



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



**Université Amar Thelidji–Laghouat**

**FACULTE DES SCIENCES**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

**MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : KABOUCHE Nadia**

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

**FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES**

**OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTRÔLE DE QUALITE**

**Thème**

**Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques  
phénotypiques et physico-chimiques des siliques de la caroube**

**Jury de soutenance :**

**Soutenance le: 22/06/2019**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
Dr. Goudjal Yacine	M.C.A	Président
Dr. Houicher Abderrahmane	M.C.A	Examineur
Dr. Adamou Ala-Eddine	M.C.A	Rapporteur

**Promotion : Juin - 2019**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail avec toute mon affection:*

*À mon très cher père et À ma très chère mère, Quoi que je fasse ou que je dise, je ne peux pas vous remercier comme il se doit, vous avez toujours été avec moi pour me soutenir et m'encourager. Ce travail peut exprimer ma gratitude et ma passion.*

*À mes très chers frères Ahmed, Tayeb et Ossama*

*À mes belles sœurs Fatima et Wissam.*

*Aux enfants de ma sœur Doaa, Rihab et Lokman.*

*À toute la famille Kabouche.*

*À mes amis (es) particulièrement Rihab et Safa.*

*À tous mes enseignants tout au long de mes études.*

*À toutes mes collègues de la promotion contrôle de qualité  
2019.*

*Nadia*

## Remerciements

Je remercie « **Dieu** » le tout puissant de m'avoir donné sagesse, courage et santé pour faire ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à mon promoteurs **Dr. Adamou Ala-Eddine**, Maître de conférences "A", à l'Université Amar Theliidji-Laghout, d'avoir proposé et dirigé ce travail et pour ses conseils et son assistance.

Je remercie particulièrement, **Dr. Goudjal Y**, Maître de conférences "A", à l'Université Amar Theliidji-Laghout, d'avoir accepté présider ma soutenance.

Je remercie également **Dr. Houicher A**, Maître de conférences "A", à l'Université Amar Theliidji-Laghout, d'avoir accepté examiner mon travail.

Je remercie tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire et pour les conseils qu'ils nous ont donnés.

Sans toutefois oublier le personnel des laboratoires d'agronomie et de biologie de l'Université de Laghout, et spécialement **Mlle Renane** et **Mme Taybi**, pour leur aide au cours des manipulations au laboratoire.

Enfin, je tiens à remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

## Liste des abréviations

- **CDF** : Conservation Des Forêts
- **D.P.A.T** : Direction Planification d'Aménagement de Territoire
- **E410** : épaississant
- **FAO** : Food and Agriculture Organization
- **LBG**: Locust Bean Gum
- **MM** : Matière Minérale
- **MO** : Matière Organique
- **MS** : Matière Sèche
- **ONM** : Office National de Métrologie
- **PPO** : Polyphénol Oxydase
- **PT** : Protéine totale
- **SS** : Sucre Soluble

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure 1	Arbre de caroubier au bord d'une route de la ville de Laghouat.	3
Figure 2	Feuille composée du caroubier.	5
Figure 3	Fleurs du caroubier.	5
Figure 4	Pulpe concassée et graines du caroubier.	6
Figure 5	Gousses de caroubier.	7
Figure 6	Coupe transversale d'une graine de caroube.	7
Figure 7	Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde.	10
Figure 8	Répartition du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques.	11
Figure 9	Poudre de caroube.	15
Figure 10	Situation géographique de la wilaya de Laghouat.	19
Figure 11	Localisation de la plante de caroubier dans la rue "Snobar" (Centre-ville Laghouat) (Google earth, 2019)	23
Figure 12	Schéma du protocole expérimental des analyses des caroubes.	24
Figure 13	Présentation des différentes couleurs des gousses : A : marron claire, B: marron foncé, C:brune, D:brune foncée, E: acajou et F: chocolatée.	29
Figure 14	Présentation des différentes formes des gousses : A : forme droite, B : légèrement courbée et C : forme courbée.	29
Figure 15	Variation de l'humidité (%) des siliques de la caroube de différentes tailles.	32
Figure 16	Variation de matière minérale (%) des siliques de la caroube de différentes tailles.	33
Figure 17	Variation de matière organique (%) des siliques de la caroube de différentes tailles.	33
Figure 18	Variation des protéines totales (%) des siliques de la caroube de différentes tailles.	34
Figure 19	Variation des sucres solubles (%) des siliques de la caroube de différentes tailles.	34
Figure 20	Variation de l'indice de brunissement des siliques de la caroube de différentes tailles.	35
Figure 21	Variation du ph des siliques de la caroube de différentes tailles.	35

