivité électrique de sirop de caroube une solution de sirop à 10% a été préparée par ajout de 9 ml d'eau distillée à 1ml de sirop, puis la conductivité électrique a été mesurée par un conductimètre électrique.

### 2.3.3 Sucres solubles totaux

Pour déterminer la teneur en sucres solubles totaux de sirop de la caroube, on pose directement une goutte de sirop de caroube sur le réfractomètre et on observe le niveau de sur l'écran à l'œil nu.

### 2.3.4 Protéines totales

La méthode de Kjeldahl est une méthode chimique pour déterminer la teneur en azote dans un échantillon organique. Elle consiste à digérer l'échantillon avec de l'acide sulfurique concentré et à le neutraliser avec de la soude caustique. L'ammoniac produit lors de la réaction est piégé dans une solution acide et titré avec une solution standard d'acide. La quantité d'azote dans l'échantillon est ensuite calculée à partir de la quantité d'acide utilisée pour titrer l'ammoniac. Cette méthode est largement utilisée dans l'industrie alimentaire et agricole pour déterminer la teneur en protéines des aliments (**Kjeldahl, 1883**) selon les étapes suivantes :

- **La minéralisation**

Cette étape se fait à chaud, dans un matras (tube de digestion) on introduit de 2 ml de sirop de caroube, 7g de catalyseur  $K_2SO_4$  (Sulfate de Potassium) et 5 ml d'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) et 7 ml d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ).

- **La digestion**

Les tubes ont été placés sur le support pour les chauffer à  $\pm 400^\circ C$  pendant 30 minutes sous hôte pour absorber les vapeurs. Le chauffage permet la décomposition des composés organiques présents dans l'échantillon et la libération des éléments minéraux qui seront par la suite analysés pour déterminer leur concentration.

- **Distillation**

Cette étape s'entame par l'ajout de 50 ml d'eau distillée aux tubes puis par 25 ml d'hydroxyde de sodium NaOH à 35%. L'addition de NaOH va entraîner une libération de l'ammoniac sous forme de sel  $(NH_4)_2SO_4$ . L'ammoniac est ensuite entraîné par la vapeur d'eau. Le distillat est récupéré dans un bécher de 100 ml contenant 25 ml d'acide borique à 4%. Le volume ne doit pas dépassé 100 ml.

- **La titration**

Consiste à une titration acido-basique à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique dilué à 0,2 N et du complexe ammonium borate. Pour visualiser le point d'équivalence, quelques gouttes de rouge de méthylène sont ajoutées à la solution à titrer. La couleur de la solution passe alors du jaune à une teinte rose. La quantité d'acide utilisée pour atteindre le point d'équivalence permet de déterminer la teneur en azote dans l'échantillon.

- **Calcul**

Le taux de protéines totales dans le sirop de caroube est calculé en utilisant la relation suivante (Nielsen, 2017) :

$$\text{Protéines Totales PT (\%)} \text{ de sirop de caroube} = N \times 6,25 / 10$$

Où N est la quantité d'azote trouvée dans l'échantillon de sirop de caroube, exprimée en grammes. Cette quantité d'azote est obtenue en multipliant la quantité d'acide chlorhydrique dilué à 0,2 N utilisée lors de la titration par 2,803 (facteur de conversion mg NH<sub>3</sub>-N/mLHCl 0,2 N).

### 2.3.5 Densité ou masse volumique

La densité du sirop de la caroube a été déterminée en utilisant la formule empirique de la masse volumique suivante :

$$\text{Densité} = M / V$$

Où M représente la masse du sirop, exprimée en grammes, et V représente le volume du récipient, exprimé millilitre.

### 2.4 Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel "Statistix 8". Les analyses statistiques descriptives, telles que la taille d'échantillon (N), la moyenne, l'écart-type et les valeurs extrêmes, ont été calculées avec un niveau de signification de  $P < 0,05$ . Les corrélations de Pearson ont été utilisées pour étudier la relation entre les paramètres physico-chimiques et

biochimiques avec la durée et la température d'extraction. Les tests statistiques, tels que l'**ANOVA**, ont été effectués pour comparer les paramètres physico-chimiques et biochimiques des différents sirops.

# Résultats

---

## 1. Caractérisation des paramètres morphométriques

### 1.1 Longueur total des gousses de la caroube

La longueur totale de 148 gousses de caroube de formes différentes, varie de 3,50 à 25,80 cm. La moyenne globale pour ce trait est de 13,43 cm (**Tab.6**).

### 1.2 Longueur d'arc des gousses de la caroube

La moyenne de longueur d'arc de 148 gousses de caroube a été de 11,53 cm. La longueur d'arc des gousses de caroube varie entre 3,50 jusqu'à 24,40 cm (**Tab.6**).

### 1.3 Largeur des gousses de la caroube

La largeur de 148 gousses de caroube a été variable d'une gousse à un autre. de 1,10 cm à 2,90 cm. La moyenne globale pour ce trait a été de 2,07 cm (**Tab.6**).

### 1.4 Epaisseur des gousses de caroube

La moyenne d'épaisseur de 148 gousses de caroube a été de 0,77 cm. L'épaisseur des gousses de caroube varient entre 0,30 jusqu'à 1,40 cm (**Tab.6**).

### 1.5 La masse des gousses de caroube

La masse moyenne de 148 gousses de caroube a été de 11,73 g. La masse des gousses de caroube varient entre 1,20 jusqu'à 29,26 g (**Tab.6**).

**Tableau 6:** Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube.

Paramètres	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Longueur total (cm)	148	13,43	5,34	3,50	25,80
Longueur d'arc (cm)	148	11,53	3,83	3,50	24,40
Largeur (cm)	148	2,07	0,31	1,10	2,90
Epaisseur (cm)	148	0,77	0,17	0,30	1,40
Masse (g)	148	11,73	6,18	1,20	29,26

## 2. Caractérisation des paramètres physico-chimiques et biochimiques

### 2.1 La densité

La densité de 32 sirops de caroube a été en moyenne de 1,17g/ml. Elle varie d'un sirop à un autre de 1,08 à 1,25 g/ml (**Tab. 7**).

### 2.2 Conductivité électrique

La moyenne de conductivité électrique de 32 sirops de caroube a été de 535,03  $\mu\text{S}/\text{ml}$ . La conductivité électrique des sirops de caroube varie entre 372 jusqu'à 700 (**Tab.7**).

### 2.3 pH

Le pH de sirop de caroube a été légèrement acide (4,83 à 5,95). La moyenne de 32 sirops de caroube a été de 5,31 (**Tab. 7**).

### 2.4 Protéines totales

Le taux des protéines totales de 32 sirops de caroube varie entre 0,27 à 0,70%. La moyenne globale pour ce trait est de 0,52% (**Tab. 7**).

### 2.5 Sucres solubles

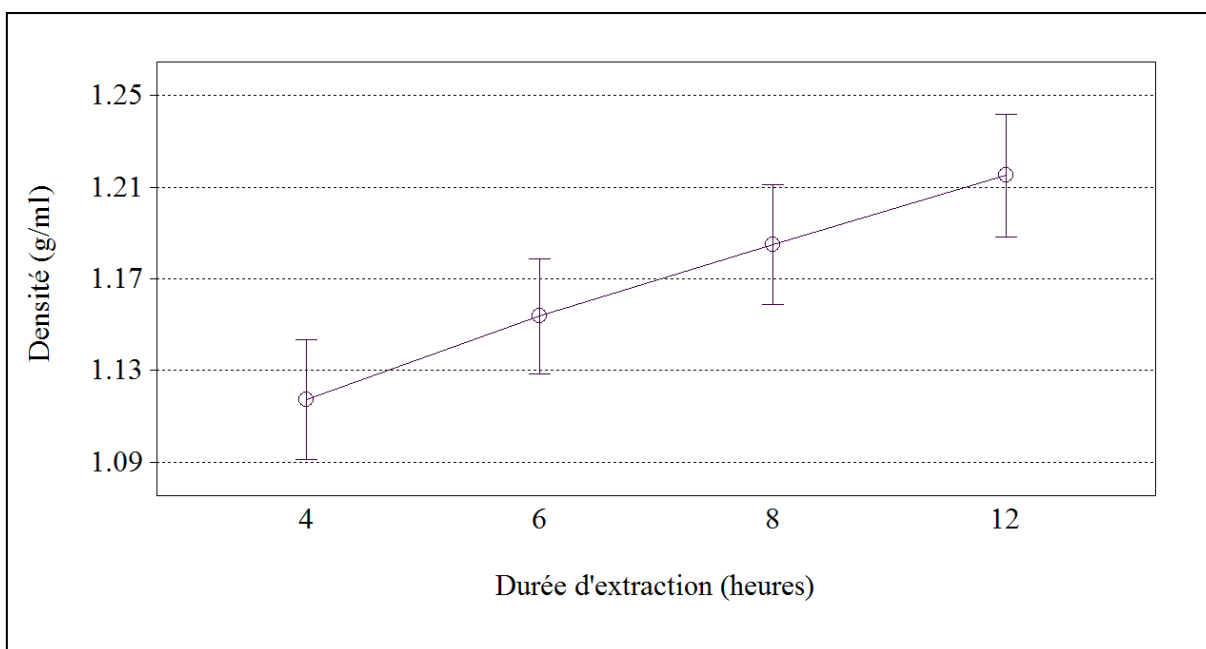
La moyenne du taux des sucres soluble de 32 sirops de caroube a été de 15,16%. Les sucres solubles des sirops de caroube varie entre 6 jusqu'à 26% (**Tab. 7**).

