



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 : MELIK Rania Djihane**

**DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**FILIERE DES SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Option : Agroalimentaire et contrôle de qualité**

### **Thème**

**Etude de la variation des paramètres  
physicochimiques et glucidiques des gousses de  
caroube avec des caractéristiques phénotypiques**

### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Mm. Allali Khadidja	Maître de Conférences (A)	Présidente
Mm. Abidi Manal	Maître de Conférences (B)	Examinatrice
Mm. Medjkouh/Rezzak Lynda	Maître de Conférences (A)	Encadrante
M. Adamou Alaa-Eddine	Professeur	Co-encadreur

**Promotion : 2024-2025**

### Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) est une espèce méditerranéenne d'un grand intérêt nutritionnel, économique et environnemental. Ce travail a porté sur l'étude des propriétés physico-chimiques et glucidiques des gousses de caroube présentant différentes caractéristiques morphologiques (taille et couleur). Les résultats obtenus montrent que la taille et la couleur des gousses reflètent de manière significative certains paramètres, notamment la teneur en sucres solubles, le pH et la conductivité électrique. Les gousses claires et de grande taille ont présenté des teneurs plus élevées en sucres et une conductivité plus importante, tandis que les gousses foncées semblent plus affectées par les réactions de brunissement.

Ces résultats confirment que les critères morphologiques constituent des indicateurs pertinents pour évaluer la valeur nutritionnelle et technologique des gousses de caroube.

**Mots-clés :** Caroubier, gousses, propriétés physico-chimiques, sucres solubles, conductivité électrique, pH.

### Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) is a Mediterranean species of great nutritional, economic, and environmental importance. This study focused on the physico-chemical and carbohydrate properties of carob pods with different morphological characteristics (size and color). The results showed that pod size and color significantly influence certain parameters, particularly soluble sugar content, pH, and electrical conductivity. Light-colored and large pods exhibited higher sugar levels and greater conductivity, whereas dark pods appeared more affected by browning reactions.

These findings confirm that morphological traits are reliable indicators for assessing the nutritional and technological value of carob pods.

**Keywords:** Carob tree, pods, physico-chemical properties, soluble sugars, electrical conductivity, pH.

### المخلص

شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua L.*) هي نوع متوسطي ذو أهمية غذائية، اقتصادية و بيئية كبيرة. تمحور هذا العمل حول دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية والسكرية لقرون الخروب ذات الخصائص المورفولوجية المختلفة (من حيث الحجم واللون). أظهرت النتائج أن حجم ولون القرون يؤثران بشكل ملحوظ في بعض المؤشرات، خاصةً محتوى السكريات الذائبة، ودرجة الحموضة (pH)، والناقلية الكهربائية. وقد تبين أن القرون الفاتحة والكبيرة تحتوي على نسب أعلى من السكريات وناقلية كهربائية أكبر، في حين بدت القرون الداكنة أكثر تأثرًا بتفاعلات الاسمرار.

تؤكد هذه النتائج أن المعايير المورفولوجية تُعدّ مؤشرات فعّالة لتقييم القيمة الغذائية والتكنولوجية لقرون الخروب.

**الكلمات المفتاحية :** الخروب، القرون، الخصائص الفيزيوكيميائية، السكريات الذائبة، الناقلية الكهربائية، درجة الحموضة.

## DÉDICACES

Je dédie cet ouvrage à :

Mes chers parents,

Vous deux, qui avez inculqué à mon cœur le sens de la patience et de la persévérance, et qui m'avez entourée d'un amour éternel et de prières incessantes. À vous, qui avez travaillé dur, veillé tard et fait des sacrifices pour que je puisse arriver là où je suis aujourd'hui, aucun mot de remerciement ni d'éloge ne saurait vous rendre justice. Vous êtes mon soutien, ma fierté et le phare de ma vie. Que Dieu vous récompense abondamment et vous accorde une longue et saine vie.

À mes chers frères et sœurs : Ibtissam, Sirine et Ahmed, ainsi qu'à ma grand-mère attentionnée, qui ont toujours été mon soutien et mon

Je vous adresse tout mon amour et toute ma gratitude pour votre patience et votre soutien.

À tous ceux qui m'ont tendu la main par une prière ou un mot gentil, je dédie le fruit de mon travail et de mes années d'études en signe de loyauté, d'amour et de gratitude. À tous mes professeurs tout au long de mes études. À tous mes collègues de la promotion 2025 pour le contrôle qualité.

## Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le Tout-Puissant , de nous avoir accordé la santé, la patience, la force et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche.

Mes remerciements les plus sincères vont à Mme Medjkouh/Rezzak Lynda, Maître de Conférences à l'Université de Laghouat, encadrante de ce travail, pour son encadrement bienveillant, ses orientations judicieuses, son suivi régulier et son soutien tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

J'exprime mes sincères remerciements à M. Adamou Ala-Eddine, Professeur à l'Université de Laghouat et co-encadreur de ce mémoire, pour son encadrement attentif, ses orientations précieuses et son appui scientifique constant. Sa disponibilité, son sens du détail et ses remarques constructives ont grandement enrichi la qualité de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Mme Allali Khadidja, Maître de Conférences à l'Université de Laghouat, présidente du jury, pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail et pour ses remarques constructives.

Mes remerciements s'adressent aussi Mme . Abidi Manal, Maître de Conférences à la même université, examinatrice, pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail et pour ses suggestions enrichissantes.

Nos hommages vont à tous nos enseignants du Département de sciences agronomiques

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>	Répartition géographique de caroubier ( <i>Ceratonia siliqua</i> ) dans le monde	4
<b>2</b>	Exemples de produits dérivés du caroubier	8
<b>3</b>	Arbre de caroubier ( <i>Ceratonia siliqua</i> ) au bord d'une route de la ville de Laghouat	11
<b>4</b>	Schéma illustratif du protocole d'échantillonnage et de codification des gousses de caroube	12
<b>5</b>	Échantillons de gousses de caroube triées et codées selon la taille et la couleur	13
<b>6</b>	Échantillons de la poudre de caroube conditionnés dans des sacs hermétiques étiquetés	14
<b>7</b>	Détermination de pH de dilution de la farine de la caroube par un pH-mètre étalonné	15
<b>8</b>	Détermination de la conductivité électrique des dilutions de la farine de la caroube par un conductimètre électrique	15
<b>9</b>	Préparation et dilution de la farine de la caroube et mesure de la teneur en sucres solubles totaux	16
<b>10</b>	Variation de la conductivité électrique des caroubes en fonction de taille (petite, moyenne, grande)	19
<b>11</b>	Variation du pH de la caroube en fonction de taille (petite, moyenne, grande).	20
<b>12</b>	Variation des sucres solubles de la caroube en fonction de taille	21
<b>13</b>	Variation de la conductivité électrique de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).	21

<b>14</b>	Variation de pH de la caroube en fonction de la couleur (claire, foncée).	22
<b>15</b>	Variation des sucres solubles des gousses de la caroube en fonction de couleur.	23
<b>16</b>	Relation entre la longueur totale des gousses et le taux de sucres solubles(%)	23
<b>17</b>	Relation entre la largeur des gousses et le taux de sucres solubles (%)	24
<b>18</b>	Relation entre l'épaisseur des gousses et le taux de sucres solubles (%)	25
<b>19</b>	Relation entre la conductivité électrique et le taux de sucres solubles (%)	25

## Liste des Tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Production moyenne et totale de caroube (en tonnes) dans les neuf premiers pays producteurs mondiaux	5
<b>2</b>	Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année2009	6
<b>3</b>	Proportion d'usage de la gomme de caroube	7
<b>4</b>	Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube	18
<b>5</b>	Description statistique des paramètres physicochimiques des gousses de caroube	19
<b>6</b>	Composition physico-chimique des gousses de caroube selon quelques études antérieures	28

# Table des matières

Résumé.....	
Liste des figures .....	
Liste des Tableaux.....	

## Introduction

---

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

## Synthèse Bibliographique

---

<b>1. Répartition géographique du caroubier.....</b>	<b>3</b>
.11. Dans le monde.....	3
.12. En Algérie .....	3
<b>2. Production des gousses de la caroube.....</b>	<b>4</b>
2.1. Dans le monde.....	4
2.2. En Algérie .....	6
<b>3. Utilisations des gousses de la caroube dans l'alimentation.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Composition nutritionnelle de la caroube .....</b>	<b>8</b>
<b>5. Différentes Variétés de caroube.....</b>	<b>8</b>
<b>6. Bienfaits de caroube pour la santé .....</b>	<b>9</b>
<b>7. Contraintes de la culture du caroubier en Algérie.....</b>	<b>9</b>

## Matériel et méthodes

---

<b>1. Échantillonnage et préparation des échantillons .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Mesures et analyses au laboratoire .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Mesures morphométriques.....</b>	<b>13</b>
2.1.1. Longueur totale.....	13
2.1.2. Longueur d'arc .....	13
2.1.3. Largeur.....	13
2.1.4. Epaisseur .....	13
2.1.5. La masse.....	13
2.1.6. L'indice de forme .....	14

<b>2.2. Paramètres physicochimiques</b> .....	<b>14</b>
2.2.1. pH .....	14
2.2.2 Conductivité électrique .....	15
2.2.3. Sucres solubles totaux.....	16
2.3 Analyses statistiques.....	16

## Résultats

---

<b>1. Caractérisation des paramètres morphométriques</b> .....	<b>17</b>
1.1. Longueur total des gousses de la caroube.....	17
1.2. Longueur d'arc des gousses de la caroube.....	17
1.3. Indice de forme.....	17
1.4. Largeur des gousses de la caroube .....	17
1.5. Epaisseur des gousses de caroube .....	17
1.6. La masse des gousses de caroube.....	17
<b>2. Caractérisation des paramètres physico-chimiques</b> .....	<b>18</b>
2.1. Conductivité électrique .....	18
2.2. pH.....	18
2.3. Sucres solubles .....	18
<b>3. Variation des paramètres physicochimiques avec la taille</b> .....	<b>19</b>
<b>4. Variation des paramètres physicochimiques avec la couleur</b> .....	<b>21</b>
<b>5. Corrélation entre le taux de sucres et quelques paramètres morphométriques</b> .....	<b>23</b>
5.1. Avec la longueur totale des gousses .....	23
5.2. Avec la largeur des gousses .....	24
5.3. Avec l'épaisseur des gousses .....	24
5.4. Avec la Conductivité électrique .....	25

## Discussion

---

Discussion.....	26
-----------------	----

## Conclusion

---

Conclusion .....	27
------------------	----

## Références bibliographiques

---

Références bibliographiques.....	32
----------------------------------	----



# Introduction

---

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), aussi appelé kharoub, est un arbre à feuilles persistantes appartenant à la famille des légumineuses (Fabaceae) (**Sallouh et Nouioui, 2019**). Il apprécie la chaleur et le soleil et s'adapte parfaitement à divers types de sols (**Faleh, 2023**). C'est un arbre fruitier et forestier que l'on trouve dans les régions arides et semi-arides du bassin méditerranéen et de la péninsule arabique (**Sallouh et Nouioui, 2019**).