Figure 22	Variation de l'humidité (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées).	36
Figure 23	Variation de matière minérale (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées).	36
Figure 24	Variation de matière organique (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées).	37
Figure 25	Variation des protéines totales (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées).	37
Figure 26	Variation des sucres solubles (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées).	38
Figure 27	Variation du ph des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées).	39
Figure 28	Relation entre le taux des sucres solubles et la masse des siliques de caroube.	40
Figure 29	Relation entre le taux des sucres solubles et la longueur totale des siliques de caroube.	41
Figure 30	Relation entre l'indice de brunissement et le ph des siliques de caroube.	42
Figure 31	Relation entre l'indice de brunissement et la teneur en matière minérale des siliques de caroube.	42
Figure 32	Relation entre l'indice de brunissement et la teneur en protéine totale des siliques de caroube.	43

## Liste des Tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau 1	Composition chimique de la caroube.	8
Tableau 2	Superficie occupée par le caroubier.	12
Tableau 3	Production mondiale de la caroube.	12
Tableau 4	Températures moyennes mensuelles de la région de Laghouat entre 2009-2018.	21
Tableau 5	Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat entre 2009-2018.	22
Tableau 6	L'humidité moyenne mensuelle de la région de Laghouat entre 2009-2018.	22
Tableau 7	Caractéristiques phénotypiques des siliques de la caroube de la région de Laghouat.	30
Tableau 8	Caractéristiques physico-chimiques des siliques de la caroube de la région de Laghouat.	31
Tableau 9	Paramètres phénotypiques des gousses de caroube de différents pays.	46
Tableau 10	Paramètres physico-chimiques des gousses de caroube l'Algérie et celles du Liban.	47

## Sommaire

<i>Introduction</i> .....	<i>01</i>
---------------------------	-----------

### Partie Bibliographique

<b>1. Le caroubier</b> .....	<b>03</b>
1.1. Étymologie .....	04
1.2. Classification botanique .....	04
1.3. Description botanique du caroubier .....	04
1.4. Description et composition du fruit du caroubier .....	06
1.5. Composition de la caroube .....	08
1.5.1. Composition chimique .....	08
1.5.2. Composition biochimique de farine de caroube .....	08
1.6. Influence des facteurs édapho-climatiques sur le caroubier .....	09
<b>2. Origine et répartition géographique du caroubier</b> .....	<b>09</b>
2.1. Origines .....	09
2.2. Répartition géographique dans le monde .....	10
2.3. Distribution géographique en Algérie .....	11
<b>3. Production du caroubier</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Intérêts et utilisations du caroubier</b> .....	<b>13</b>
4.1. L'importance du caroubier .....	13
4.1.1. Importance économique .....	13
4.1.2. Importance écologique .....	14
4.2. Utilisation de la caroube .....	14
4.2.1. Dans le secteur agro-alimentaire .....	14
4.2.2. Médicale .....	15
4.2.3. Cosmétique .....	15
4.2.4. Chimique .....	15
4.2.5. Écologie .....	16
4.2.6. Alimentation animale .....	16
<b>5. Transformation des caroubes</b> .....	<b>16</b>