**Tableau 7:** Description statistique des paramètres physicochimiques de sirop des gousses.

Paramètres	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Densité (g/ml)	32	1,17	0,04	1,08	1,25
Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	32	535,03	68,26	372	700
pH	32	5,31	0,28	4,83	5,95
Sucres solubles (%)	32	15,16	4,07	6	26
Protéines totales (%)	20	0,52	0,11	0,27	0,70

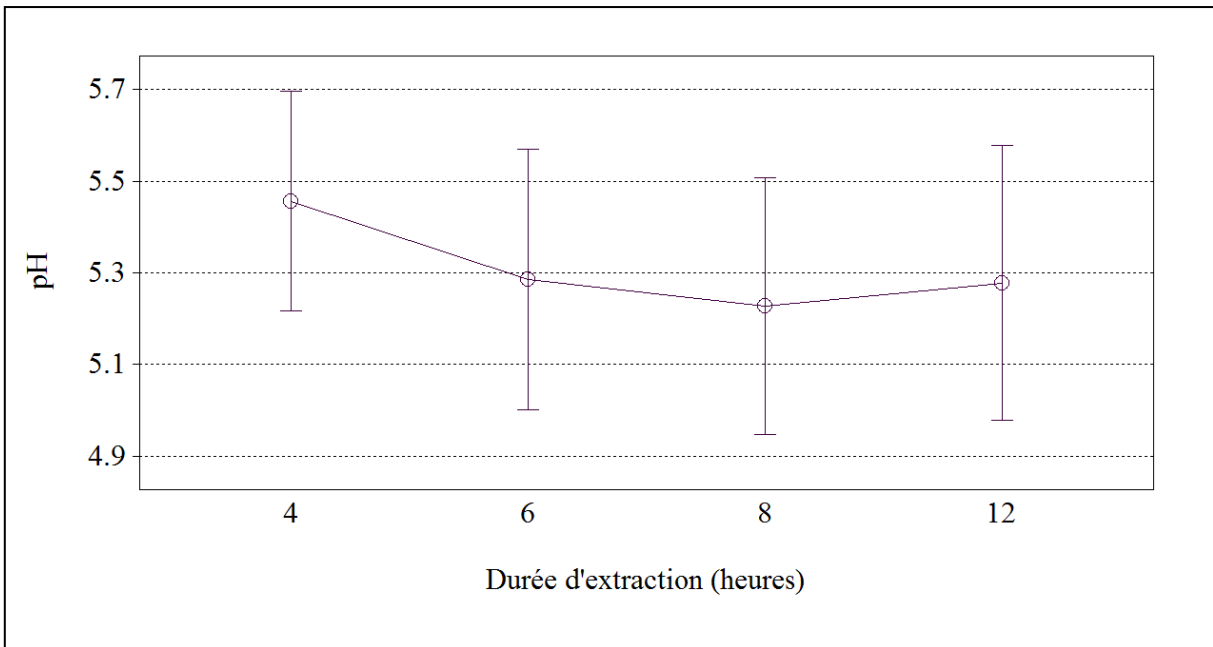
### 3. Variation des paramètres physicochimiques avec la durée d'extraction

La densité de sirop de caroube a été significativement variable avec la durée d'extraction ( $F^{3,28}=20,7$  ;  $P\leq 0,0001$ ). La densité du sirop augmente proportionnellement avec la durée d'extraction (**Fig. 7**).



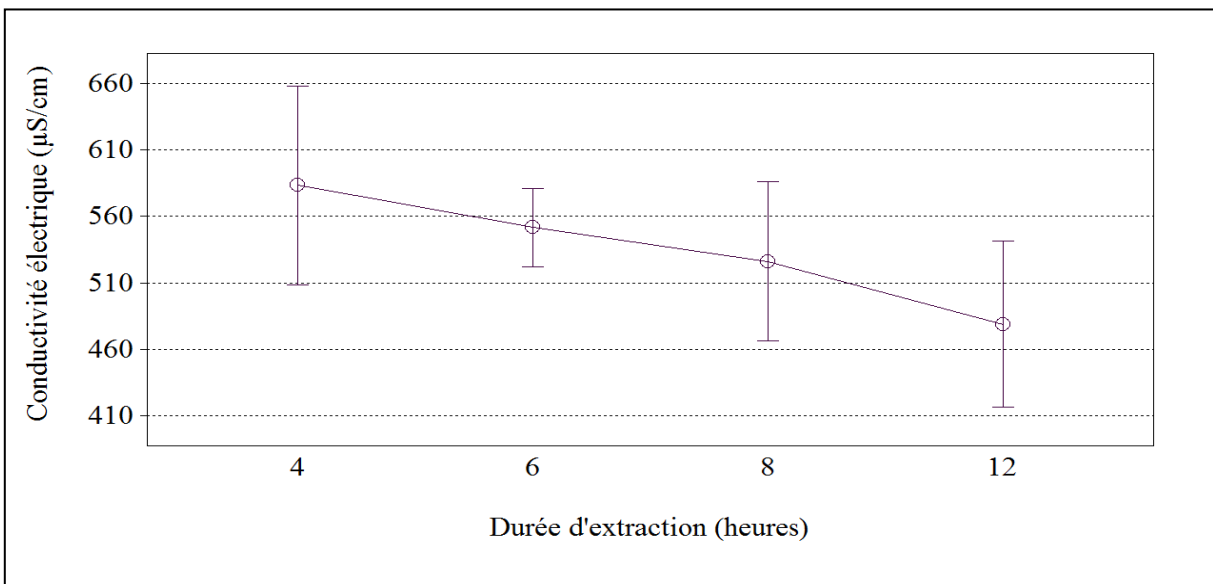
**Figure 7:** Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

Le pH de sirop de caroube n'a été pas significativement variable avec la durée d'extraction ( $F^{3, 28} = 1,04$  ;  $P= 0,3902$ ). Le pH de sirop extrait pendant 4 heures a été le plus élevé (**Fig. 8**).



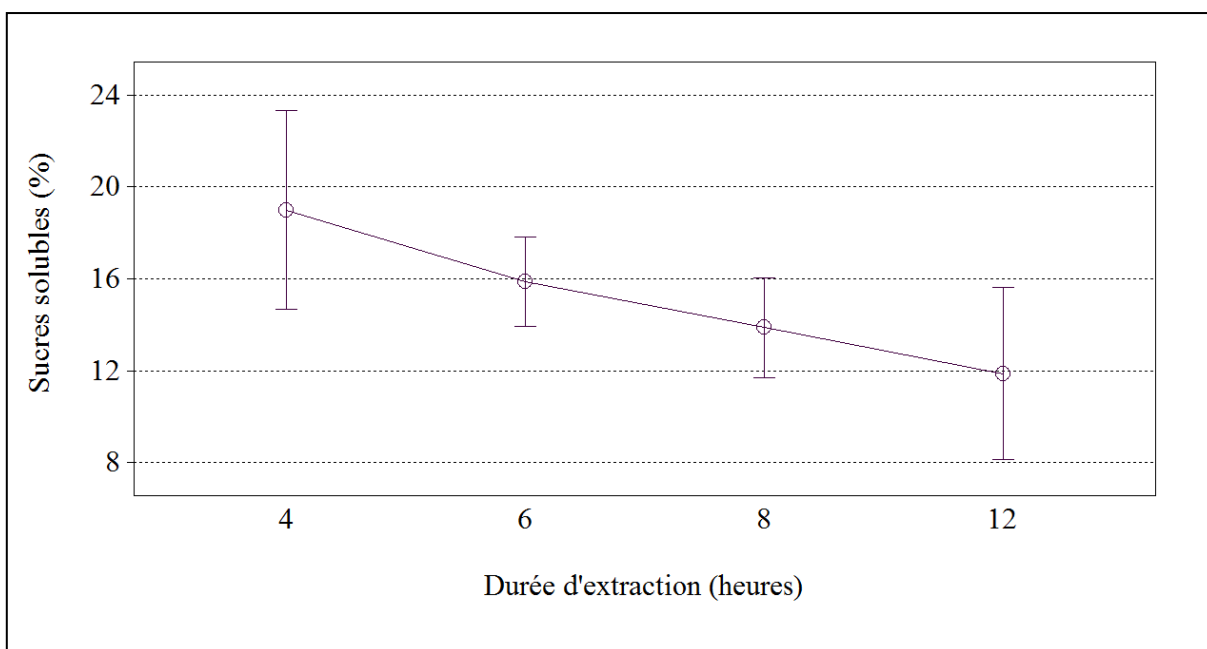
**Figure 8 :** Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

La conductivité électrique de sirop de caroube a été significativement variable avec la durée d'extraction ( $F^{3, 28} = 4,47$ ;  $P = 0,0109$ ). La conductivité électrique diminue proportionnellement avec la durée d'extraction. La conductivité électrique de sirop extrait pendant 4 heures a été la plus élevée par rapport aux autres sirops (**Fig. 9**).