Connu depuis l'Antiquité, le caroubier est mentionné dans certaines inscriptions et monuments romains, témoignant de son importance et de sa valeur dans la vie des sociétés antiques (**Beschaouch, 2006**). Les Grecs l'ont introduit en Grèce et en Italie, tandis que les Arabes ont contribué à sa propagation le long des côtes d'Afrique du Nord, d'Espagne et du Portugal (**Battle et al., 1997**).

Le caroubier joue également un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion, ainsi que dans la lutte contre la désertification, ce qui accroît son importance environnementale, outre sa valeur nutritionnelle et industrielle (**Gillet et al., 2014**).

Son importance s'est accrue à l'échelle internationale grâce à ses diverses utilisations dans les secteurs alimentaire et pharmaceutique. La production de caroube en Algérie a été estimée à environ 3219 tonnes (FAOSTAT, 2021), cependant, l'exploitation de cet arbre reste limitée malgré son importance économique, à l'exception de quelques initiatives récentes comme la création d'une unité de transformation de farine de caroube à Mascara (DSA de Tlemcen, 2009) (**Djeddar et Madadi, 2024**) et produit des fruits à la composition nutritionnelle précieuse, riches en vitamines, fibres et protéines, ainsi qu'en antioxydants.

Utilisées depuis des siècles pour nourrir les humains et les animaux (**Boussenou, 2023**), aujourd'hui, il est utilisé dans diverses industries grâce à ses produits primaires et secondaires. Une gomme, connue industriellement sous le nom d'E410, est extraite de ses graines. C'est l'un des additifs les plus utilisés dans l'industrie alimentaire en raison de ses propriétés cohésives et stabilisantes, et il est

utilisé dans la fabrication de produits laitiers, de confiseries et de pâtisseries (Gillet et al., 2014)

Compte tenu de l'importance nutritionnelle et économique du caroubier et de ses produits, ce travail vise à étudier la variation des propriétés physiques, chimiques et glucidiques des gousses de caroube présentant différentes caractéristiques morphologiques. Cette caractérisation fournira des données scientifiques précises sur la valeur nutritionnelle et technologique de ces gousses, ce qui pourrait contribuer à mieux orienter leur utilisation dans les industries agroalimentaires et à promouvoir une exploitation locale plus efficace.

Ce mémoire est structuré en trois parties principales :

Première partie : Revue bibliographique

Elle présente les connaissances générales sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), son origine, sa distribution, ses caractéristiques botaniques, ses utilisations, ainsi que sa composition chimique et ses propriétés nutritionnelles.

Deuxième partie : Matériels et méthodes

Elle décrit la zone d'étude, le matériel végétal utilisé, les paramètres morphométriques et physicochimiques étudiés, ainsi que les méthodes expérimentales et statistiques appliquées.

Troisième partie : Résultats et discussion

Cette partie expose les résultats obtenus concernant les caractéristiques morphologiques et chimiques des gousses de caroube, leur interprétation et leur comparaison avec les travaux antérieurs.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats et propose des perspectives de valorisation du caroubier en Algérie

# **Synthèse Bibliographique**

---

### 1. Répartition géographique du caroubier

#### .11. Dans le monde

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) est une espèce typique de la flore méditerranéenne, largement reconnue pour sa grande capacité d'adaptation aux conditions climatiques arides et semi-arides qui caractérisent cette région (**Retana et al., 1990**). Son origine naturelle se situe dans l'est du bassin méditerranéen, notamment en Turquie, Syrie, Liban, Palestine, sud de la Jordanie, Égypte, Tunisie et Libye. Il s'est progressivement propagé vers l'ouest depuis l'Antiquité, où les formes sauvages, souvent issues d'anciennes cultures, sont aujourd'hui largement répandues sur les littoraux de faible altitude, notamment en Espagne, au sud du Portugal, en France méridionale, en Sicile, en Croatie, en Grèce, à Chypre, à Malte, au Maroc et en Tunisie. La répartition mondiale de la caroube est présentée dans la figure 1 (**Batlle et Tous, 1997**).

Le caroubier est particulièrement cultivé dans des zones méditerranéennes chaudes et peu pluvieuses, comme la Sierra de Zafalgar, où il est bien représenté, notamment en raison de sa valeur industrielle, tant pour ses fruits que pour ses graines (**Ortiz et al., 1996**). Actuellement, sa distribution couvre une grande partie du pourtour méditerranéen, avec une prédominance dans les zones côtières et de basse altitude. Sa présence reste fortement liée aux caractéristiques écologiques locales telles que la température, la disponibilité en eau et la nature du sol, ce qui témoigne de sa plasticité écologique remarquable (**Mahdad et Gaouar, 2016**).

#### .12. En Algérie

En Algérie, le caroubier est largement répandu dans les régions montagneuses, où il est une espèce végétale commune. Il est également largement cultivé dans l'Atlas saharien. Cet arbre présente une grande capacité écologique, poussant sur tous les types de sols, sauf ceux saturés d'humidité, et se caractérise par sa forte capacité de régénération naturelle. On le trouve également dans les zones salines du nord-ouest du pays, notamment dans la province de Relizane, où il peut contribuer au développement des terres marginales dégradées. Son aire de répartition s'étend d'est en ouest, dans les zones de basse et moyenne altitude, ce qui en fait un élément clé de la communauté végétale connue sous le nom d'Oléo-Cératonion (**Kocherane et al., 2019**). Le caroubier pousse naturellement dans les régions semi-arides à humides, entre 100 et 1 300 mètres d'altitude, notamment dans les vallées

protégées du gel. Il est communément associé aux amandiers, aux oliviers sauvages et aux pistachiers de l'Atlantique. Il préfère un climat tempéré avec des températures comprises entre 5 et 20 °C et des précipitations annuelles comprises entre 80 et 600 mm (**Bouchena et Ouaffai, 2022**). Son exploitation en Algérie reste limitée en raison des difficultés d'accès liées au relief (**Lagha-Benamrouche et Hezil, 2025**).



**Figure 1** : Répartition géographique de caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans le monde (**Baumel et al., 2020**).

## 2. Production des gousses de la caroube

### 2.1. Dans le monde

La culture commerciale du caroubier reste principalement concentrée dans la région méditerranéenne, qui représente environ 200 000 hectares de la superficie cultivée à l'échelle mondiale. Les pays du sud de l'Union européenne (l'Espagne, l'Italie, le Portugal et la Grèce) occupent à eux seuls près de 74 % de cette superficie et assurent environ 70 % de la production mondiale (**Battle et Tous, 1997**).

La production mondiale de caroube a connu une forte baisse au cours des dernières soixante-dix années, passant d'environ 650 000 tonnes en 1945 à près de 51906,58 tonnes en 2021, cultivées sur une superficie de 14 722 hectares, répartie principalement entre l'Europe (59,5 %) et l'Afrique (21,6 %). Le Portugal a été le premier producteur entre 1994 et 2021, avec une moyenne annuelle de 39 935,93 tonnes, suivi de l'Italie (30 744,23 tonnes), du Maroc (22 436,42 tonnes), de la Grèce (14 696,18 tonnes), de la Turquie (14 337 tonnes) et enfin de Chypre (6 689,21 tonnes) (FAOSTAT, 2021 ;Dahmani et al., 2023). Au niveau de la production individuelle, les rendements varient en fonction de la densité de plantation et des conditions d'entretien. Une parcelle de caroubiers peut produire entre 2 et 5 tonnes par hectare, tandis que des arbres isolés peuvent produire environ 300 kg, voire une tonne dans certains cas exceptionnels. Cependant, cette production est caractérisée par une instabilité due aux effets du climat et au manque de soins techniques (Ait Chitt et al., 2007).

La variété et le mode de pollinisation ont également un impact significatif sur la quantité de fruits produits. Des études ont montré que la pollinisation manuelle augmente le taux de nouaison par rapport à la pollinisation naturelle (69,7 % contre 40,5 %). En Jordanie, il a été observé que le pourcentage de production de fruits mûrs varie selon la position du fruit dans la grappe, de 2,58 % à la base de la grappe à 17,95 % dans la partie supérieure (Thomas et al., 2024).

**Tableau 1:** Production moyenne et totale de caroube (en tonnes) dans les neuf premiers pays producteurs mondiaux (FAOSTAT, 2021).

Pays producteur	Moyenne (tonnes)	Somme (tonnes)
Espagne	44,283	265,700
Portugal	44,214	265,284
Italie	29,025	203,175
Maroc	21,790	152,707
Turquie	14,469	101,280
Grèce	12,912	129,116
Chypre	7,769	54,380
Liban	3,589	25,124
Algérie	3,577	25,037

### 2.2. En Algérie

La production de caroube en Algérie est concentrée dans un nombre limité de provinces côtières, Bejaïa en tête, premier producteur national, représentant 54,42 % de la production totale, soit 18 417 quintaux. Blida suit avec 23,79 % et Tipaza avec 16,55 %. En revanche, certaines provinces de l'ouest, comme Tlemcen et Mascara, contribuent très peu à la production nationale, ne dépassant pas 0,39 %, ce qui reflète l'importante disparité géographique de la culture et de la production de caroube à travers le pays (**Mahdad et Gaouar, 2016**).

Selon les données de FAOSTAT (2021), l'Algérie figure parmi les principaux producteurs mondiaux de caroube, se classant au neuvième rang mondial avec une production annuelle d'environ 3 577 tonnes. L'intérêt local pour le développement potentiel de ce secteur a commencé à croître, notamment à la lumière de la demande internationale croissante de poudre de caroube de haute qualité, ce qui a conduit au lancement d'industries de transformation primaire visant à valoriser ce produit et à encourager sa culture par les organismes compétents (**Toumi et al., 2024**).