<b>6. Valorisation des sous-produits de la caroube .....</b>	<b>17</b>
6.1. La pulpe (substitut de chocolat) .....	17
6.2. Gomme extraite à partir des graines .....	17
<b>7. Effets des produits de caroube .....</b>	<b>18</b>
7.1. Effets sur la santé .....	18
7.2. Effets indésirables des produits de caroube .....	18

### *Matériel et Méthodes*

<b>1. Présentation générale de la région de Laghouat .....</b>	<b>19</b>
1.1. Situation géographique .....	19
1.2. Nature des sols .....	20
1.3. Hydrographie .....	20
1.4. Climat de la région de Laghouat .....	21
1.4.1. Températures .....	21
1.4.2. Précipitations .....	22
1.4.3. Humidité .....	22
<b>2. Présentation du site .....</b>	<b>23</b>
<b>3. Méthodologie .....</b>	<b>24</b>
3.1. Échantillonnages .....	24
<b>4. Paramètres d'analyse de la valeur nutritive .....</b>	<b>25</b>
4.1. Paramètres phénotypiques .....	25
4.1.1. Longueur totale .....	25
4.1.2. Longueur de l'arc .....	25
4.1.3. Largeur.....	25
4.1.4. Indice de taille .....	25
4.1.5. Masse.....	25
4.2. Paramètres physico-chimiques .....	26
4.2.1. Matière sèche et l'humidité .....	26
4.2.2. Matière minérale et organique .....	26
4.2.3. Protéines totale .....	27
4.2.4. Sucres totaux .....	28
4.2.5. Indice de brunissement .....	28
4.2.6. pH .....	28

<b>5. Analyses statistiques .....</b>	<b>28</b>
---------------------------------------	-----------

### Résultats

<b>1. Caractéristiques de la caroube .....</b>	<b>29</b>
1.1. Aspect des gousses.....	29
1.2. Caractéristiques des paramètres phénotypiques .....	30
1.2.1. Masse initiale des gousses de la caroube .....	30
1.2.2. Longueur totale des gousses de la caroube .....	30
1.2.3. Longueur de l'arc des gousses de la caroube .....	30
1.2.4. Largeur des gousses de la caroube .....	30
1.2.5. Indice de taille des gousses de la caroube .....	30
1.3. Caractéristiques des paramètres physico-chimiques .....	31
1.3.1. Matière sèche et teneur en eau .....	31
1.3.2. Matière minérale et organique .....	31
1.3.3. Protéine totale .....	31
1.3.4. Sucres solubles .....	31
1.3.5. Indice de brunissement .....	31
1.3.6. pH .....	31
<b>2. Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypiques .....</b>	<b>32</b>
2.1. Taille .....	32
2.1.1. Teneur en eau .....	32
2.1.2. Matière minérale et matière organique .....	32
2.1.3. Protéines totales .....	34
2.1.4. Sucres solubles .....	34
2.1.5. Indice de brunissement .....	35
2.1.6. pH .....	35
2.2. Couleur .....	36
2.2.1. Teneur en eau .....	36
2.2.2. Matière minérale et matière organique .....	36
2.2.3. Protéines totales .....	37
2.2.4. Sucres solubles .....	38
2.2.5. pH .....	39

<b>3. Corrélations des caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des siliques de caroube .....</b>	<b>40</b>
3.1. Variation des sucres solubles en fonction de la masse .....	40
3.2. Variation des sucres solubles en fonction de la longueur totale .....	40
3.3. Variation de l'indice de brunissement en fonction du pH .....	41
3.4. Variation de l'indice de brunissement en fonction de la teneur en matière minérale ...	42
3.5. Variation de l'indice de brunissement en fonction de la teneur en protéines totales....	43