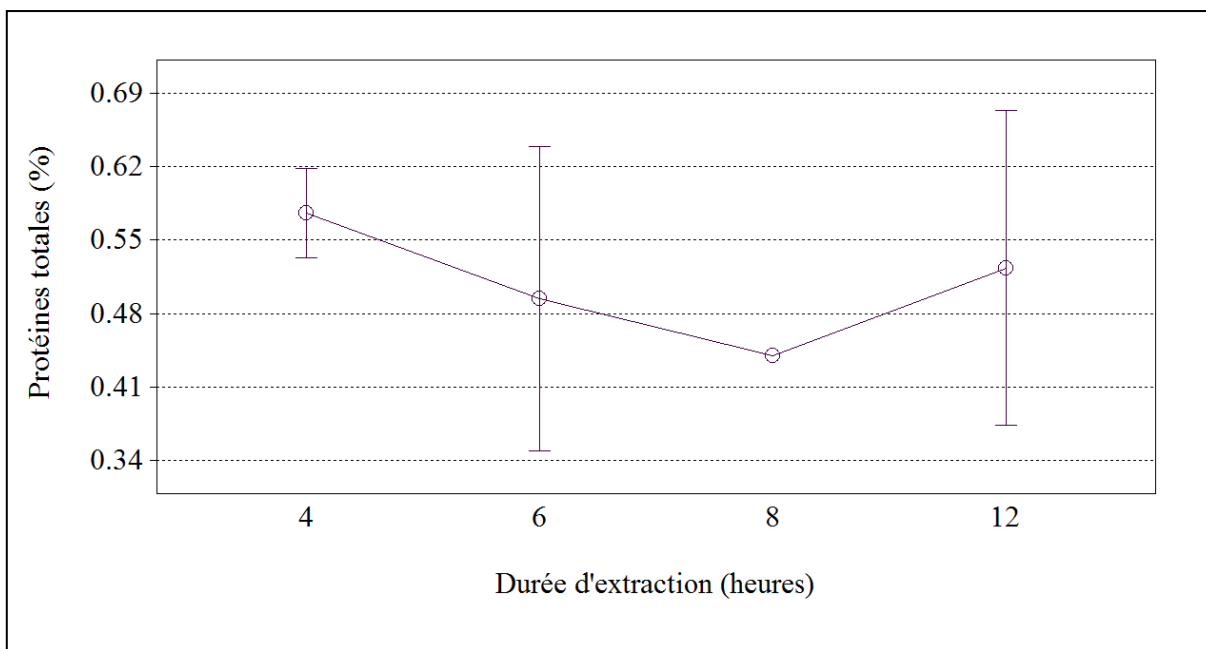
**Figure 9:** Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

Le taux des sucres solubles a été significativement variables avec la durée d'extraction ( $F_3, 28=7,12$  ;  $P=0,0011$ ). Le taux des sucres solubles diminue avec le temps. Le taux des sucres solubles extrait pendant 4 et 6 heures ont été plus élevée par rapport aux sirops extraits pendant 8 et 12 heures (**Fig. 10**).



**Figure 10:** Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

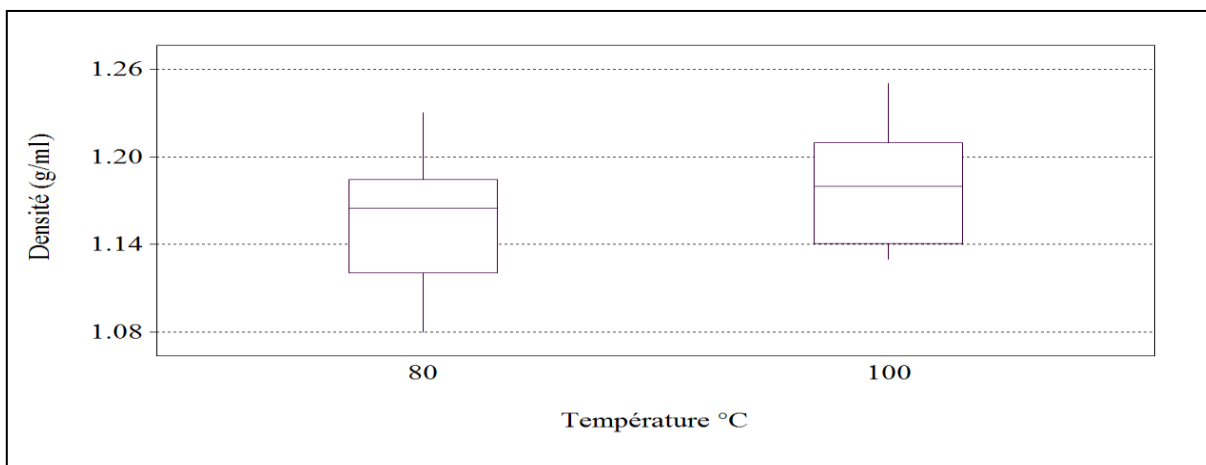
Le taux des protéines totales n'a pas été significativement variables avec la durée d'extraction ( $F^{3, 16}=1,05$  ;  $P=0,3978$ ). Le taux des protéines totales extrait pendant 4 heures a été plus élevé par rapport aux sirops extrait pendant 6 heures, 8 heures et 12 heures (**Fig. 11**).



**Figure 11:** Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

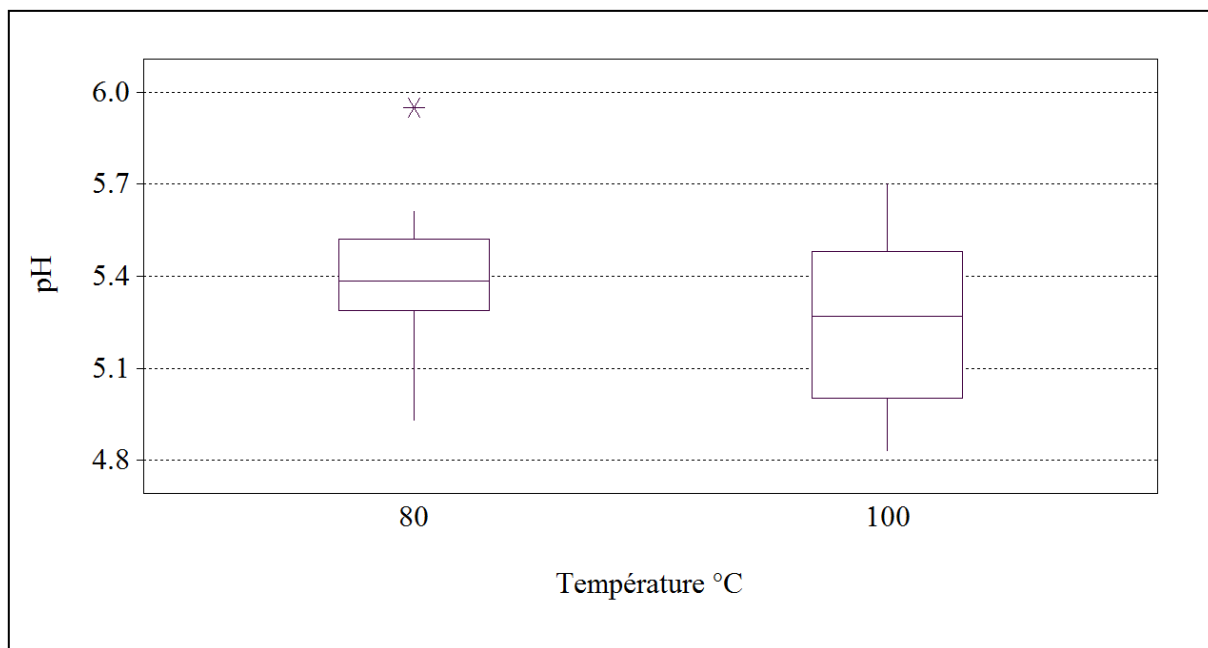
#### 4. Variation des paramètres physicochimiques avec la température d'extraction

La densité du sirop n'a pas été significativement variable avec la température d'extraction du sirop de caroube ( $F^{1,30}=3,48$  ;  $P=0,0721$ ). La densité du sirop extrait à 100°C a été plus dense que le sirop extrait à 80°C (**Fig. 12**),



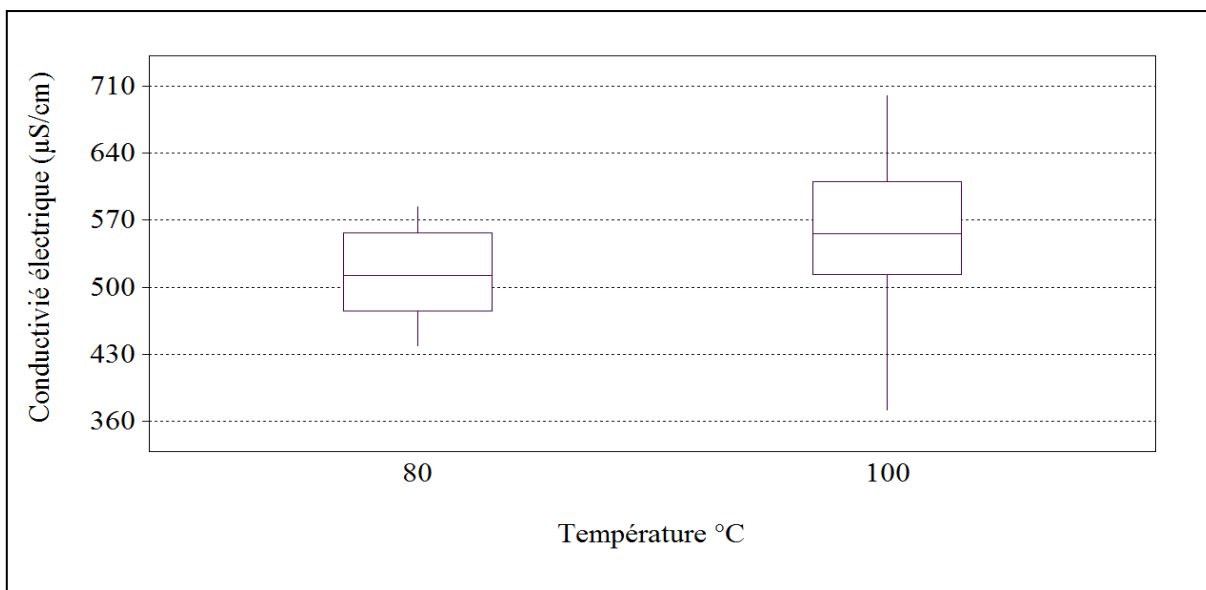
**Figure 12:** Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.