**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>Bordj Bou 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

### 3. Utilisations des gousses de la caroube dans l'alimentation

Le caroubier est un arbre méditerranéen aux multiples usages, notamment dans le domaine alimentaire. Ses gousses sont traditionnellement utilisées comme aliment pour l'homme et les animaux. La caroube est utilisée dans l'alimentation humaine principalement sous forme de poudre de caroube, riche en sucres et en nutriments, ajoutée aux gâteaux, pains, boissons et glaces comme substitut sain du cacao. Elle est aussi transformée en sirop traditionnel dans certains pays comme l'Égypte. Sa pulpe sucrée permet la production d'alcool industriel et de protéines fongiques via la fermentation (**Battle et Tous, 1997**). Un produit important extrait de la caroube est la gomme issue de l'endosperme de la graine, qui sert de stabilisant et d'épaississant dans divers produits alimentaires tels que les sauces et les mayonnaises. En moyenne, 100 kg de graines fournissent 20 kg de gomme sèche et pure. Par ailleurs, le caroubier est également une plante mellifère, produisant un miel de bonne qualité apprécié pour ses propriétés gustatives et nutritionnelles (**Benmahioul et al., 2011**). Les graines de caroube, riches en polyphénols antioxydants, ont un intérêt industriel notable. La gomme issue de l'endosperme est utilisée comme agent texturant stabilisant, épaississant, gélifiant, agglomérant) dans divers produits alimentaires (glaces, sauces, biscuits, etc.) (**Bouaziz et al., 2013**).

**Tableau 3** : Proportion d'usage de la gomme de caroube (**Adapté de Chial, 2020**).

Catégories d'aliments	Utilisation maximale (%)
Produits de boulangerie et mélanges à pâtisserie	0,15
Boissons sans alcool et bases de boisson	0,25
Les fromages	0,8
Gélatine, puddings et fourrages	0,75
Confitures et gelées	0,75
Autres aliments	0,50



**Figure 2:**Exemples de produits dérivés du caroubier (Dahimet Nait Larbi, 2018).

#### 4. Composition nutritionnelle de la caroube

La pulpe du caroubier est caractérisée par une faible humidité (4–6 %) et une richesse notable en fibres alimentaires ( $\approx 36$  %) et en glucides ( $\approx 75$  %), alors que les teneurs en protéines (4–6 %) et en lipides ( $\leq 0,4$  %) demeurent faibles (El Chami et al., 2025).

Les sucres dominants sont le saccharose, le glucose et le fructose, représentant 40 à 60 % de la matière sèche (Biber et al., 2007).

La teneur totale en composés phénoliques varie de 7 à 23 mg GAE/g, avec une présence marquée d'acide gallique et de tanins condensés (Kumazawa et al., 2002 ; Papaefstathiou et al., 2018).

Les galactomannanes constituent la principale fraction polysaccharidique (Gillet et al., 2014).le caroubier se distingue par une forte concentration en minéraux, notamment en calcium, potassium, phosphore et magnésium, renforçant sa valeur nutritionnelle et ses effets bénéfiques sur la santé métabolique (Dahmani et al., 2023 ; Llompart et al., 2025)

#### 5. Différentes Variétés de caroube

Plusieurs variétés et cultivars ont été identifiés selon les régions de culture :

En Espagne et au Portugal : Mulata, Negra, Rojal, Matalafera, Costella (**Papaefstathiou et al., 2018 ; Dahmani et al., 2023**) ;

En Grèce et à Chypre : Tilliria, Koumpota, Kountourka(**Goulas et Aresti, 2021**) ;

En Italie (notamment en Sicile), plusieurs variétés ont été décrites, parmi lesquelles Racemosa, Latinissima, Ibla, Pasta, Ruta et Tantillo, différant par la taille des gousses, la couleur et la teneur en sucres (**FAO, 2023**) ;

En Tunisie, la variété Sfax est considérée comme l'une des plus productives et les plus sucrées, utilisée pour la fabrication du sirop et de la poudre de caroube (**Growables, 2022**) ;

Quant à la Turquie, les études indiquent une variabilité importante entre les écotypes régionaux, sans classification variétale officielle, mais avec des différences marquées dans la teneur en tanins et la morphologie des gousses (**Biber, Ozyurt, et Yildiz, 2007**) ;

En Algérie, plusieurs travaux ont mis en évidence une grande diversité morphologique et biochimique du caroubier, sans toutefois une nomenclature variétale officielle.

Les études menées à Tlemcen, Blida, Jijel et Tizi-Ouzou (Fréha, Boghni) montrent l'existence de différents écotypes, différenciés par la taille, la couleur et la composition des gousses (**Gaouar, 2011 ; Chabane, 2020 ; Loumani, 2024**).

Selon **Loumani (2024)**, onze accessions distinctes ont été identifiées, représentant la variabilité naturelle du caroubier algérien.

### **6. Bienfaits de caroube pour la santé**

Le caroubier est reconnu non seulement pour sa valeur nutritionnelle mais aussi pour ses effets bénéfiques sur la santé humaine.

Les fibres qu'elles contiennent contribuent à la réduction du cholestérol sanguin et à la régulation du taux de glucose, favorisant ainsi la prévention du diabète de type 2 (**Goulas et Aresti, 2021 ; Loumani, 2024**).

Les polyphénols et les tanins présents dans la pulpe et les graines exercent une activité antioxydante marquée, limitant les dommages oxydatifs des cellules et retardant le vieillissement prématuré (**Kumazawa et al., 2002 ; Dahmani et al., 2023**).

De plus, la caroube possède des propriétés digestives et anti-diarrhéiques bien connues, grâce à sa richesse en mucilages et en tanins condensés qui régulent le transit intestinal (**Papaefstathiou et al., 2018**). Son absence de caféine et de gluten en fait un substitut sain au cacao, particulièrement adapté aux enfants et aux personnes souffrant d'intolérances alimentaires (**Toufeiliet al., 2022**). Sa teneur élevée en calcium, potassium et magnésium renforce la santé osseuse et cardiaque, confirmant son intérêt en nutrition fonctionnelle (**Dahmani et al., 2023 ; Llompert et al., 2025**).

### **7. Contraintes de la culture du caroubier en Algérie**

La culture du *Ceratonia siliqua* (caroubier) en Algérie présente un fort potentiel agro-économique, mais elle demeure confrontée à de nombreuses contraintes structurelles et environnementales. Tout d'abord, la superficie cultivée a considérablement diminué, passant d'environ 11 000 ha en 1961 à près de 1 000 ha en 2011, illustrant un net recul de l'engagement dans cette filière (**Yassine, 2021**). En outre, la production nationale reste peu structurée, dispersée et en deçà des standards internationaux, malgré un environnement bioclimatique généralement favorable (**Maghreb Emergent, 2025**). Parmi les principales contraintes figurent l'absence de programmes de sélection variétale adaptés aux conditions locales, le manque d'infrastructures de transformation, et la faible valorisation industrielle des produits dérivés du caroubier (**Benmahioul et al., 2011**). Enfin, la concurrence d'autres cultures plus rentables, conjuguée à la faible attractivité économique de la filière, limite les investissements et freine l'expansion de cette culture à grande échelle (**Maghreb Emergent, 2025**).

## **Matériel et méthodes**

---

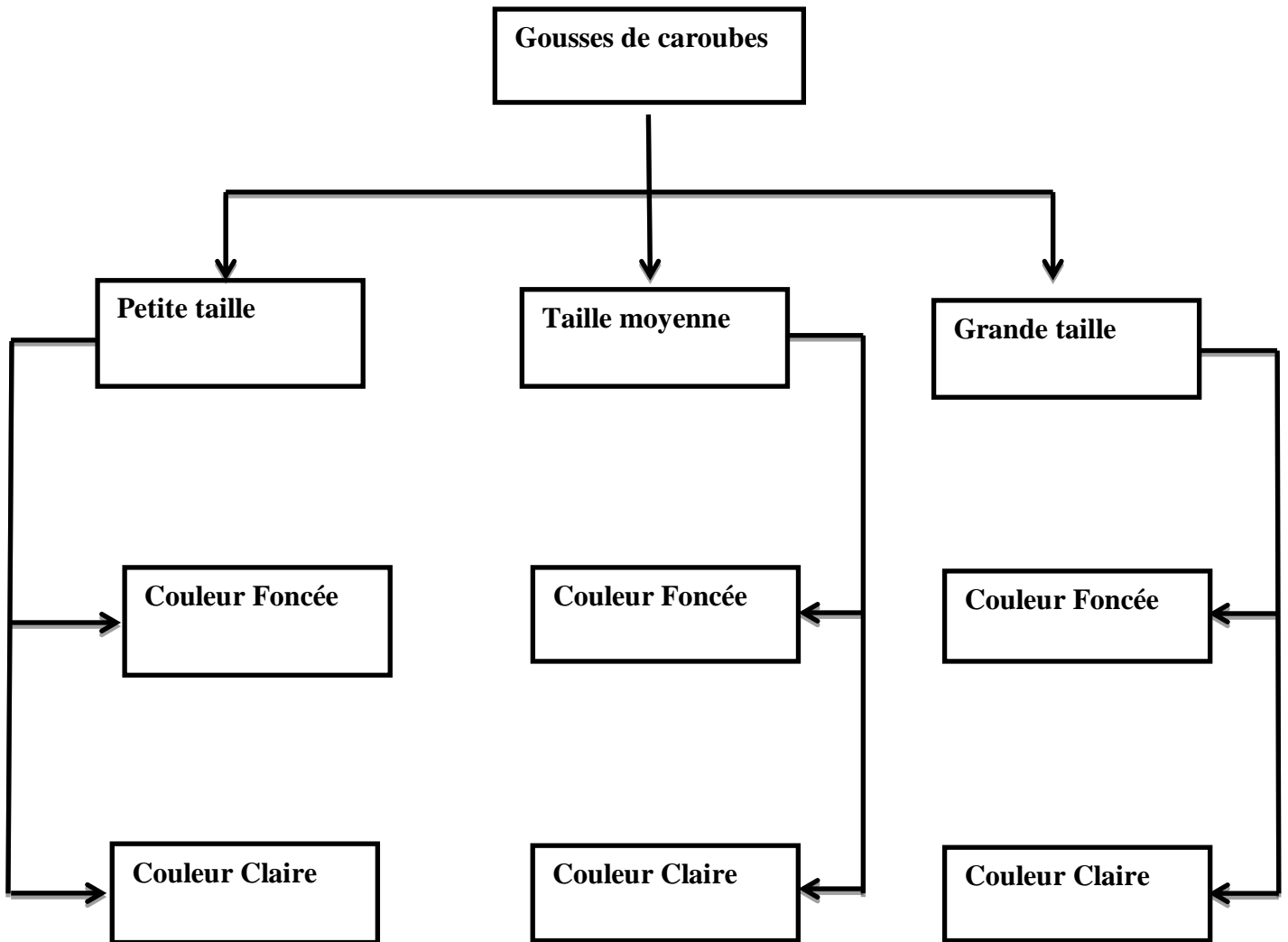
### 1.Échantillonnage et préparation des échantillons

Toutes les gousses de caroube ont été récoltées sur un même arbre à Laghouat en octobre 2024 (**Fig.3**), puis triées selon deux critères morphologiques fondamentaux : la taille (petite, moyenne, grande) et la couleur (claire ou foncée) (**Fig.4**). Un code d'identification a ensuite été attribué à chaque gousse (**Fig.5**).