#### **Discussion**

Discussion.....	44
-----------------	----

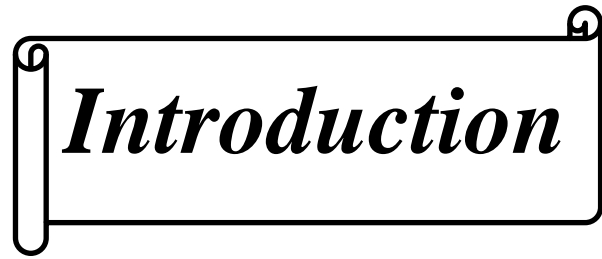
#### **Conclusion**

Conclusion.....	48
-----------------	----

#### **Références bibliographiques**

Références bibliographiques .....	50
-----------------------------------	----

#### **Résumé**



***Introduction***

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce agro-sylvo-pastorale connue dans le bassin méditerranéen, ayant d'énormes intérêts socioéconomiques et écologiques (Batlle et Tous, 1997; Gharnit et al., 2001), acclimatée et cultivée sous ses latitudes depuis la plus haute antiquité, et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. (Batlle et Tous, 1997). Son importance est considérablement accrue ces dernières années, de par le développement industriel de la caroube, devenue une matière première indispensable dans le secteur agroalimentaire (Sbay, 2008).

Toutes les composantes de l'arbre (feuille, fleur, fruit, bois, écorce et racine) sont utiles et ont de la valeur dans plusieurs domaines. elle sont utilisées en industrie alimentaire (épaississant connu sous le code normalisé E410) (Battle et Tous, 1997 ; Gonçalves et al., 2005), en biologique (milieu de culture pour les bactéries) (Hariri et al., 2009), en thérapeutique (anti-diarrhéique ; hypoglycémiantes) (Hariri et al., 2009), en cosmétique et pharmaceutique (agent épaississant, gonflant, liant et stabilisant dans les préparations des émulsions) (Calixto et Canellas, 1982 ; Sandolo et al., 2007), en écologique (le caroubier est utilisé dans la protection des sols contre la dégradation et dans la lutte contre la désertification) (Rajeb, 1995), et en agronomie (arbre ornemental ; brise-vent) (Benmahioul et al., 2011 ).

La pulpe est souvent grillée et broyée pour obtenir une poudre de couleur marron à arôme de chocolat. Pour l'exploiter en usage multiple, Elle est très riche en sucres (40-60%) en particulier en saccharose (27-40%), fructose (3-8%) et glucose (3-5%), mais pauvre en lipides (0,4-0,6%) ou protéines (2-6%) (Leroy, 1929 ; Avallone et al., 1997). Elle présente également une teneur très élevée en fibres (27-50%) et une quantité non négligeable de tanins (Saura-Calixto, 1988). Elle présente l'avantage d'être exempte de théobromine et de caféine, contrairement au cacao qui en contient des quantités importantes (Yousif et al., 2000).

La production mondiale de la caroube est essentiellement concentrée en Espagne, Italie, Maroc, Portugal, Grèce, Turquie, puis l'Algérie, et en dernier la Tunisie, la productivité varie entre 181000 à 318000 tonnes entre 2004 et 2010, où la production de caroube en Algérie en 2010 a été la plus élevée avec 18000 tonnes (FAO, 2010).

Cette production, suscite actuellement plus d'intérêt en Algérie, où les industriels se disputent le marché international, en vue de son exportation sous forme de farine tirée de la pulpe et des graines pour leur culture agricole.

Les caractéristiques phénotypiques (taille, coulure), sont un outil incontournable dans la classification des organismes vivants, ils ont été largement exploitées, jusqu'au nos jours pour des fins taxonomiques (Stuessy, 1990).

Les caractères morphologiques sont généralement quantitatifs comprennent d'une part des mesures biométriques (taille et forme des gousses,....etc), et d'autre part des données qualitatives comme la couleur des gousses (Batlle et Tous, 1997; Gharnit et *al.*, 2004). Les différents traits phénotypiques sont très importants pour sélectionner le type de caroubier pour des fins agro-industrielles, ils peuvent affecter la qualité et la productivité des caroubes (Tous et *al.*, 1995; Batlle et Tous, 1997; Gharnit et *al.*, 2001).

La valeur nutritive des siliques de la caroube peut varier avec les caractéristiques phénotypiques, de ce fait la taille et la couleur peuvent être utilisée comme indicateur pour apprise la valeur nutritive.