Le pH n'a pas été significativement variable avec la température d'extraction ( $F^{1,30}=2,39$  ;  $P=0,1330$ ). Le pH de sirop extrait à 80°C a été légèrement élevé que le sirop extrait à 100°C (**Fig. 13**).



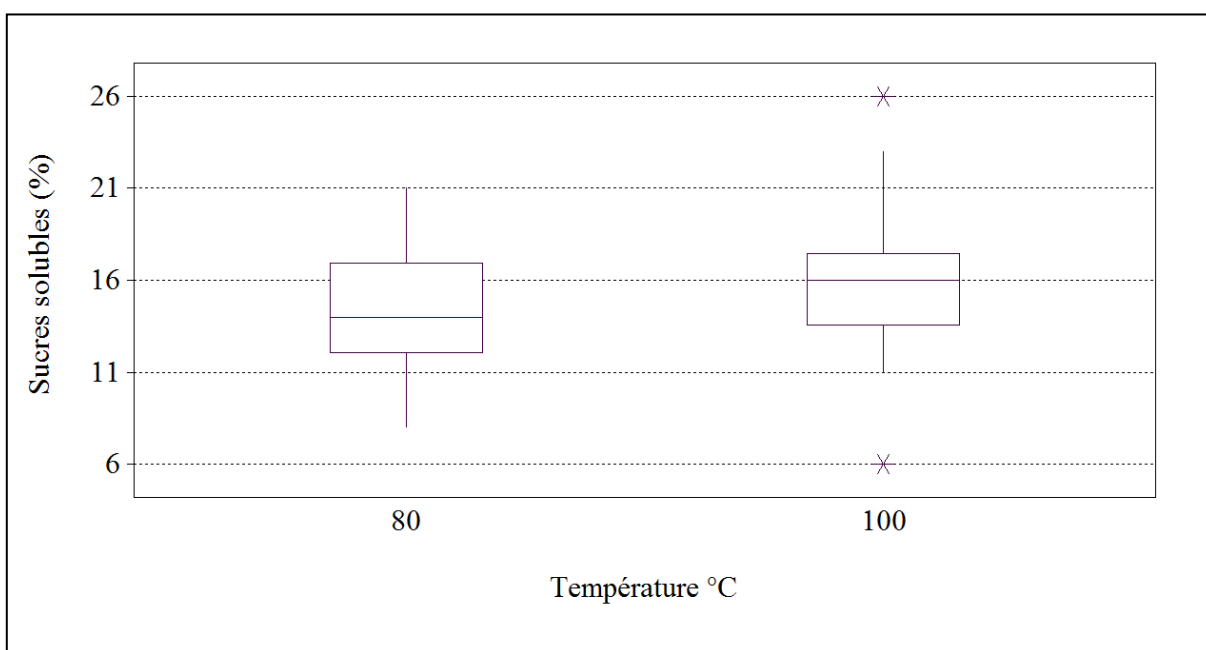
**Figure 13:** Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.

La conductivité électrique n'a pas été significativement variable avec la température d'extraction ( $F^{1,30}=3,37$  ;  $P=0,764$ ). La conductivité électrique de sirop extrait à 100°C a été plus élevée que dans le sirop extrait à 80°C (**Fig. 14**).



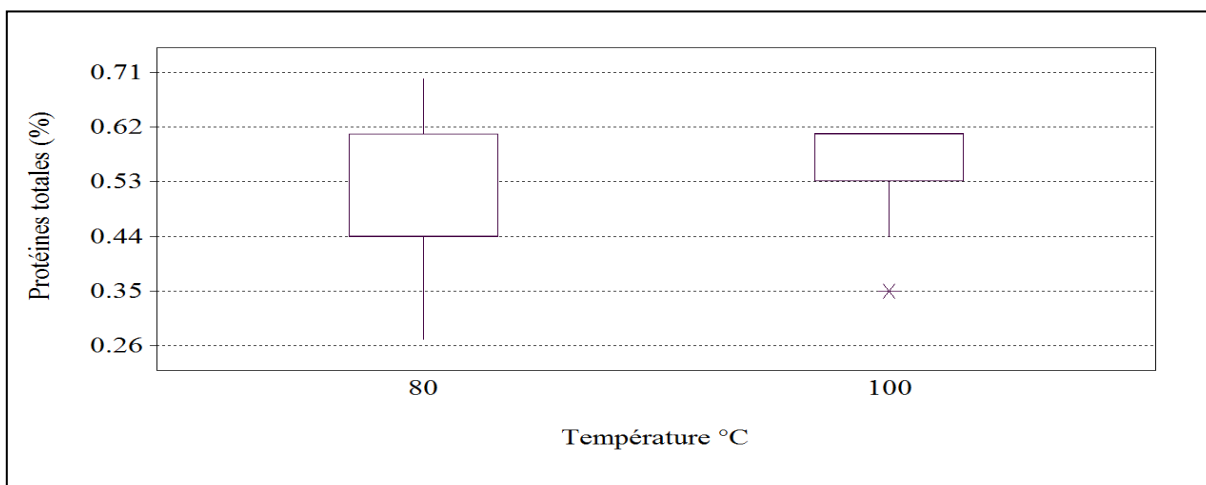
**Figure 14:** Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.

Le taux des sucres solubles du sirop n'a pas été significativement variable avec la température d'extraction ( $F^{1,30}=0,68$  ;  $P=0,4176$ ). Le taux des sucres solubles de sirop extrait à 80°C a été légèrement faible que le sirop extrait à 100°C (**Fig. 15**).



**Figure 15:** Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.

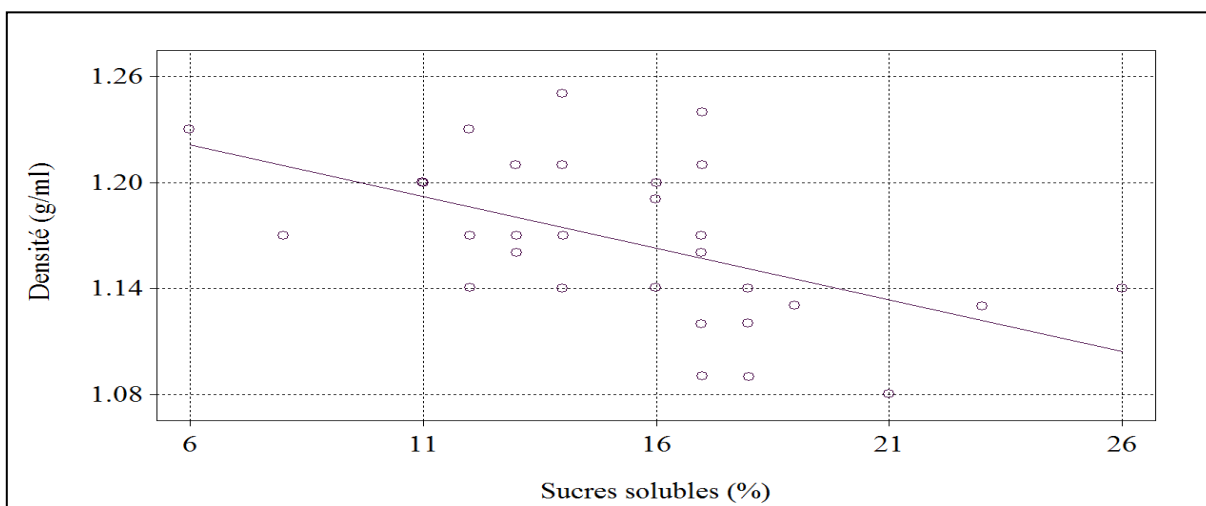
Le taux des protéines totales n'a pas été significativement variable avec la température d'extraction ( $F^{1, 18}=1,49$  ;  $P=0,2380$ ) (**Fig. 16**).



**Figure 16:** Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la température d'extraction.

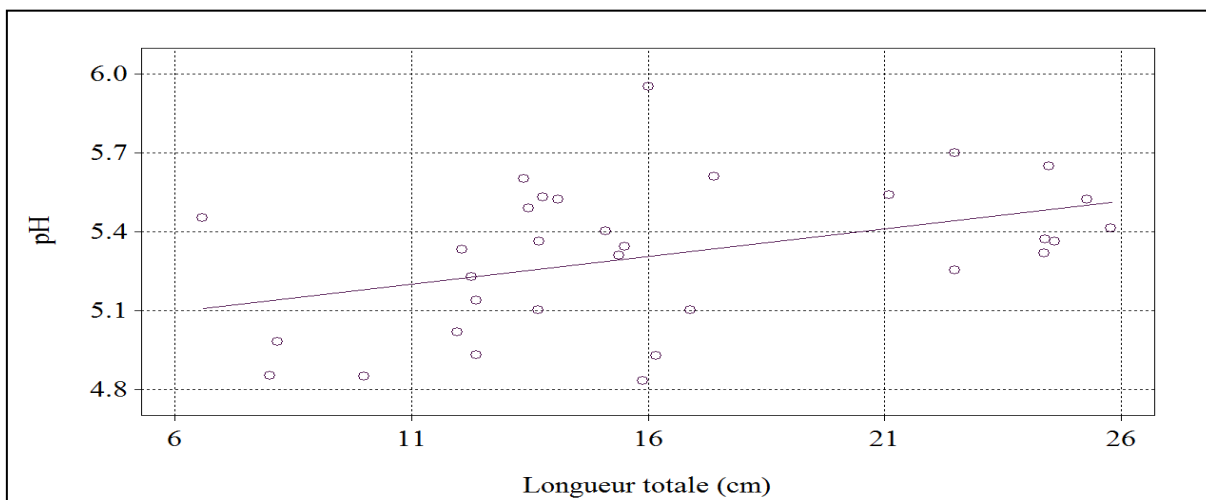
### 5. Corrélations entre les paramètres morphométriques et physicochimiques

Il existe une corrélation négative et significative entre la densité et le taux des sucres solubles du sirop de la caroube ( $r=-0,5525$  ;  $P=0,0115$ ). L'augmentation de de taux de sucres solubles de sirop conduit à la diminution de sa densité (**Fig. 17**).