Les échantillons ont été placés dans des sacs en papier séparés avant d'être distribués à différents groupes pour des mesures morphométriques.



**Figure 3** : Arbre de caroubier (*Ceratonia siliqua*) au bord d'une route de la ville de Laghouat (Photographie originale).



**Figure 4:** Schéma illustratif du protocole d'échantillonnage et de codification des gousses de caroube.



**Figure 5:** Échantillons de gousses de caroube triées et codées selon la taille et la couleur (Photographie originale).

## 2. Mesures et analyses au laboratoire

### 2.1. Mesures morphométriques

Les échantillons ont été utilisés pour mesurer la longueur totale, la longueur de l'arc, la largeur, l'épaisseur, l'indice de forme et la masse.

#### 2.1.1. Longueur totale

La longueur totale d'une gousse de caroube est définie comme la mesure courbée de la base à la pointe, et a été estimée avec précision à l'aide d'un ruban gradué en centimètres.

#### 2.1.2. Longueur d'arc

La longueur d'arc est la distance linéaire entre les deux extrémités de la caroube, hors courbure, et est déterminée à l'aide d'un mètre ruban.

#### 2.1.3. Largeur

La largeur est la distance transversale entre les côtés de la gousse au milieu, mesurée avec précision à l'aide d'un pied à coulisse en centimètres.

#### 2.1.4. Epaisseur

L'épaisseur est définie comme la dimension verticale mesurée au centre de la gousse, estimée avec précision à l'aide d'un pied à coulisse et exprimée en millimètres.

#### 2.1.5. La masse

La masse des gousses a été déterminée en grammes par pesée directe sur une balance électronique de précision.

### 2.1.6. L'indice de forme

L'indice de forme a été déterminé selon le rapport entre la longueur totale et la longueur d'arc de la gousse, afin de quantifier sa forme générale (**Bressiani et Duarte, 2008**).

### 2.2. Paramètres physicochimiques

Avant de commencer les mesures physicochimiques, les gousses de caroube ont été concassées par un mortier avec pilon en cuivre, puis finement broyées par un broyeur à lames pour obtenir une farine plus ou moins homogène (**Fig.6**). Cette farine conditionnée dans des sacs hermétiques étiquetés.

Cette poudre a ensuite été soumise à une dilution unique. Pour ce faire, 1 g de poudre de caroube a été mélangé avec 30 mL d'eau distillée à l'aide d'un agitateur afin d'obtenir une solution homogène

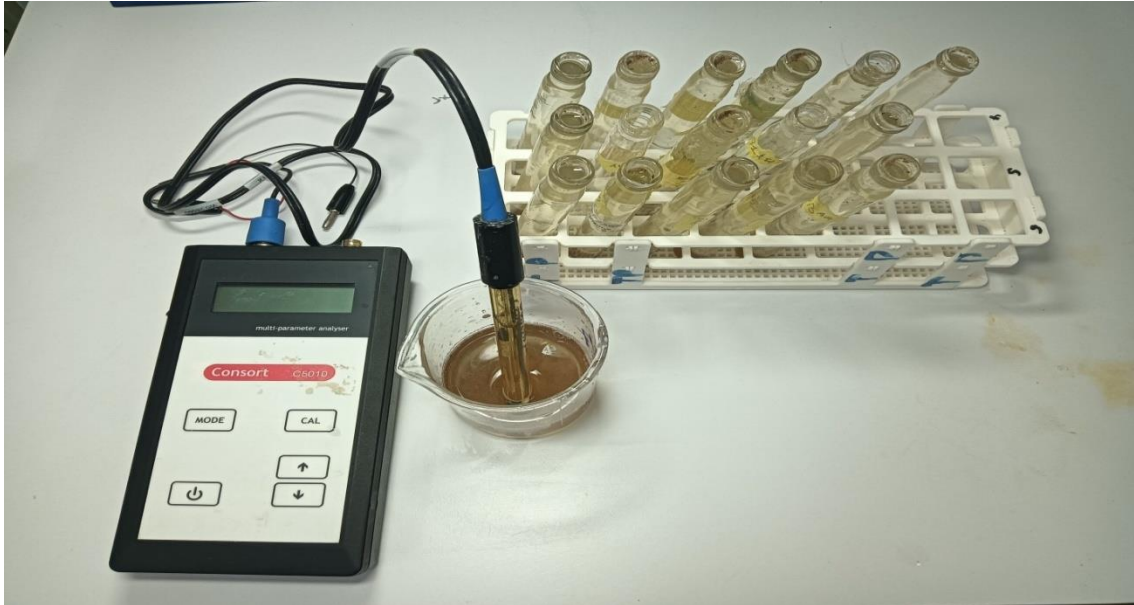
Ces dernières ont été filtrées par un filtre en plastique et conservées dans des tubes à essai de 10 mL afin de mesurer les paramètres physicochimiques (**Nasar-Abbas et al., 2016**).



**Figure 6 :** Échantillons de la poudre de caroube conditionnés dans des sacs hermétiques étiquetés (Photographie originale).

#### 2.2.1. pH

Le pH a été déterminé en préparant une solution de caroube à 30 % et en la mesurant directement à l'aide d'un pH-mètre étalonné (**Fig.7**).



**Figure 7:** Détermination de pH de dilution de la farine de la caroube par un pH-mètre étalonné (Photographie originale).

### 2.2.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique a été déterminée en préparant une solution à 30 % de caroube et en la mesurant directement à l'aide d'un conductimètre électrique (Fig.8).



**Figure 8 :** Détermination de la conductivité électrique des dilutions de la farine de la caroube par un conductimètre électrique (Photographie originale).

### 2.2.3. Sucres solubles totaux

Pour déterminer la teneur en sucres solubles totaux des dilutions de farine de la caroube, une goutte à 4% de dilution a été posée directement sur un réfractomètre étalonné et afin d'observer le niveau sur l'écran à l'œil nu(**Fig.9**).



**Figure 9:** Préparation et dilution de la farine de la caroube et mesure de la teneur en sucres solubles totaux (Photographie originale).

### 2.3 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 différentes dilutions de farine de la caroube.

## **Résultats**

---

### **1. Caractérisation des paramètres morphométriques**

#### **1.1. Longueur total des gousses de la caroube**

Parmi les 213 gousses de caroube, présentant des formes différentes, la longueur totale varie de 8,90 à 18,00 cm, tandis que la moyenne globale est de 13,51 cm (**Tab.4**).

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

La moyenne de longueur d'arc de 213 gousses de caroube a été de 10,12 cm. La longueur d'arc des gousses de caroube varie entre 2,10 jusqu'à 16,10 cm (**Tab.4**).

#### **1.3. Indice de forme**

L'indice de forme calculé pour les 213 gousses de caroube étudiées montre une variabilité marquée, avec des valeurs comprises entre 0,04 et 1,04. La moyenne globale de ce paramètre est de 0,75, traduisant des différences notables de proportions entre les gousses (**Tab.4**).

#### **1.4. Largeur des gousses de la caroube**

La largeur de 213 gousses de caroube a été variable d'une gousse à une autre et varie de 4,50 mm à 16,30 mm. La moyenne globale pour ce trait a été de 13,88 mm (**Tab.4**).

#### **1.5. Epaisseur des gousses de caroube**

L'épaisseur des 213 gousses de caroube étudiées varie entre 0,75 et 13,61 mm, tandis que la moyenne d'épaisseur calculée pour l'ensemble est de 4,67 mm (**Tab.4**).

#### **1.6. La masse des gousses de caroube**

La masse des 213 gousses de caroube analysées varie entre 1,10 g et 16,10 g, avec une moyenne globale de 6,50 g (**Tab. 4**).

**Tableau 4:**Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube.

Variable	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
<b>Longueur total (cm)</b>	213	13,511	1,8429	8,9000	18,000
<b>Longueur d'arc (cm)</b>	213	10,120	2,7908	2,1000	16,100
<b>Largeur (mm)</b>	213	13,883	1,4287	4,5000	16,300
<b>Epaisseur (mm)</b>	213	4,6681	0,9754	0,7500	13,610
<b>Masse (g)</b>	213	6,5073	2,6872	1,1000	16,100
<b>Indice de forme</b>	213	0,7500	0,1870	0,0400	1,0400

## 2. Caractérisation des paramètres physico-chimiques

### 2.1. Conductivité électrique

La moyenne de la conductivité électrique de 213 dilutions de caroube a été de 0,98 mS/ml. La conductivité électrique des gousses de caroube varie entre 0,31 jusqu'à 2,69 mS/ml (**Tab.5**).

### 2.2. pH

Le pH des dilutions de caroube a été compris entre 5,58 et 7,05, indiquant une tendance allant de légèrement acide à quasi neutre. La moyenne enregistrée pour 213 échantillons est de 6,21 (**Tab.5**).

### 2.3. Sucres solubles

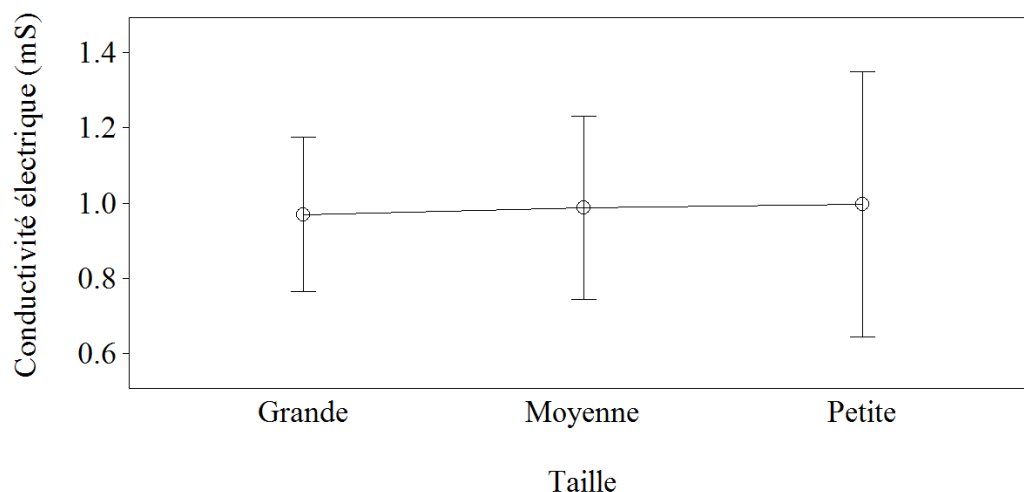
La moyenne du taux des sucres soluble de 213 dilutions de caroube a été de 26,37%. Les sucres solubles des gousses de caroube varie entre 2,50 jusqu'à 55% (**Tab.5**).