L'objectif du présent travail est de déterminer la composition chimique selon l'aspect et la morphologique de chaque caroube. Pour évaluer la valeur nutritive des siliques de caroube, afin de revaloriser ce patrimoine végétal qui est actuellement négligé. Avec mettre en évidence l'importance du tri, la sélection et les facteurs discriminants à différents types de gousses de caroube, Et ainsi pour permettant l'amélioration du produit agroalimentaire.

A decorative horizontal scroll with a black outline and a white fill. The scroll is slightly curved at the ends, with the top edge curving upwards and the bottom edge curving downwards. The text is centered within the scroll.

*Partie Bibliographique*

## 1. Le caroubier

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) appartient à la famille des légumineuses Fabacées. C'est un arbre spontané ou cultivé. Il tolère bien la sécheresse et il est d'une grande importance économique (Correia et Martins Louçao, 1995 ; Gharnit et *al.*, 2006).

C'est un arbre de croissance lente, d'une longévité importante dépassant souvent les 200 ans (Battle et Tous, 1997 ; Yousif et Alghzawi, 2000; Rejeb et *al.*, 1994). Il est largement cultivé dans les régions méditerranéennes à des fins ornementales et industrielles et nécessite peu d'entretien (Fig. 1).



**Figure 1** : Arbre de caroubier au bord d'une route de la ville de Laghouat (Photo personnelle, 2019).

## 1.1. Étymologie

Le caroubier est appelé scientifiquement *Ceratonia siliqua* L., inspiré du mot grec "Keras" (corne) et du mot latin "siliqua" ou "gousse" et fait référence à la dureté et à la forme du fruit. (Battle et al., 1996).

Le nom de la caroube varie d'un pays à l'autre, cela a conduit à l'apparition de nombreux des étiquettes ; tels que dialectal kharouv, originaire de l'hébreu, Kharroub en arabe, algarrobo en espagnol, carrubo en italien, caroubier en français, ....etc (Boudy, 1950).

## 1.2. Classification botanique

Cette espèce appartient au genre *Ceratonia* de la sous-famille des Caesalpinioïdæ, de la famille des Fabaceae (Légumineuses), qui fait partie de l'ordre des Fabalae (Rosales), Classe des Magnoliopsida (Quezel et Santa, 1962). Certains auteurs ont désigné *Ceratonia* comme étant l'un des genres les plus archaïques des légumineuses (Tucker, 1992), et qui serait complètement isolé des autres genres de sa famille (Zohary, 1973).

## 1.3. Description botanique du caroubier

### 1.3.1. Arbre

*Ceratonia siliqua* L., est un arbre dioïque et parfois hermaphrodite, peut atteindre une quinzaine de mètres de hauteur (Quezel et Santa, 1962). Il possède une cime très étalée et arrondie. Le tronc est épais, très crevassé, tortueux comme l'olivier, car le caroubier pousse aussi lentement et vit longtemps, jusqu'à 200 ans avec un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 mètres de circonférence. Cette espèce ligneuse a une écorce lisse et grise à l'âge juvénile et brune, rugueuse à l'âge adulte. Son bois est blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune et devient rose veiné puis rouge foncé et dur en vieillissant (Ait Chitt et al., 2007).

### 1.3.2. Feuille

Ses feuilles persistantes sont assez grandes (10 à 20 cm de longueur), composées de 4 à 10 folioles ovales ou elliptiques (3 à 7 cm de longueur) opposées, de couleur verte luisante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (Fig. 2). Le caroubier perd ses feuilles tous les deux ans, au mois de juillet. Cet arbre développe un système racinaire pivotant, qui peut atteindre 18 m de profondeur (Aafi, 1996).