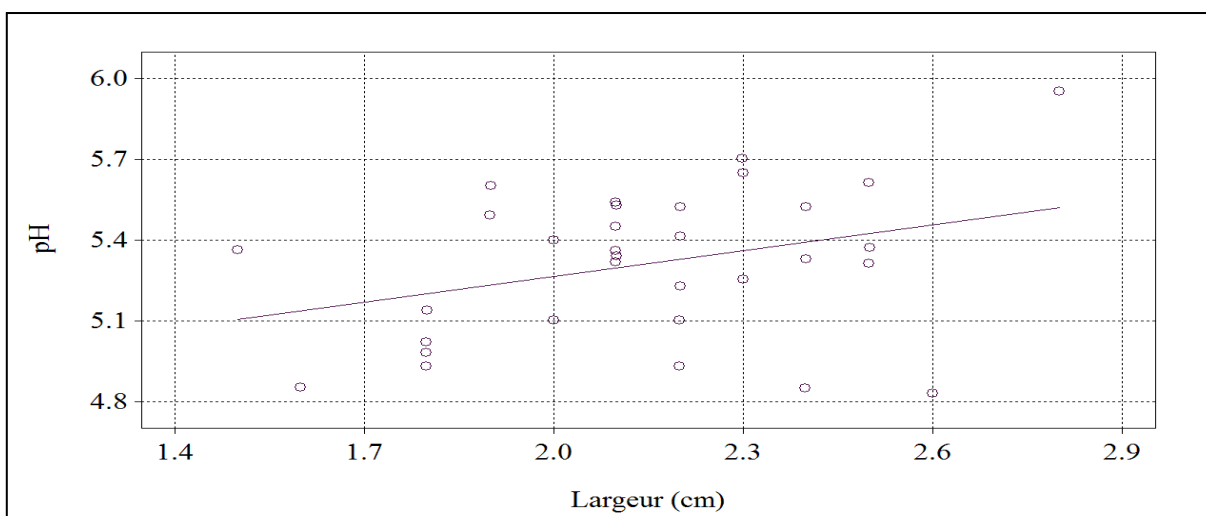
**Figure 17:** Relation entre la densité et le taux de sucres solubles de sirop de caroube.

Il existe une corrélation positive et significative entre le pH du sirop de la caroube et la longueur totale ( $r=0,4477$  ; $P=0,0478$ ). Le pH augmente avec l'augmentation de la longueur totale des gousses de caroube (**Fig.18**).



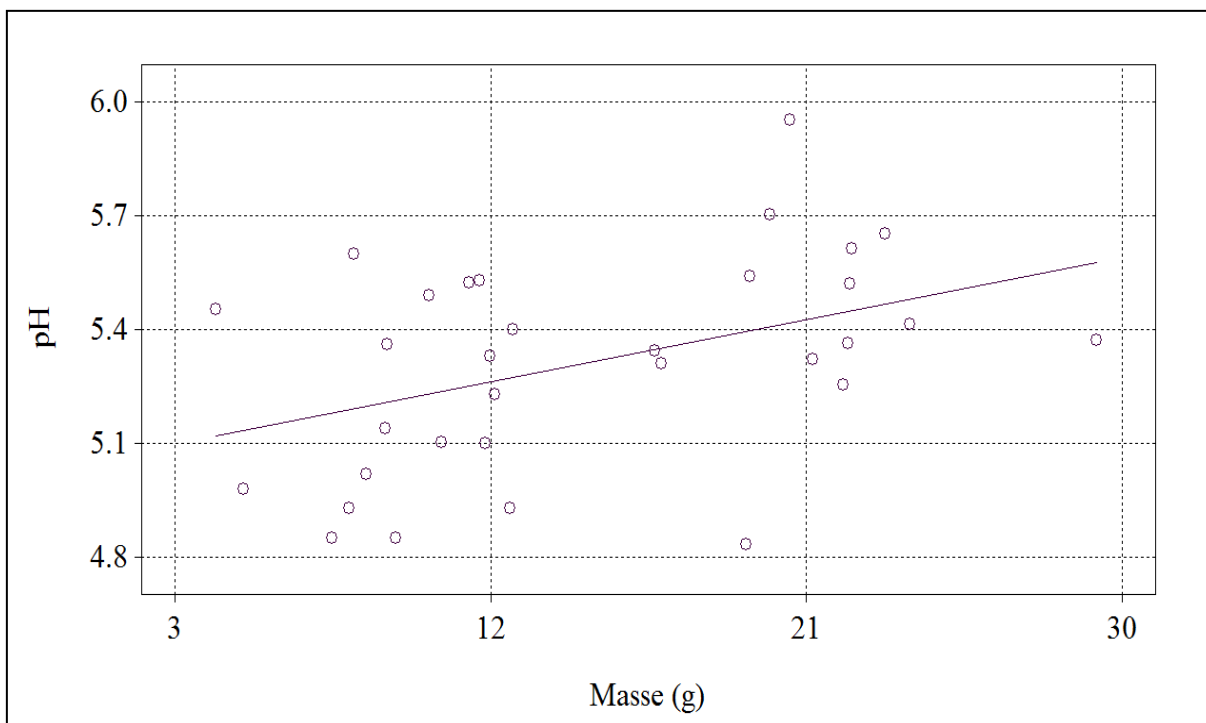
**Figure 18:** Relation entre le pH de sirop de caroube et la longueur totale des gousses de caroube.

Il existe une corrélation positive et significative entre le pH du sirop de la caroube et la largeur des gousses ( $r=0,4949$  ; $P=0,0265$ ). Le pH augmente avec l'augmentation de la largeur des gousses de caroube (**Fig. 19**).



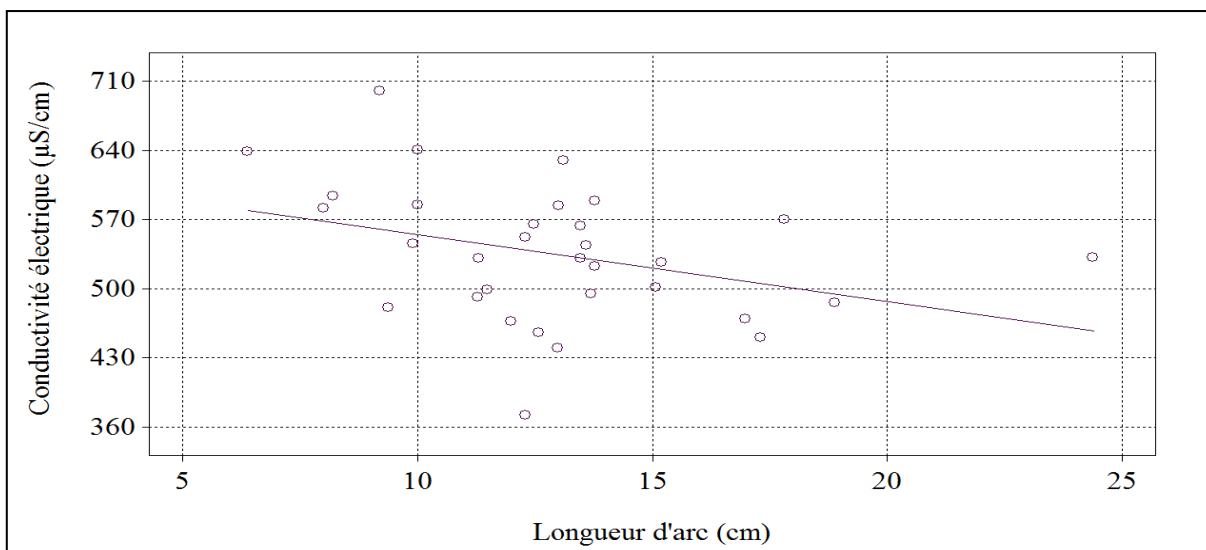
**Figure 19:** Relation entre le pH de sirop de caroube et la largeur des gousses de caroube.

Il existe une corrélation positive et significative entre le pH de sirop de la caroube et la masse des gousses de caroube ( $r=0,4816$  ; $P=0,0315$ ). Le pH augmente avec l'augmentation de la masse des gousses de la caroube (**Fig. 20**).