**Tableau 5:**Description statistique des paramètres physicochimiques des gousses de caroube

Variable	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Conductivité électrique (mS/cm)	213	0,9827	0,2598	0,3100	2,6900
pH	213	6,2053	0,2580	5,5800	7,0500
Sucres solubles (%)	213	26,373	9,7049	2,5000	55,000

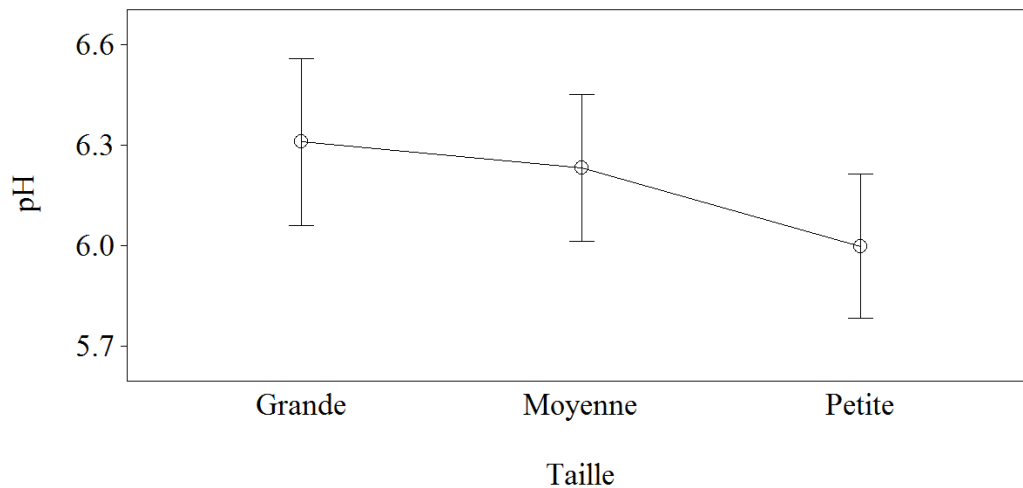
### 3. Variation des paramètres physicochimiques avec la taille

La conductivité électrique du dilution de caroube n'a pas présenté de variation significative avec la taille des gousses de caroube ( $F_{2,210} = 0,18$  ;  $P = 0,8331$  ns). Toutefois, la conductivité électrique des gousses de petites tailles (1,00 mS/cm) a été légèrement plus élevée par rapport à celle des gousses de tailles moyennes (0,99 mS/cm) et de grandes tailles (0,98 mS/cm)(**Fig.10**).



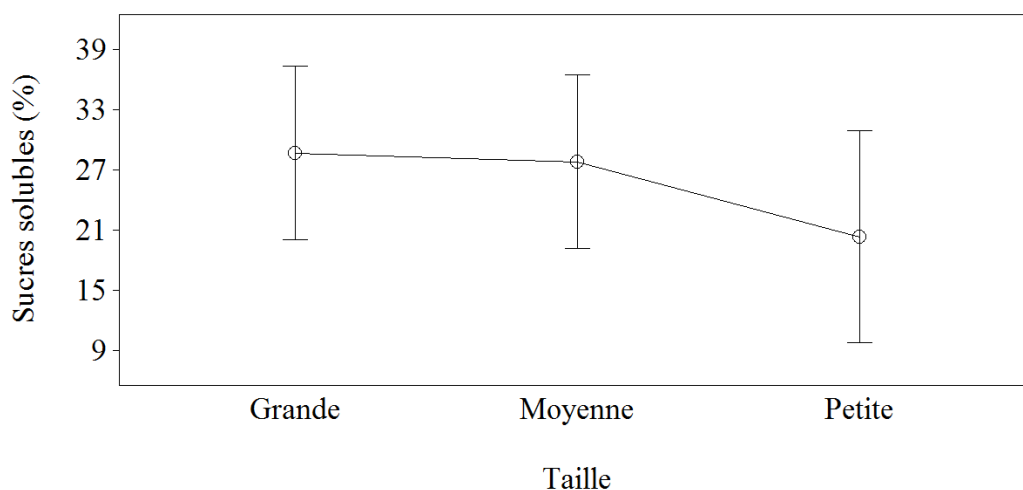
**Figure 10 :** Variation de la conductivité électrique des caroubes en fonction de taille (petite, moyenne, grande)

Le pH des gousses de la caroube a présenté une variation significative selon la taille des gousses de caroube ( $F_{2,210} = 28,8$  ;  $P \leq 0,0001$ ). En effet, le pH des grandes gousses a été le plus élevé avec une valeur de 6,40, suivi de celui des gousses moyennes avec 6,20, tandis que les petites gousses a enregistré la valeur la plus faible avec 6,05 (**Fig.11**).



**Figure 11** : Variation du pH de la caroube en fonction de taille (petite, moyenne, grande).

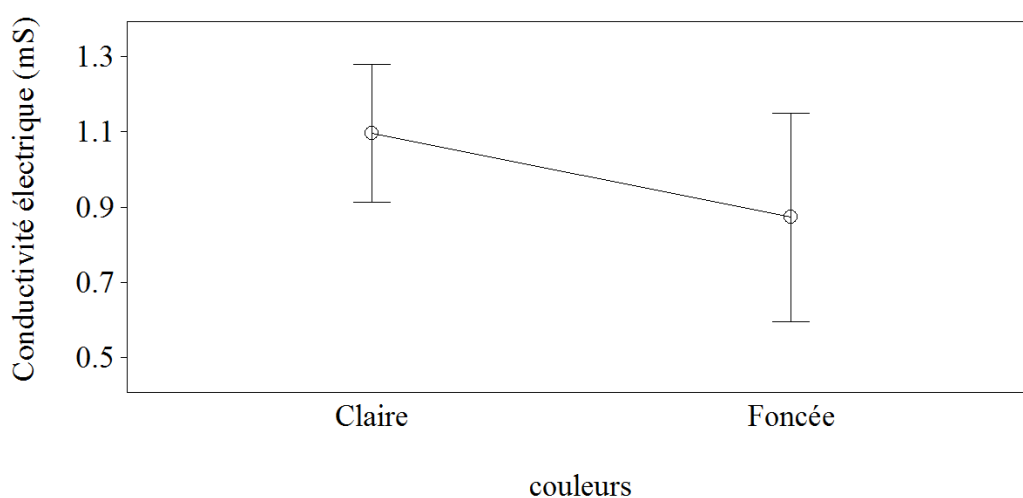
Le taux des sucres solubles du dilution de caroube a été significativement variable selon la taille des gousses ( $F_{2,210} = 14,5$  ;  $P \leq 0,0001$ ). Les petites gousses ont enregistré la valeur la plus faible avec 21%, tandis que celui des gousses moyennes et des grandes gousses a présenté des teneurs plus élevées, respectivement de 28% et 29% (**Fig.12**). Ces résultats révèlent une influence marquée de la taille des gousses sur la teneur en sucres solubles, avec une augmentation progressive des valeurs en fonction de la taille des gousses



**Figure 12** : Variation des sucres solubles de la caroube en fonction de taille.

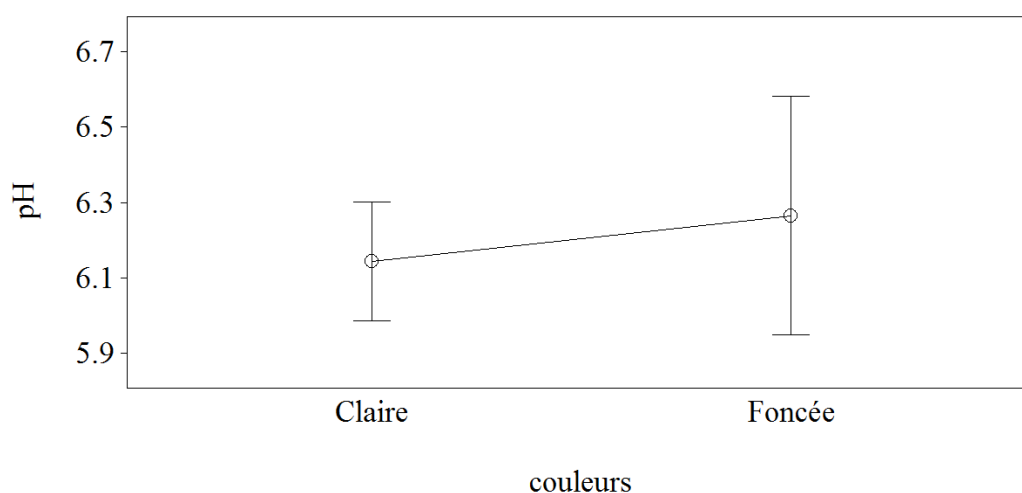
#### 4. Variation des paramètres physicochimiques avec la couleur

La conductivité électrique des dilutions de caroube a été significativement variable en fonction de la couleur des gousses ( $F_{1,210} = 48,1$  ;  $P \leq 0,0001$ ). En effet, les dilutions issues des gousses claires ont présenté une conductivité plus élevée (1,1 mS/cm) par rapport à celui obtenu à partir des gousses foncées (0,9 mS/cm) (**Fig.13**). Ces résultats montrent que la couleur des gousses exerce une influence notable sur la conductivité électrique.