**Figure 2 :** Feuille composée du caroubier (Photo personnelle, 2019).

### 1.3.3. Fleur

Les fleurs sont verdâtres, dont on distingue trois formes de fleurs (fleurs mâles, fleurs femelles et fleurs hermaphrodites) (Rejeb, 1994 ; Konaté et *al.*, 2007), de petite taille de 6 à 16 mm de longueur (Fig. 3), spiralées et réunies en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires, plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles elles se sont développées (Batlle et *al.*, 1996).



**Figure 3 :** Fleurs du caroubier (Photo personnelle, 2019).

#### 1.4. Description et composition du fruit du caroubier

Ce sont des gousses de grande taille de 10 à 30 cm de longueur de 1,5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2 cm d'épaisseur. Chaque caroube pèse environ 15 à 30 grammes (Fig. 4). La gousse est séparée à l'intérieur par des cloisons, pulpeuses et renferme 12 à 16 graines brunes, de forme ovoïde aplatie, et très dures dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm (Batlle et Tous, 1997). La pulpe jaune pâle contenue dans les gousses est farineuse et sucrée à maturité, comestible, au goût chocolaté. La taille et le poids de ces graines étant assez réguliers, elles ont servi d'unité de mesure dans l'antiquité.

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, correspondant à trois stades de développement :

- le premier stade est caractérisé par une lente croissance en automne et en hiver ;
- le second correspond à un développement actif et une croissance rapide des gousses au printemps ;
- au dernier stade, la gousse mûrit et se durcit en juin-juillet (Benmahioul et *al.*, 2011).



**Figure 4 :** Gousses de caroubier (Photo personnelle, 2019).

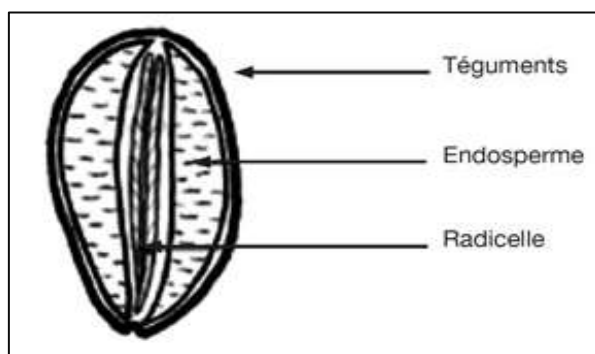
La pulpe et les graines sont les deux principaux constituants de la gousse mûre du caroubier (Fig. 5) et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total (Gabriela Bernardo-Gila, 2011).



**Figure 5 :** Pulpe concassée et graines du caroubier (Photo personnelle, 2019).

Les graines de caroube sont constituées de trois éléments principaux (Fig. 6) :

- **Les téguments:** Cette coque représente 30 à 33 % du poids sec de la graine (Neukom, 1988). C'est une enveloppe résistante de couleur brune (Dakia et *al.*, 2007).
- **L'endosperme :** Il représente 40 à 50 % du poids de la graine, se trouve entre les téguments et la radicelle et constitue la matière de base utilisée dans la fabrication de la gomme de caroube (Neukom, 1988). Il s'agit de polysaccharides de réserve que l'on retrouve dans l'endosperme translucide de nombreuses graines de plantes légumineuses dont celles de caroube. Ces polysaccharides sont appelés galactomannanes (Daas et *al.*, 2000). Leur fonction est de servir de réserve de nourriture à l'embryon lors de la germination.
- **L'embryon (radicelle):** Se trouve au centre de la graine, il représente entre 23 et 25 % du poids sec de la graine (Neukom, 1988). Celui-ci possède une valeur énergétique élevée due à son taux important de protéines principalement solubles dans l'eau et de lipides majoritairement insaturés (Dakia et *al.*, 2007). La radicelle contient également un certain nombre d'enzymes (Dea et *al.*, 1975).



**Figure 6 :** Coupe transversale d'une graine de caroube (Dakia et *al.*, 2008).

## 1.5. Composition de la caroube

### 1.5.1. Composition chimique

Selon plusieurs auteurs (Avallone et *al.*, 1997; Makris et Kefalas, 2004; Dakia, 2011), la pulpe de la caroube contient de taux important des protéines, sucres, matière minérale....etc. (Tab. 1). Leurs teneurs dépendent en général du cultivar, de l'origine et parfois de la période de la récolte (Kaderi et *al.*, 2014).