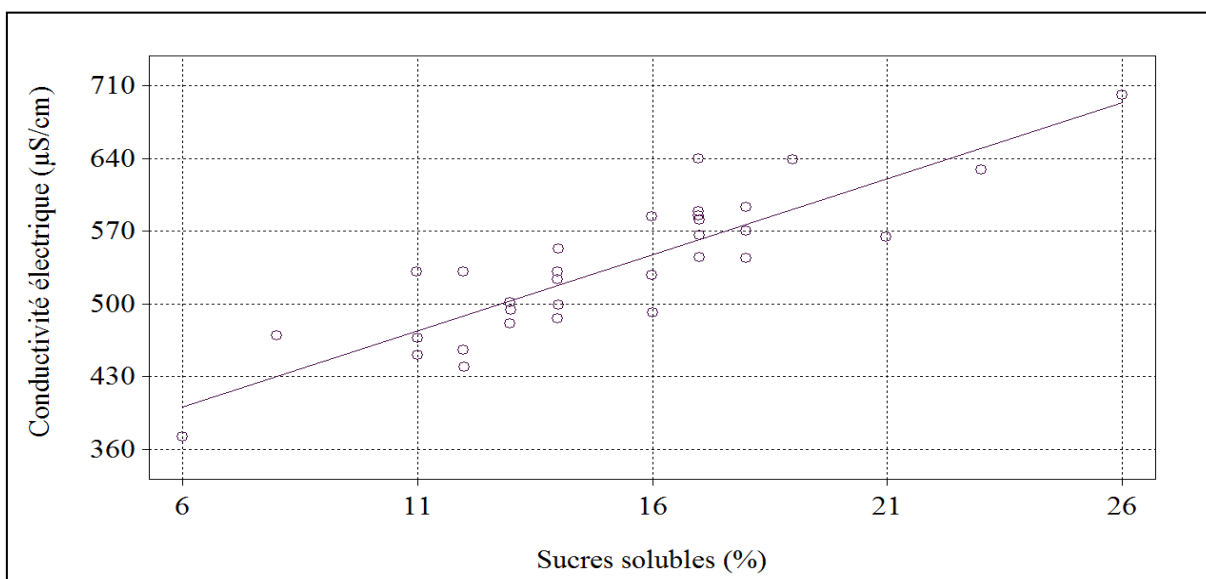
**Figure 20:** Relation entre le pH de sirop de caroube et la masse des gousses de caroube.

Il existe une corrélation négative et significative entre la conductivité électrique de sirop de caroube et longueur d'arc des gousses ( $r=-0,4692$  ; $P=0,0369$ ). La Conductivité électrique diminue avec l'augmentation de longueur d'arc des gousses de caroube (**Fig. 21**).



**Figure 21:** Relation entre la conductivité électrique de sirop de caroube et la longueur d'arc des gousses de caroube.

Il existe une corrélation positive et hautement significative entre la conductivité électrique et le taux de sucres solubles de sirop de caroube ( $r=0,9162$  ;  $ddl=31$  ;  $P \leq 0,0001$ ). La conductivité électrique augmente proportionnellement avec l'augmentation de taux des sucres solubles (**Fig. 22**).



**Figure 22:** Relation entre la conductivité électrique et le taux de sucres solubles de sirop de caroube.

## **Discussion**

---

Dans cette étude, nous avons étudié l'effet de la durée d'extraction et de la température sur la qualité du sirop de caroube en utilisant des paramètres biométriques, physicochimiques et biochimiques. Nous avons cherché à déterminer les conditions d'extraction les plus adaptées pour obtenir un sirop de caroube de haute qualité tout en minimisant les coûts de production.

La durée d'extraction a significativement influencé les paramètres physicochimiques de sirop de caroube. Par contre, la réduction de la température d'extraction de sirop de la caroube n'a pas influencé significativement ces paramètres.

Les résultats ont montré qu'il y avait une relation positive entre la densité du sirop de caroube et la durée d'extraction. Plus l'eau s'évapore plus le sirop devient épais. Selon **Manikandan (2020)** grâce à cette fonctionnalité le sirop de caroube peut être utilisé comme épaississant, stabilisant et gélifiant. Cependant, il est important de noter que d'autres facteurs peuvent également influencer la densité du sirop de caroube, tels que la variété de caroube utilisée, les conditions de stockage, les conditions spécifiques d'extraction, telles que la température et le pH (**Tounsi et al., 2020**).

Selon **Tounsi et al.,(2020)**, l'augmentation de la densité avec la durée d'extraction de sirop de caroube est attribuée à l'augmentation de la concentration des composés solubles dans la solution, tels que les sucres, protéines et les acides organiques, qui contribuent à augmenter la densité de la solution.

Les résultats indiquent que la durée d'extraction du sirop de caroube réduit le taux de sucres solubles. **Bozkurt et al. 1999** et **Benjakul et al. 2005** trouvent que la concentration du jus en tant que traitement thermique favorise les réactions de brunissement non enzymatique qui se produisent dans le sirop pendant le traitement et le stockage. Elles comprennent principalement la caramélisation et la réaction de Maillard. La caramélisation se produit par la décomposition des sucres, tandis que la réaction de Maillard se produit entre les acides aminés et les sucres réducteurs à des températures élevées pendant la concentration du jus.

D'après **Akin et al. (2011)** et **Hakimeh et al. (2014)**, la durée d'extraction peut affecter la teneur en sucre solubles et la conductivité électrique du sirop de caroube. Effectivement, nous avons trouvé la même relation entre la durée d'extraction d'une part avec le taux des sucres solubles et la conductivité électrique d'autre part.

Nos résultats indiquent que la conductivité électrique des sirops extraits baisse avec la durée d'extraction cela signifie que la conductivité électrique est en fonction du taux des sucres solubles mais pas uniquement en fonction des sels minéraux supposé en augmentation avec la durée d'extraction. Par contre **Papaefstathiou et al. (2018)** trouve que le sirop de caroube contient une teneur élevée en potassium. De ce fait, il pourrait être utilisé comme ingrédient naturel pour la création de nouveaux additifs alimentaires à base de haute teneur en minéraux (**Özcan et al., 2007 ; Papaefstathiou et al., 2018**). D'après **Özcan et al. (2007)**, la teneur en potassium, phosphore et calcium était plus élevée dans le sirop de caroube que dans le fruit et la farine de caroube.

Le pH de différents sirops a été variable avec les différentes durées d'extraction qui est due au fait que plus le processus d'extraction été long, plus le pH de sirop devient acide.

Les résultats démontrent une concordance de pH faible avec les résultats de **Djeridane (2022)**. Par ailleurs le pH de caroube de **Tounsi et al. (2020)** et de **Boumegouas (2020)** a été plus acide que notre sirop de caroube (**Tab. 8**). Généralement, Le pH du sirop de caroube est lié à la solubilité d'acides organiques. Selon **Toker et al. (2013)** et **Tounsi et al. (2020)**, le sirop présente un pH acide qui peut être expliqué par deux processus possibles. D'une part, la dégradation des sucres peut conduire à la formation d'acides. D'autre part, l'hydroxyméthylfurfural (HMF) présent dans le sirop peut subir une hydrolyse pour produire de l'acide lévulinique et de l'acide formique, contribuant ainsi à l'acidité observée dans le sirop.

Les résultats indiquent aussi un faible taux de protéines (**Tab. 8**), Selon **Fidan et al. (2016)** et **Tounsi et al. (2020)**, la faible concentration de protéines dans le sirop de caroube peut être attribuée à la réaction de Maillard qui se produit lors du traitement thermique et à la teneur en protéines relativement faible du cultivar de caroube utilisé. De plus, **El Batal et al. (2011)** ont trouvé que la diversité varie en fonction de l'origine géographique des populations. **Özcan et al. (2007)** ont constaté que les protéines dans le sirop de caroube étaient inférieures à celles présentes dans les fruits et la farine de caroube.

Il a été constaté que la température d'extraction a légèrement augmenté la densité, la conductivité électrique, le taux de sucres solubles, le taux de protéines et le pH. Mais cette augmentation n'a pas été significative. Par contre **Mimouni et Siboukeur (2011)** constate que

la quantité de glucose est influencée par la température d'extraction du sirop de datte, et il affirme que la teneur en glucose des sirops à 50°C est élevée par rapport à celles des sirops obtenus à 80 et 90°C. D'après **Aliouat et al. (2021)** une température élevée favorise l'accélération de l'évaporation de l'eau. Et Selon leurs constatations, la température de traitement thermique à une influence sur l'activité antioxydante. À des températures inférieures à 90°C, cette activité augmente jusqu'à 90%. Cependant, au-delà de cette température elle diminue. Ils expliquent cette augmentation par l'effet du traitement thermique sur la libération des acides phénoliques présents dans les dattes.

**Tableau 8:** Composition physico-chimique du sirop de caroube.

<b>Composition</b>	<b>Présent travail</b>	<b>Boumegouas 2020</b>	<b>Djeridane 2022</b>	<b>Tounsi et al. 2020</b>	<b>Özcan et al. 2007</b>
<b>Sucres solubles (%)</b>	<b>15,16</b>	<b>35,18</b>	<b>55,2</b>	<b>51,50</b>	<b>63,88</b>
<b>Conductivité électrique (mS/cm)</b>	<b>0,54</b>	<b>13,54</b>	<b>6,59</b>	-	-
<b>Protéines totales (%)</b>	<b>0,52</b>	-	<b>1</b>	<b>0,28</b>	<b>1,40</b>
<b>Densité</b>	<b>1,17</b>	<b>1,27</b>	<b>1,13</b>	-	-
<b>pH</b>	<b>5,31</b>	<b>4,62</b>	<b>5,25</b>	<b>4,33</b>	-

## **Conclusion**

---

Les résultats obtenus suggèrent que la durée d'extraction du sirop de la caroube a un impact significatif sur plusieurs propriétés physico-chimiques et biochimiques. Par contre la température d'extraction dans notre étude n'a pas influencé significativement la qualité de sirop.

Les résultats obtenus montrent que le sirop de caroube extrait pendant une durée de 4 heures est le plus sucré avec un taux de sucres solubles de 19 % et affiche le taux de protéines totales le plus élevé avec 0,60 %.