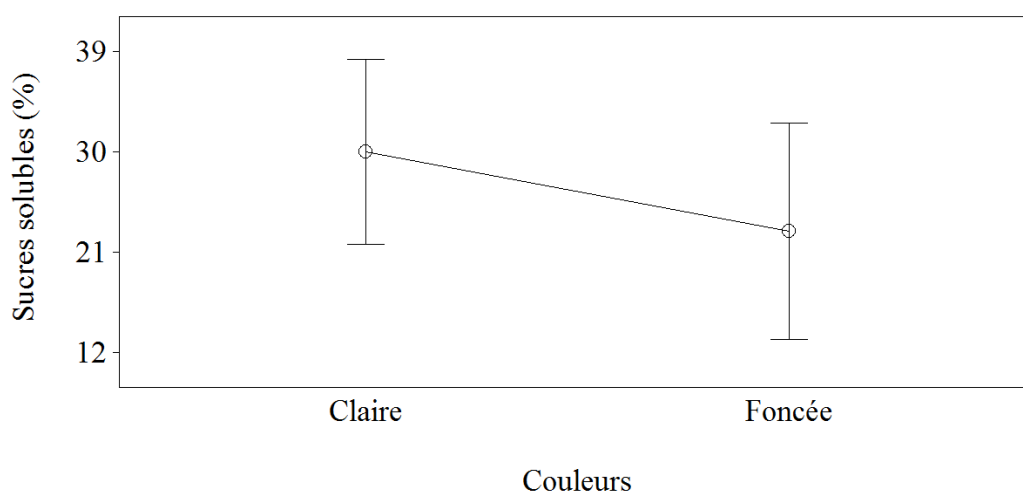
**Figure 13** : Variation de la conductivité électrique de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).

Le pH des dilutions de caroubes a été significativement variable en fonction de la couleur des gousses de caroube ( $F_{1,210} = 12,2$  ;  $P = 0,0006$ ). Les dilutions issues des gousses claires ont présenté un pH moyen de 6,17, tandis que celles qui provenant des gousses foncées a été légèrement plus élevé avec une valeur de 6,25 (**Fig.14**). Ces résultats traduisent une expression et un reflet notable de la couleur des gousses sur l'acidité de la caroube.



**Figure 14** : Variation de pH de la caroube en fonction de la couleur (claire, foncée).

Le taux des sucres solubles des gousses de caroube a été significativement variable en fonction de la couleur ( $F_{1,210} = 32,8$  ;  $P \leq 0,0001$ ). Les gousses claires ont présenté une teneur moyenne en sucres solubles de 30(%) tandis que celui des gousses foncées a été relativement plus faible, avec une valeur de 24(%) (**Fig.15**). Cette différence met en évidence l'influence de la couleur des gousses sur la richesse en sucres.

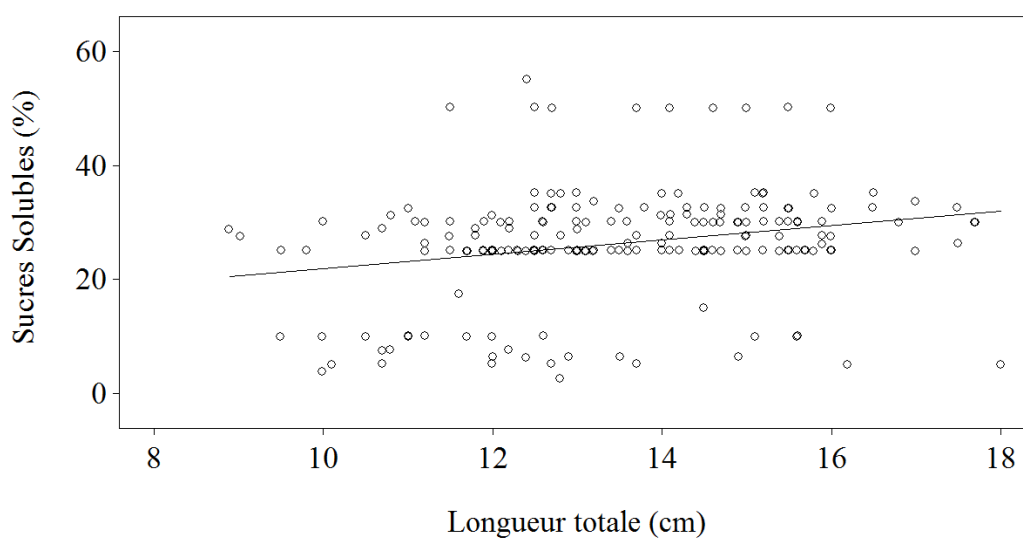


**Figure 15:** Variation des sucres solubles des gousses de la caroube en fonction de couleur.

## 5. Corrélation entre le taux de sucres et quelques paramètres morphométriques

### 5.1. Avec la longueur totale des gousses

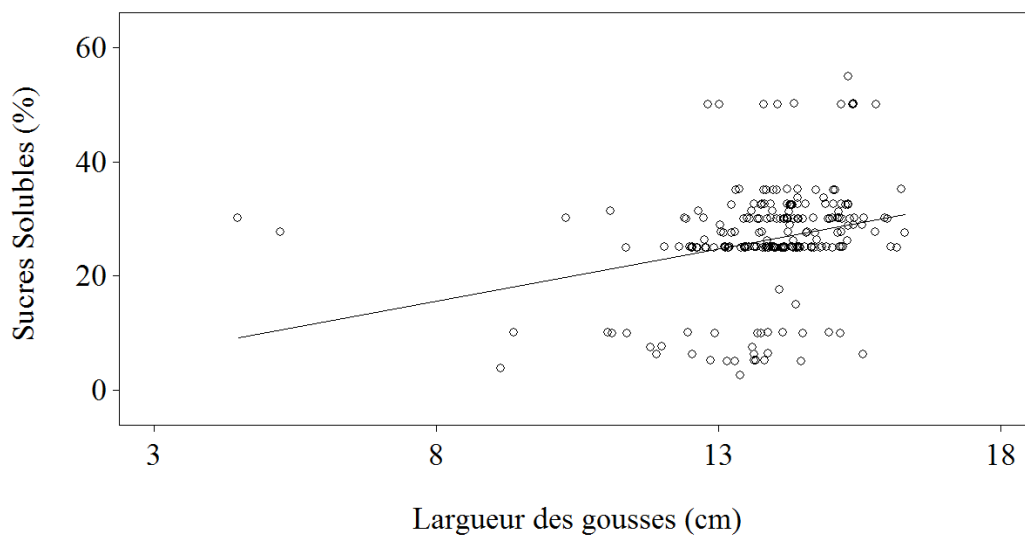
Le taux des sucres solubles a été significativement corrélé avec la longueur totale des gousses de caroube ( $r=0,3589$  ;  $ddl= 2,12$  ;  $P\leq 0,0001$ ). Le taux des sucres solubles augmente proportionnellement avec l'augmentation de la longueur totale des gousses de caroube (**Fig.16**)



**Figure16:**Relation entre la longueur totale des gousses et le taux de sucres solubles (%)

**5.2. Avec la largeur des gousses**

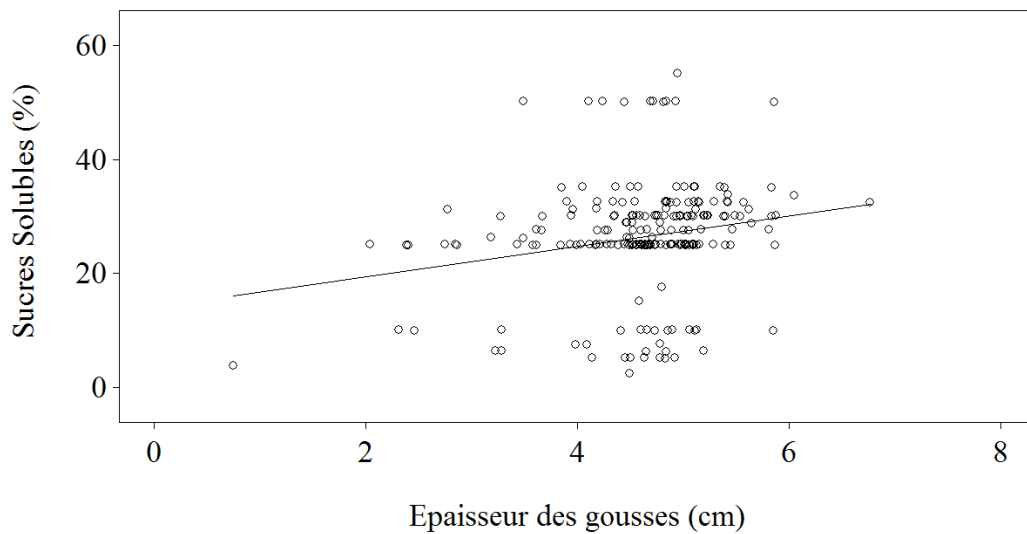
Le taux des sucres solubles a été aussi significativement corrélé avec la largeur totale des gousses de caroube ( $r=0,2689$  ;  $ddl= 2,12$  ;  $P=0,0001$ ). Les gousses les plus larges contiennent plus de sucres solubles (**Fig. 17**).



**Figure 17:**Relation entre la largeur des gousses et le taux de sucres solubles (%)

**5.3. Avec l'épaisseur des gousses**

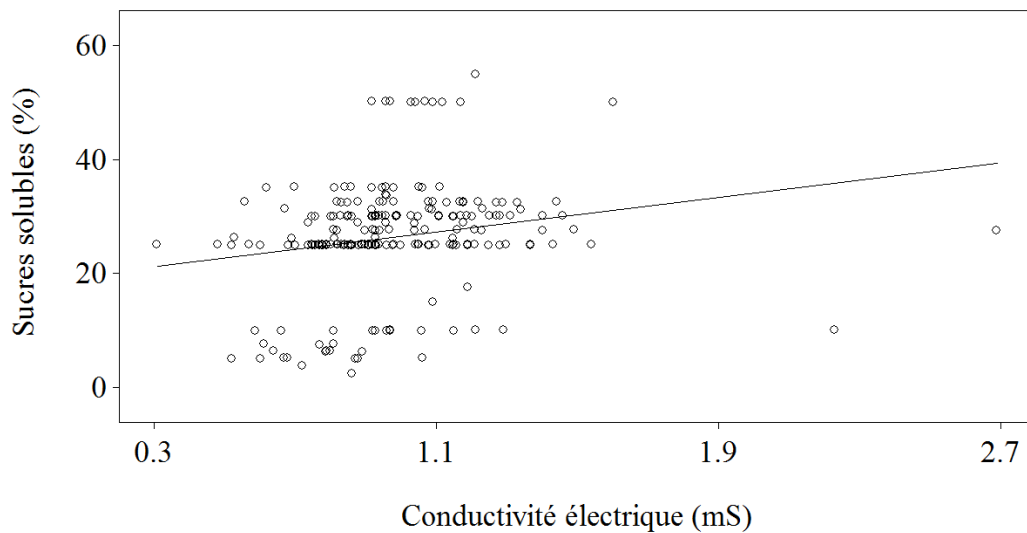
Il existe une corrélation positive et significative entre les sucres solubles et l'épaisseur des gousses ( $r = 0,1681$  ;  $ddl= 2,12$  ;  $P = 0,0140$ ). Cela signifie que plus les gousses sont épaisses, plus le pourcentage de sucres solubles est élevé (**Fig. 18**).