**Tableau 1** : Composition chimique de la caroube (Biner et *al.*, 2007).

La pulpe 90%	Valeurs (%)	La graine 10%	Valeurs (%)
Glucides	48 à 72	L'enveloppe tégumentaire (cuticule)	30 - 33
Protéines	1 à 2		
Matières grasses	0,5 à 0,7		
Cellulose et hémicellulose	18	L'endosperme (albumen)	42 - 46
Minéraux (Ca, Mg, k, P)	2 à 3		
Pectines et fibres	4,2 à 9,6	L'embryon (germe)	23 - 25
Cendres	1,5 à 2,4		
Polyphénols	16 à 20		

### 1.5.2. Composition biochimique de la farine de caroube

La farine des gousses est acclamée comme un ingrédient d'une valeur nutritionnelle marquée en raison de ses niveaux élevés de "fibres alimentaires" et de "composé phénoliques". Cette farine est composée de 48 à 56 % de sucre totaux, 32 à 38% de sucrose, 5 à 6 % de glucose, 5 à 7% de fructose, 18 à 20% de tannins, 18% de polysaccharides non aminés, 0.3 à 0.6% de lipides et 7 % de protéines. Elle contient aussi des acides aminés essentiels, à savoir (par 100g de matière sèche) : Isoleucine 0,209 g, Leucine 0,442g, lysine 0,196g, Méthionine 0,081g, Phénylalanine 0,151g, Thréonine 0,271g, Tryptophane 0,048g, Valine 0,446g (Owen et *al.*, 2003 ; Herber et Galensa, 2004).

## **1.6. Influence des facteurs édapho-climatiques sur le caroubier**

Le caroubier, dont l'aire de répartition s'étend dans les secteurs des plateaux et en moyennes montagnes jusqu'à 1700 m d'altitude, est indifférent à la nature du substrat, Il tolère les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocailleux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH varient entre 6,2 jusqu'à 8,6, mais il craint les sols acides et très humides (Baum, 1989 ; Sbay et Abrouch, 2006 ; Zouhair, 1996).

Le caroubier est une espèce typique de la flore méditerranéenne, bien définie dans l'étage humide, subhumide et semi-aride. Le caroubier préfère les sols calcaires, bien drainés et aérés et pas trop argileux. Il redoute les gelées printanières dans certaines localités. Sa croissance est d'autant plus lente qu'il est placé dans de mauvaises conditions.

La sécheresse cyclique a révélé que le caroubier résiste mieux au manque d'eau que le chêne vert, le thuya et l'oléastre qui lui sont associés. C'est une essence, très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm/an) mais pas au froid.

L'arbre fixe l'azote de l'air et résiste aux maladies et au feu, Il joue un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion et dans la lutte contre la désertification (Zouhair, 1996).