Le sirop extrait pendant 12 heures affiche la densité la plus élevée de 1,22 g/ml. Le pH mesuré était de 5,28, la conductivité de 480 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), le taux de sucres solubles totaux était de 12% et les protéines totales de 0,52 %.

Il a été constaté que la température d'extraction a légèrement augmenté la densité, la conductivité électrique, le taux de sucres solubles, le taux de protéines et le pH. Mais cette augmentation n'a pas été significative et ne justifier pas l'investissement dans l'augmentation de l'énergie entre]80-100[°C, qui présente une charge supplémentaire non négligeable dans l'industrie de sirop de la caroube.

Les sirops extraits pendant 4 à 6 heures présentent le taux le plus élevé de sucres solubles. Ce taux diminue proportionnellement avec l'augmentation de la durée d'extraction de la caroube. En raison de leur teneur élevée en sucres solubles, les sirops extraits pendant 4 à 6 heures peuvent être recommandés comme édulcorants dans l'industrie alimentaire.

Le sirop de caroube présente une densité croissante avec une durée d'extraction plus longue. En raison de sa densité élevée, le sirop de caroube extrait pendant 12 heures peut être recommandé comme agent épaississant.

Le sirop de caroube issu d'une durée d'extraction de 4 heures est riche en protéines, il peut être recommandé comme ingrédient dans divers produits alimentaires tels que les boissons et les produits de confiserie. Dans le secteur de la santé, il peut être utilisé dans des formulations médicales pour répondre aux régimes alimentaires spécifiques des patients.

Les résultats indiquent que l'on peut obtenir un sirop de caroube de bonne qualité sans augmenter la température d'extraction. Cela présente un avantage économique et énergétique significatif. En évitant d'augmenter la température, les coûts de production liés à la

consommation d'énergie sont réduits. De plus, cela permet de préserver les propriétés bénéfiques du sirop de caroube, garantissant ainsi une qualité optimale du produit final. En conséquence, l'utilisation d'une méthode d'extraction à température basse peut être une option attrayante sur les plans économique et environnemental.

Cette étude vise à évaluer à la fois la valeur nutritionnelle des sirops de caroube et l'effet de la durée et de la température d'extraction sur leur qualité. En outre, d'autres techniques telles que l'extraction sous vide pourraient également être utilisées. Il serait aussi intéressant d'étudier les minéraux du sirop de la caroube.

# **Références bibliographiques**

---

- **Aafi A., (1996).** « Note technique sur la caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). Centre Nationale de la recherche Forestière. Rabat (Maroc), 10p.
- **Ait Chitt, M., Belmir, H., & Lazrak, A. (2007).** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA MAPM/DERD, 153, 1-4.
- **Akbulut M., Çoklar H., Özen G. (2008).** Rheological characteristics of Juniperus drupacea fruit juice (pekmez) concentrated by boiling. Food Science and Technology International, 14(4), 321-328.
- **Akin, M. B., Akin, M. S., & Kirmaci, Z. (2011).** Changes in rheological properties, color and chemical composition of carob syrup during storage. Food Chemistry, 128(1), 197- 202.
- **Albanell, E. (1990).** Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. Universidad autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 142p
- **Albanell, et al, c. (1991).** Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles. Dans Caja, & Plaixats, Options Méditerranéennes (pp. 135-136).
- **Aliouat K., Benmouhend S., Bourema Y. (2021).** Optimisation et caractérisation physicochimique et microbiologique de la mélasse de dattes sèches. 45-46.
- **Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S. E. M. A., Correia, P. J., Alaiz, M., Sanz, C., ... & Strnad, M. (2007).** Determination of chemical composition of Anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. Journal of Food Quality, 30(6), 1040-1055.
- **Battle I., (1997).** Current situation and possibilities of development of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in the Mediterranean region. Unpublished FAO Report. Rome. Italy.
- **Battle I., et Tous J., (1997).** Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome. Italy, 1-79.
- **Bechri H., (2017).** Effet de l'incorporation de deux extraits (extrait poly phénolique et jus frais) de la caroube verte sur la coagulation du lait (cas du yaourt). Mémoire Master. Constantine, 65 P
- **Benjakul S., Visessanguan W., Phongkanpai V., Tanaka M. (2005).** Antioxidative activity of caramelisation products and their preventive effect on lipid oxidation in fish mince. Food Chem. 90, 231–239
- **Benmahioul B., Kaïd-Harche M. et Daguin F., (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. Forêt méditerranéenne, 32 (1): 51-58.

- **Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carobbean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food chemistry*, 100(4), 1453-1455.
- **Bonnier G., (1990).** La grande flore en couleurs (tome 3), pp.309-310.
- **Boublenza I., (2012).** Contribution à l'étude de multiplication du caroubier: *Ceratonia siliqua*. Mémoire de fin d'étude, Université Abou Bekerbelkaid, Tlemcen.
- **Boumegouas B., (2020).** Influence de la taille et de la couleur des gousses sur quelques paramètres biochimiques du sirop de caroube. Mémoire. Laghouat. 28p.
- **Bozkurt H., Göğüs F., Eren S. (1999).** Non-enzymatic browning reactions in boiled grape juice and its models during storage. *Food Chem.* 64, 89–93.
- **Calixto, e alixto, et Canellas. (1982).** Components of nutritional interest in carob pods *Ceratonia siliqua*. *Journal of the Science of Food Agriculture* (N°33), pp. 1319-1323.
- **Chekerker I., Kerkour S. (2019).** Le sucre en Algérie. Mémoire. 7-9p.
- **Clodoveo, M. L., Crupi, P., Muraglia, M., & Corbo, F. (2022).** Processing of CarobKernels to Syrup by Ultrasound-Assisted Extraction. *Processes*, 10(5), 983.
- **Dahim I., Nait L.A., (2018).** Contribution physico chimique de la gousse de caroube. Mémoire. Master Tizi-Ouzou. 24p.
- **Diaz S., (1997).** Syrup of natural carob sugars and a process for its production. United States Patent. 10P.
- **Djeridane M., (2022).** Etude de l'effet de la durée de préparation du sirop de la caroube sur les paramètres biochimiques et physicochimiques. Mémoire. Laghouat. 22p.
- **El Batal, H., Hasib, A., Ouatmane, A., Dehbi, F., Jaouad, A., & Boulli, A. (2011).** Sugar composition and yield of syrup production from the pulp of Moroccan carob pods (*Ceratonia siliqua* L.). *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S955-S959. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.10.012>
- **Fidan, H., Petkova, N., Sapoundzhieva, T., & Abanoz, E. I. (2016).** Carob hydrate content in Bulgarian and Turkish carob pods and their products. In CBU international conference proceedings (Vol. 4, pp. 796-802).
- **Gharnit, N., Mtili, N., Ennabili, A. T., & Ennabili, A. (2001).** Social characterization and exploitation of carobtree (*Ceratonia siliqua* L.) from Mokrisset and Bab Taza (NW of Morocco). *Scientific Letters*, 3(2).
- **Haddarah A., (2013).** L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la caroube Libanaise. Mémoire: L'Université Libanaise (Ecole Doctorale des Sciences et Technologie) Et l'Université de Lorraine (France). 132 p.
- **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).

- **Hakimeh, A. B., Mousavi, M. E., & Zare, D. (2014).** Effect of extraction time on rheological and physicochemical properties of carob syrup. *Food and Bioproducts Processing*, 92(4), 359- 364. doi: 10.1016/j.fbp.2014.06.004
- **Hariri A., Ouis N., Sahnouni F et Bouhadi D., (2009).** Mise en oeuvre de la fermentation de certains ferments lactiques dans des milieux a base des extraits de caroube. *Rev. Microbiol. Sant. et Environ.* 37-55.
- **Hillcoat, D., G. Lewis and B. Verdcourt. (1980).** A new species of *Ceratonia* (*Leguminosae- Caesalpinioideae*) from Arabia and the Somali Republic. *Kew Bull.* 35(2):261-271.
- **Ilahi, I., et Y., Vardar. (1976).** Studies in Turkish carob (*Ceratonia siliqua* L.). IV AcidicAuxinlike and inhibitory substances in fruit morphogenesis. *Planta* 129:105-108.
- **Jones DK (1953).** Carob culture in Cyprus. FAO 53/2/1225. FOA. Rome.
- **Kabouche N., (2019).** Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phenotypiques et physico-chimiques des siliques de la caroube. Mémoire. Laghouat. 31p.
- **Karaman S., Kayacier A. (2011).** Effect of temperature on rheological characteristics of molasses: Modeling of apparent viscosity using Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System (ANFIS). *Food Science and Technology*, 44:8.
- **Karhan, M., Turhan, I., Tetik, N., & Aksu, M. (2005).** Nutritive value of carob (*Ceratonia siliqua* L.) pekmez; a traditional product of Turkey. *Innov Trad Foods*, 2, 899-901.
- **Kjeldahl, J. (1883).** Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern [New method for the determination of nitrogen in organic substances]. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22, 366-382.
- **Lavalée P., (1962).** Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie ». *Alger*, 47p.
- **Loeb H, Vandenplas Y, Wursch P. Guesry P (1989).** Tannin-rich carob pod for the treatment of acute-onset diarrhea. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 8:480-485.
- **Mahdad M. Y., (2013).** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie, Mémoire Master, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen.
- **Makris, D.P., Kefalas, P., (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology* 42, 105–108.
- **Manikandan, N. A., Pakshirajan, K., & Pugazhenti, G. (2020).** A closed-loop biorefinery approach for polyhydroxybutyrate (PHB) production using sugars from carob pods as the sole raw material and down stream processing using the co-product lignin. *Bioresour Technol*, 307, 123247.
- **Marakis, S. (1996).** Carob Bean in Food and Feed: Current Status and Future Potentials-A Critical Appraisal. *Journal of Food Science and Technology*, 33, 365-383.