**Figure 18** : Relation entre l'épaisseur des gousses et le taux de sucres solubles (%)

#### 5.4. Avec la Conductivité électrique

Une autre corrélation positive et significative a été observée entre le taux des sucres solubles et la conductivité électrique ( $r = 0,2034$  ;  $ddl = 2,12$  ;  $P = 0,0029$ ). Plus la conductivité électrique (indicateur de la concentration en sels/ions dans les gousses) est élevée, plus le pourcentage de sucres solubles est élevé (**Fig.19**).



**Figure19** : Relation entre la conductivité électrique et le taux de sucres solubles (%).

## **Discussion**

---

L'objectif de cette étude a été d'étudier la relation entre les caractéristiques morphométriques avec quelques paramètres physicochimiques des gousses de caroube dans la région de Laghouat, en se concentrant sur l'effet de la taille et de la couleur.

Les résultats ont montré que la couleur des gousses influençait significativement certaines propriétés physicochimiques.

Les gousses claires présentaient une concentration en sucres solubles plus élevée (30 % contre 24 %) et une Conductivité électrique plus élevée (1,1 mS/cm<sup>3</sup> contre 0,9 mS/cm<sup>3</sup>), tandis que le pH était similaire mais légèrement plus bas dans les gousses claires (6,17 contre 6,25).

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Goulas et Aresti (2021)**, qui ont montré que le pH des gousses de caroube est corrélé à leur teneur en acides organiques, sans différence statistiquement significative entre les échantillons (pH d'environ 4,5). **Llompart et al. (2025)** ont démontré que le pH peut être affecté par la présence de composés à effet tampon, tels que les sels minéraux et certaines bases faibles, qui atténuent l'effet acidifiant des acides.

Nos résultats aussi concordent avec ceux rapportés par **Simsek et Artık (2002)** et **Papaefstathiou et al. (2018)** concernant la teneur en minéraux des dilutions de, notamment en potassium, calcium et phosphore éléments ioniques responsables de l'augmentation de la conductivité électrique des solutions nutritives.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Kabouche (2019)**, qui a constaté que les gousses plus claires peuvent contenir une teneur en sucre plus élevée. Ces résultats corroborent également les observations de **Papaefstathiou et al. (2018)** et **Boumegouas (2020)**, qui ont montré que les sucres varient avec la couleur des gousses. Ils concordent également avec ceux rapportés par **(Tounsi et al. (2020)** et **Abbès et al. (2011)** qui ont constaté que la couleur (associée au degré de maturité et aux réactions de brunissement non enzymatiques) affecte les propriétés physiques et chimiques. Les gousses plus claires sont, en effet, moins sujettes aux réactions de brunissement non enzymatiques, notamment celles de Maillard, et conservent ainsi des teneurs en sucres plus élevées.

Les teneurs en sucres simples et en minéraux solubles plus élevées des gousses plus claires peuvent s'expliquer par une concentration plus élevée en sucres simples et en minéraux solubles, tandis que les gousses plus foncées ayant subi des réactions thermiques/oxydatives présentent une teneur plus faible en ces composés solubles et une teneur plus élevée en composés de brunissement (**Toufeili et al., 2022**).

La variation des types de sucre selon la couleur est également due à l'influence des facteurs de maturation, des conditions climatiques (température, précipitations) et même des méthodes d'extraction et d'analyse (**Karkacier et Artik, 1995 ; Kumazawa et al., 2002 ; Biber et al., 2007**).

Les analyses ont montré que la taille des gousses avait un effet clair sur certains caractères, les plus grandes gousses enregistrant des teneurs en sucres solubles plus élevées (29 % contre 21 % dans les plus petites gousses) et un pH plus élevé (6,40 contre 6,05), tandis qu'aucune différence significative de la conductivité électrique n'a été observée selon la taille.

A ce niveau, nos résultats concordent avec ceux de **Papaefstathiou et al. (2018)** et **Boumegouas (2020)**, qui ont rapporté que les plus grandes gousses sont plus riches en sucres en raison de leur capacité photosynthétique et de leur accumulation de glucides plus élevées. Des études sur la caroube et le sirop de dattes (**Toufeili et al., 2022**) ont également indiqué que des teneurs en sucres plus élevées sont souvent associées à un pH légèrement plus élevé. De plus, nos résultats diffèrent de certaines études qui ont montré que des gousses plus petites peuvent parfois contenir des niveaux de sucre plus élevés (**Kabouche, 2019 ; Ghouireg, 2021**), ce qui pourrait s'expliquer par des différences entre cultivars ou des conditions climatiques (**Dlilaliet al., 2017 ; Ayaz et al., 2007**).

La taille des gousses reflète l'efficacité physiologique de l'arbre en matière de photosynthèse et d'allocation des nutriments ; par conséquent, les caroubes les plus grandes de taille sont plus matures et plus riches en sucres, ce qui explique l'augmentation des sucres solubles et le pH plus élevés. La conductivité électrique, en revanche, est restée stable car elle est davantage affectée par les concentrations en ions minéraux que par les sucres seuls.

Le Tableau 6 présente la composition physico-chimique des gousses de caroube obtenue dans le cadre du présent travail, comparée à celles rapportées par plusieurs études antérieures. On observe que la teneur en sucres solubles varie considérablement selon les auteurs, allant de 26,37 % dans le présent travail à plus de 50 % chez **Kabouche (2019) et Tounsi et al. (2020)**, ce qui pourrait être attribué aux différences de conditions climatiques, de maturité des gousses ou de méthodologies analytiques. La conductivité électrique montre également une grande variabilité, atteignant 13,54 mS/cm chez **Boumegouas (2020)**, contre 0,98 mS/cm dans cette étude, indiquant une différence dans la concentration en sels minéraux. Quant au pH, il reste globalement acide, oscillant entre 4,33 et 6,20, ce qui reflète la nature légèrement acide de la pulpe de caroube.

**Tableau 6:** Composition physico-chimique des gousses de caroube selon quelques études antérieures.

<b>Paramètre</b>	<b>Présent travail</b>	<b>Kabouche (2019)</b>	<b>Tounsi et al. 2020</b>	<b>Boumegouas 2020</b>
<b>Sucres solubles (%)</b>	26,373	50,81	51,50	35,18
<b>Conductivité électrique (mS/cm)</b>	0,9827	-	-	13,54
<b>pH</b>	6,2053	5,45	4,33	4,62

## **Conclusion**

---

Ce travail qui a examiné les gousses de caroube de la région de Laghouat et analysé leurs caractéristiques morphométriques et physicochimiques, a démontré que les gousses étudiées présentaient une variabilité morphométrique significative, leurs dimensions (longueur totale, longueur de l'arc, largeur, épaisseur et masse) différant significativement d'une gousse à l'autre. Cette variabilité morphologique a des implications directes pour l'exploitation alimentaire et technologique, la taille et la forme des gousses étant des critères essentiels de sélection et d'utilisation industrielle.

D'un point de vue physicochimique, les dilutions préparées à partir des gousses présentaient des différences significatives de pH, de conductivité électrique et de teneur en sucres solubles. Le pH variait de 5,58 à 7,05, reflétant un spectre allant de légèrement acide à presque neutre. La conductivité électrique variait de 0,31 à 2,69 mS/cm, reflétant les variations de la teneur en sels minéraux. La teneur en sucres solubles variait de 2,5 à 55 %, avec une moyenne globale de 26,37 %, témoignant de la haute valeur nutritionnelle de ce produit naturel.

Des analyses statistiques (test d'ANOVA et les corrélations de Pearson) ont montré que la taille et la couleur des gousses reflétait significativement certaines propriétés chimiques. Les gousses les plus grandes et les plus claires présentaient des concentrations en sucres plus élevées. Cette interaction préconise de privilégier, dans les opérations de tri, les gousses grandes (longue, large et épaisses) et claires comme un édulcorant de par leur richesse en sucres. Cela montre aussi que les caractéristiques morphologiques ne sont pas uniquement visuelles ; elles jouent également un rôle fonctionnel directement lié à la composition chimique du produit, étayant l'hypothèse selon laquelle la croissance et la taille des gousses sont liées à leur capacité à accumuler des composés nutritionnels.

Ces résultats sont non seulement d'une importance académique, mais aussi d'une valeur pratique significative. La caroube est une ressource locale sous-exploitée en Algérie, malgré sa richesse en sucres, fibres, minéraux et composés phénoliques. Cette étude souligne que la sélection de gousses peut contribuer à améliorer la qualité des produits dérivés tels que les sirops, les poudres et la farine utilisés comme substituts du cacao, ainsi que la gomme alimentaire (E410), largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire.

Ces résultats ouvrent également la voie à de nouvelles pistes de recherche, notamment :

- \* Élargir le champ de l'étude pour inclure des échantillons de différentes régions d'Algérie afin de comparer leurs caractéristiques environnementales.
- \* Étudier l'influence d'autres facteurs climatiques et agricoles (tels que l'humidité, la température et le type de sol) sur la qualité des gousses de la caroube.
- \* Analyser d'autres composés, tels que les composés phénoliques totaux, les antioxydants et les fibres alimentaires, afin d'évaluer la valeur nutritionnelle des produits.
- \* Explorer le potentiel de la caroube comme alternative naturelle aux sucres raffinés dans les industries agroalimentaire et pharmaceutique.