- **Maskan M. (2006).** Production of pomegranate (*Punicagranatum* L.) juice concentrate by various heating methods: colourde gradation and kinetic. *J. Food Eng.* 72, 218-224.
- **Melgarejo P. & Salazar D.M.(2003).** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- **Mimouni Y., Siboukeur, O. (2011).** Etude des propriétés nutritives et diététiques des sirops de dattes extraits par diffusion, en comparaison avec des sirops à haute teneur en fructose (isoglucoses), issus de l'industrie de l'amidon. *Annales des sciences et Technologie.* 3, 6.
- **Nielsen, S. S. (2017).** Food analysis laboratorymanual. Springer.
- **Orphanos, et Papaconstantinou. (1969).** The carob varieties of Cyprus Tech, Bull 5. Cyprus Agricultural Research Institute, Cyprus Agricultural Research Institue.
- **Ortiz, et al. e. (1996).** Production de nectaryfrecuencia de polinizadores en *Ceratinia siliqua* L. (*Caesalpinaceae*), Dans Arista, Telavera, J. Anales, & Bot (Eds.). Madrid.
- **Özcan, M., Arslan, D., &Gökçalik, H. (2007).** Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. *International journal of food sciences and nutrition*, 58(8), 652-658.
- **Papaefstathiou, E., Agapiou, A., Giannopoulos, S., &Kokkinofta, R. (2018).** Nutritional characterization of carobs and traditional carob products. *Food science & nutrition*, 6(8), 2151-2161.
- **Quezel P. et Santa S., (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et des zones désertiques méridionales. Paris, CNRS, Tome I et II, 1170p.
- **Rebour H., (1968).** Fruits Méditerranéen. La maison rustique Paris, 330p.
- **Rejeb, et al, e. (1991).** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.)en Tunisie. Dans Laffray, &Louguet. Paris, France: Group d'Etude de l'Arbre.
- **Rejeb. (1995).** Le caroubier en Tunisie. (J. L. Eurotext, Éd.) Situations et Perspectives d'Amélioration-Quel Avenir pour l'Amélioration des Plantes?, pp. 79-85.
- **Retana, J., J. Ramoneda and F. García del Pino. (1990).**Importancia de los insectos en la polinización del algarrobo, *Bol. San, Veg. Plagas* 16:143-150.
- **Retana.J.J. Ramoneda, F. García del Pino and J. Bosch. (1994).**Flowering phenology of carob, *Ceratonia siliqua* L. (*Caesalpinaceae*). *J. Hort. Sci.* 69(1):97-103.
- **Rishani, N. and R.P. Rice. 1988.** Use of carob as a potting medium component. *HortScience* 23(2):334-336.
- **Rivière CH. Leco H (1900).**Manuel pratique de l'agriculteur algérien. (Ed), Augustin CHALLAMEL, Paris, France.
- **Sbay H. E. et M. Abourouh., (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, 1-9.

- **Sengül, M., FatihErtugay, M., Sengül, M., &Yüksel, Y. (2007).** Rheological characteristics of carobpekmez. *International Journal of Food Properties*, 10(1), 40- 46.
- **Toker O.S., Doganc M., Ersöz N.B., Yilmaz M.T. (2013).** Optimization of the content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) formed in some molasses types: HPLC-DAD analysis to determine effect of different storage time and temperature levels. *Ind. CropsProd.* 50, 137-144.
- **Tounsi L.,Kchaou H., Chaker F., Bredai S., Kechaoul N. (2019).** Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste .*Association of Food Scientists&Technologists*, 56(3):1502-1509.
- **Tounsi, L., Ghazala, I., &Kechaou, N. (2020).** Physicochemical and phytochemical properties of Tunisian carob molasses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 20-30.
- **Tounsi, L., Karra, S., Kechaou, H., Kechaou, N. (2017).** Processing, physicochemical and functional properties of carob molasses and powders. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1440-1448.
- **Vardar, & al, e. (1972).** Preliminary results on the chemical composition of the Turkish carob beans. Dans *Securenand, & Ahmed, Qual Plant Mater* (Vol. XXI, pp. 318-327).
- **Yoğurtçu H. etKamışlı F. (2006).** Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey. *Journal of Food Engineering.* 77, 1064-1068.
- **Yousif, A. K., Alghzawi, H. M. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food chemistry*, 69(3), 283-287.
- **Youcef A., Ouldsadallah, N., Fazia, R. (2022).** Etude physico chimique de deux variétés de gousses de caroube locales (*Ceratonia siliqua* L.) et essai de fabrication de chocolat.
- **Zitouni A., (2010).** Monographie et perspectives d'avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Algérie. Mémoire. Agrn., INA, El-Harrach, 201 p.

**Titre: Etude de l'effet de la durée et la température d'extraction du sirop de la caroube sur les paramètres biochimiques et physicochimiques.**

**Nom :** Nouioua

**Prénom :** Hadil fatma zohra

**Encadreur :** Adamou Ala-Eddine

**Résumé :** Les gousses de caroube présentent un intérêt considérable sur le plan alimentaire. Ces derniers sont utilisés dans la préparation de sirop de la caroube et offrent de nombreux avantages. Notre étude visait à examiner l'effet de différentes durées d'extraction (4, 6, 8 et 12 heures) et les températures d'extraction ]80-100 [°C sur la qualité du sirop de caroube. en relation avec des paramètres biométriques et des paramètres physicochimiques. Nos résultats ont montré que la température dans notre étude n'a eu qu'une légère influence sur la qualité physicochimique et biochimique du sirop. Par conséquent, les variations observées dans ces paramètres peuvent principalement être attribuées à la durée d'extraction plutôt qu'à la température. L'analyse de la composition biochimique révèle une teneur en sucre de 15,16 %, des protéines totales de 0,52 %. Le pH indique une faible acidité (5,31), la conductivité électrique a été de 535,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et la densité a été de 1,17 g/ml. Ces résultats varient aussi selon la catégorie de taille et la forme. L'augmentation de la température d'extraction représente un coût supplémentaire ne peut pas se justifier sur le plan alimentaire et économique.

**Mots clés :** Caroube, Sirop, Paramètre biochimique, Paramètre physico-chimique, Paramètre morphologique, Durée d'extraction, Température d'extraction.

**Title: Study of the effect of the duration and temperature of the extraction of carob bean syrup on biochemical and physicochemical parameters.**

**Last name:** Nouioua

**First name:** Hadil Fatma Zohra

**Directed by:** Adamou Ala-Eddine

**Abstract:** Carob pods are of considerable dietary interest. These are used in the preparation of carob syrup and offer many benefits. Our study aimed to examine the effect of different extraction times (4,6,8 and 12 hours) and extraction temperatures [80-100°C] on the quality of carob syrup. in relation to biometric parameters and physicochemical parameters. Our results showed that the temperature in our study had only a slight influence on the physicochemical and biochemical quality of the syrup. therefore, the variations observed in these parameters can mainly be attributed to extraction time rather than temperature. Analysis of the biochemical composition reveals a sugar content of 15.16% of total proteins of 0.52%. the pH indicates low acidity (5.31), the electrical conductivity was 535.03 S/cm and the density was 1.17g/ml. These results also vary by size category and shape. The increase in the extraction temperature represents an additional cost that cannot be justified on a food and economic level.

**Keywords:** Carob, Syrup, Biochemical parameter, Physicochemical parameter, Morphological parameter, Extraction duration, Extraction temperature.

**عنوان: دراسة تأثير مدة و درجة حرارة تحضير دبس الخروب على المعايير البيو كيميائية والفيزيوكيميائية.**

**المؤطر: عظام علاء الدين**

**الأسم: هديل فاطمة الزهرة**

**اللقب: نويوة**

**الملخص:** قرون الخروب تحمل أهمية كبيرة في مجال الغذاء. فهي تستخدم في تحضير دبس الخروب وتقدم العديد من المزايا والاستخدامات. كان الهدف من دراستنا هو دراسة تأثير فترات الاستخلاص المختلفة (4، 6، 8 و 12 ساعة) ودرجات الحرارة المختلفة [80-100] درجة مئوية على جودة دبس الخروب من حيث المعايير الظاهرية والفيزيوكيميائية. أظهرت النتائج أن درجة الحرارة لم تكن لها سوى تأثير طفيف على جودة دبس الخروب من الناحية الفيزيوكيميائية والبيوكيميائية. وبناءً على ذلك، يمكن أن يُرجع التغير الملاحظ في هذه المعايير بشكل أساسي إلى فترة الاستخلاص بدلاً من درجة الحرارة تحليل التركيب البيوكيميائي يكشف عن نسبة سكر تبلغ 15.16% وإجمالي البروتين 0.52% يشير الأس الهيدروجيني إلى حموضة منخفضة (5.31)، وكانت ناقلة كهربائية تتفاوت هذه الكثافة 1.17  $\mu\text{S}/\text{cm}$  النتائج أيضاً بناءً على فئة الحجم والشكل. وزيادة درجة حرارة الاستخلاص تتطلب تكلفة إضافية لا يمكن تبريرها من الناحية الغذائية والاقتصادية.

**كلمات مفتاحية:** الخروب دبس المعايير البيوكيميائية المعايير الفيزيوكيميائية المعايير المورفولوجية، مدة الاستخلاص درجة حرارة الاستخلاص