## **Références bibliographiques**

---

- **Abbès, F., Bouaziz, M. A., Blecker, C., Masmoudi, M., Attia, H., & Besbes, S. (2011).** Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physico-chemical characteristics, sensory and functional properties. *LWT – Food Science and Technology*, 44 (8), 1827–1834. [<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.020>](<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.020>)
- **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 – Transfert de Technologie en Agriculture*, 153, MAPM/DERD, Royaume du Maroc.
- **Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S., Colak, A., & Gruz, J. (2007).** Nutrient contents of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) flour prepared from pods grown in Turkey. *Food Chemistry*, 105 (4), 1480–1485. [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.030>](<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.030>)
- **Battle, I., & Tous, J. (1997).** Carob tree: *Ceratonia siliqua* L. In R. H. E. Janick (Ed.), *Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops* (Vol. 17, pp. 20–21). Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research / International Plant Genetic Resources Institute.
- **Benmahioul, B., Kaïd-Harche, M., & Daguin, F. (2011, mars).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranéenne*, (1), 51–58.
- **Beschaouch, A. (2006).** Le caroube indicateur. Vers une héraldique des sodalités africoromaines. *Comptes rendus des séances de l'Académie des inscriptions et belles-lettres*, 150 (3), 1489-1500. [<https://doi.org/10.3406/crai.2006.87199>](<https://doi.org/10.3406/crai.2006.87199>)
- **Benmahioul, B., Kaïd-Harche, M., & Daguin, F. (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt Méditerranéenne*, 32(1), 51-58. [https://www.foret-mediterraneenne.org/upload/biblio/FORET\\_MED\\_2011\\_1\\_51-58.pdf](https://www.foret-mediterraneenne.org/upload/biblio/FORET_MED_2011_1_51-58.pdf)
- **Biber, A., Ozyurt, D., & Yildiz, H. (2007).** Chemical composition of carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) grown in Turkey. *International Journal of Food*

- Sciences and Nutrition, 58 (8), 639–647.  
[<https://doi.org/10.1080/09637480701453524>]
- **Bouaziz, A., Zidi, I., & Mnif, W. (2013).** La gomme de caroube : trésor industriel ? Microbiologie, Hygiène, Aliments, 25(72), 20–23.
  - **Bouchena, C., & Ouaffai, K. (2022).** Extraction et évaluation de l'activité antifongique des molécules phytochimiques de la caroube [Mémoire de master, Université Ibn Khaldoun – Tiaret]. Université Ibn Khaldoun – Tiaret.
  - **Boumegouas B., (2020).** Influence de la taille et de la couleur des gousses sur quelques paramètres biochimiques du sirop de caroube. Mémoire. Laghouat.
  - **Baumel, A., Véla, E., Médail, F., & Diadema, K. (2020).** Chorological map of *Ceratonia siliqua* L. (Carob tree) — Updated global distribution (2020–2023). Wikimedia Commons.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ceratonia\\_siliqua\\_range.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ceratonia_siliqua_range.svg)
  - **Boussanou, M. (2023).** Production d'un substitut de chocolat à base de poudre de caroube \[Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou]. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
  - **Bressiani, J. A., & Duarte, A. P. (2008).** Morphological characterization and shape index determination of bean pods (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Botânica*, 31(2), 253–260. <https://doi.org/10.xxxxxx>
  - **Chial, N. (2020).** Le caroubier : utilisations et intérêt économique [Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie]. Université des Frères Mentouri Constantine 1.
  - **Chabane, K. (2020).** Diversité phénotypique et biochimique du caroubier en Algérie Occidentale. Mémoire de Magister, Univ. Sidi Bel Abbès
  - **Dahim, I., & Nait Larbi, A. (2018).** Contribution physico-chimique de la gousse de caroube (*Ceratonia siliqua*) [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques]. Université Mouloud Mammeri.
  - **Dahmani, W., Elaoui, N., Abousalim, A., Akissi, Z. L. E., Legssyer, A., Ziyat, A., & Sahpaz, S. (2023).** Exploring Carob (*Ceratonia siliqua* L.): A comprehensive assessment of its characteristics, ethnomedicinal uses, phytochemical aspects, and pharmacological activities. *Plants*, 12(18), 3303. <https://doi.org/10.3390/plants12183303>

- **Djeddar, L., & Madadi, T. (2024).** Caractérisation morphologique et physicochimique de la caroube \[Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou]. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, Département des Sciences Alimentaires.
- **Dilali, A., Ozturk, I., & Erbas, M. (2017).** Effect of environmental factors on biochemical composition of carob fruit (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of Food Biochemistry*, 41 (6), e12390. [<https://doi.org/10.1111/jfbc.12390>](<https://doi.org/10.1111/jfbc.12390>)
- **El Chami, M. A., Palacios-Rodríguez, G., Ordonez-Diaz, J. L., Rodríguez-Solana, R., Navarro-Cerrillo, R. M., & Moreno-Rojas, J. M. (2025).** Proximate Analysis, Total Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Carob Pod. *Applied Sciences*, 15(3), 1340. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1340>
- **FAO (2023).** Agro-Morphological Diversity of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Cultivars in Sicily. AGRIS Database. <https://agris.fao.org>
- **Gillet, S., Simon, M., Paquot, M., & Richel, A. (2014).** (A) Synthèse bibliographique de l'influence du procédé d'extraction et de purification sur les caractéristiques et les propriétés d'une gomme de caroube. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 18 (1), 1–12.
- **Gillet, S., Blecker, C., Paquot, M., & Richel, A. (2014).** (B) Relationship between chemical structure and physical properties in carob galactomannans. *Comptes Rendus Chimie*, 17(5), 386–401. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2013.09.014>
- **Goulas, V., & Aresti, P. (2021).** Physicochemical properties of carob syrup reveal D-pinitol as an index of sucrose supplementation. *Food and Environment Safety – Journal of Faculty of Food Engineering, Ștefancel Mare University of Suceava*, 20(3), 205–210. [<https://doi.org/10.4316/fens.2021.023>](<https://doi.org/10.4316/fens.2021.023>)
- **Growables (2022).** Carob Varieties and Cultivation Guide. <https://www.growables.org/information/TropicalFruit/Carob.htm>

- **Ghouireg, H. (2021).** Étude de la relation entre les caractéristiques phénotypiques et quelques paramètres biochimiques du sirop de la caroube [Mémoire de master, Université Amar Thelidji - Laghouat].
- **Kabouche, N. (2019).** Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des siliques de la caroube (*Ceratonia siliqua* L.) \[Mémoire de Master, Université Amar Thelidji-Laghouat]. Faculté des Sciences, Département des Sciences Agronomiques.
- **Karkacier, M., & Artik, N. (1995).** Composition chimique des gousses de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) cultivées en Turquie. *Fruits*, 50 (2), 99–106.
- **Kocherane, R., Krouchi, F., & Derridj, A. (2019).** Genetic resources of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Algeria: Insight from pod and seed morphology. *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1581–1600. <https://www.agrobiologia.net>
- **Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M. S., & Nakayama, T. (2002).** Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (2), 373–377. [<https://doi.org/10.1021/jf010938r>](<https://doi.org/10.1021/jf010938r>)
- **Lagha-Benamrouche, S., & Hezil, D. (2024).** Valorization of Algerian food by-products in animal feed. [Étude sur l'exploitation du caroubier dans la région tellienne]. (Nom de la revue si disponible).
- **Llompert, B., Dalmau, E., Umaña, M., & Femenia, A. (2025).** Physicochemical characterization and antioxidant properties of cellulose-rich extracts obtained from carob (*Ceratonia siliqua* L.) pulp for preparation of cellulose-rich gels. *Gels*, 11(2), 145. <https://doi.org/10.3390/gels11020145>
- **Loumani, Z. (2024).** Morphobiometric characterisation of carob tree pods cultivated in Algeria and evaluation of physicochemical, nutritional, and sensory properties of their powders. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B*, 78(2), 153–163. <https://doi.org/10.2478/prolas-2024-0023>
- **Makris, D. P., & Kefalas, P. (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 105–108

- **Mahdad, Y. M., & Gaouar, S. B. S. (2016).**Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-Ouest de l'Algérie : Situation et perspectives d'amélioration. Éditions Universitaires Européennes. ISBN 978-3-639-54203-5
- **Maghreb Emergent. (2025, juillet).** La culture du caroubier en Algérie : un potentiel encore inexploité. <https://maghrebemergent.news/fr/la-culture-du-caroubier-en-algerie-un-potentiel-encore-inexploite/>
- **Mebirouk-Boudechiche, L., Bouhedja, N., Boudechiche, L., & Miroud, K. (2015).** Essai d'une complémentation alimentaire au flushing et au steaming de brebis OuledDjellal par la caroube. *Archivos de Zootecnia*, 64 (248), 449–455. (<https://doi.org/10.21071/az.v64i248.400>)
- **Nasar-Abbas, S. M., Siddique, K. H. M., Stone, R., & Dods, K. (2016).** Physicochemical and functional properties of carob (*Ceratonia siliqua* L.) powder and its food applications: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1956-1>
- **Ortiz, P. L., Arista, M., & Talavera, S. (1996).**Producción de néctar y frecuencia de polinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 54, 540–546.
- **Papaefstathiou, E., Agapiou, A., Giannopoulos, S., & Kokkinofta, R. (2018).**Nutritional characterization of carobs and traditional carob products. *Food science & nutrition*, 6(8), 2151-2161.
- **Retana J., Ramoneda J. & Garcia delPino F. (1990).** Importance des insectes dans la pollinisation des caroubiers. *Bulletin phytosanitaire :Ravageurs*, 16 : 143–150.
- **Sallouh, M., & Nouioui, I. (2019).** Étude de quelques propriétés chimiques et biologiques de la caroube Algérienne (Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra). Université Mohamed Khider de Biskra.
- **Simsek, O., & Artık, N. (2002).** Chemical composition of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) and its products. *Food/Nahrung*, 46 (6), 385–387. [[https://doi.org/10.1002/15213803\(20021101\)46:6](https://doi.org/10.1002/15213803(20021101)46:6)](<https://doi.org/10.1002/1521-3803%2820021101%2946:6%3C385::AID-FOOD385%3E3.0.CO;2-7>)
- **Toufeili, I., Acem, K., Abdelhamid, D., Khedim, K., Lagraa, I., Bassal, A., Jammal, B., & Shaker, R. (2022).** Chemical and antioxidant profiles of carob

- syrup in comparison with date and maple syrups. *Food Technology and Biotechnology*, 60(2), 266–278.
- **Toumi, S., Acem, K., Abdelhamid, D., Khedim, K., Lagraa, I., and Toufeili, I., Bassal, A., Jammal, B., & Shaker, R. (2022).** Chemical and antioxidant profiles of carob syrup in comparison with date and maple syrups. *Food Technology and Biotechnology*, 60(2), 266–278. <https://doi.org/10.17113/ftb.60.02.22.7404>
  - **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
  - **Thomas, P. A., Garcia-Martí, X., Mukassabi, T. A., & Tous, J. (2024).** International Biological Flora: *Ceratonia siliqua*. *Journal of Ecology*, 112, 1885–1922. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14325>
  - **Yassine, M. M. (2021).** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier. Mémoire de master, Algérie. <https://bucket.theses-algerie.com/files/repositories-dz/3236088092855787.pdf>