## **2. Origine et répartition géographique du caroubier**

### **2.1. Origines**

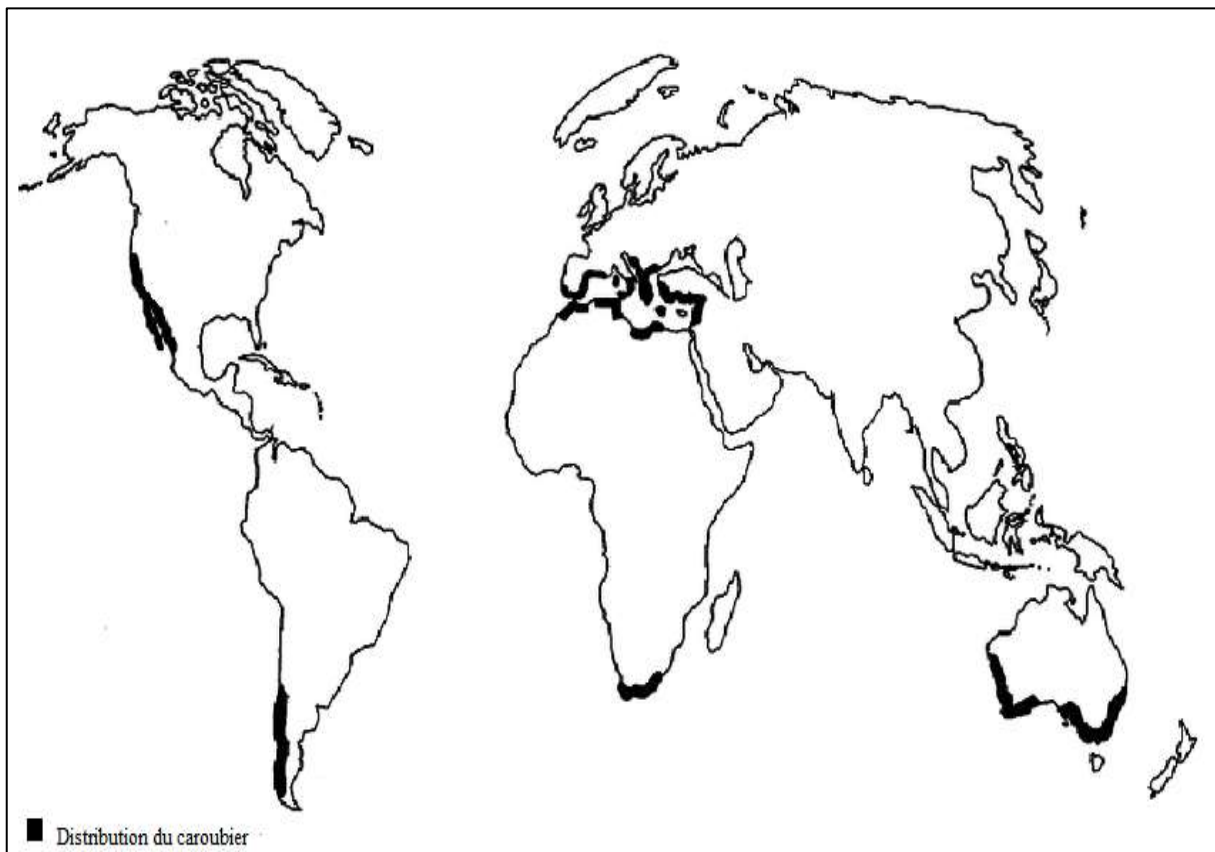
Elles ne sont pas précises. Il existe une divergence d'opinions sur le lieu d'origine du caroubier où demeure incertain. Schweinfurth (1894) a insinué qu'il est originaire du Sud de l'Arabie (Yémen). Cependant, Zohary (1973) a considéré le caroubier comme originaire de la flore d'Indo Malaisie, comme Vavilov (1951) et De Candolle (1983), ont rapporté qu'il serait natif de la région Est méditerranéenne (Turquie et Syrie).

Le caroubier était connu dans le proche Orient et les îles de la Méditerranée. En Egypte, les pharaons utilisaient la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIe siècle avant J.C.). Cette espèce ligneuse a été domestiquée de puis le néolithique (4000 ans avant J.C.), et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. (Batlle et Tous, 1997). Il a été considéré comme unité de poids pour peser les diamants, les perles et d'autres pierres précieuses [(1 carras = 205,3 mg)] (Rajeb, 1995).

## 2.2. Répartition géographique dans le monde

Selon Konate 2007, le caroubier est étendu, à l'état sauvage, en Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Palestine, Sud de Jordanie, Egypte, Arabie, Tunisie et Libye avant d'atteindre l'Ouest de la méditerranéen. Le caroubier a d'abord été propagé par les grecques, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce et en Italie, en Espagne et au Portugal (Rejeb, 1995 ; Gharnit, 2003), ensuite il a été introduit en Amérique du Sud, du Nord et en Australie par les Espagnols.

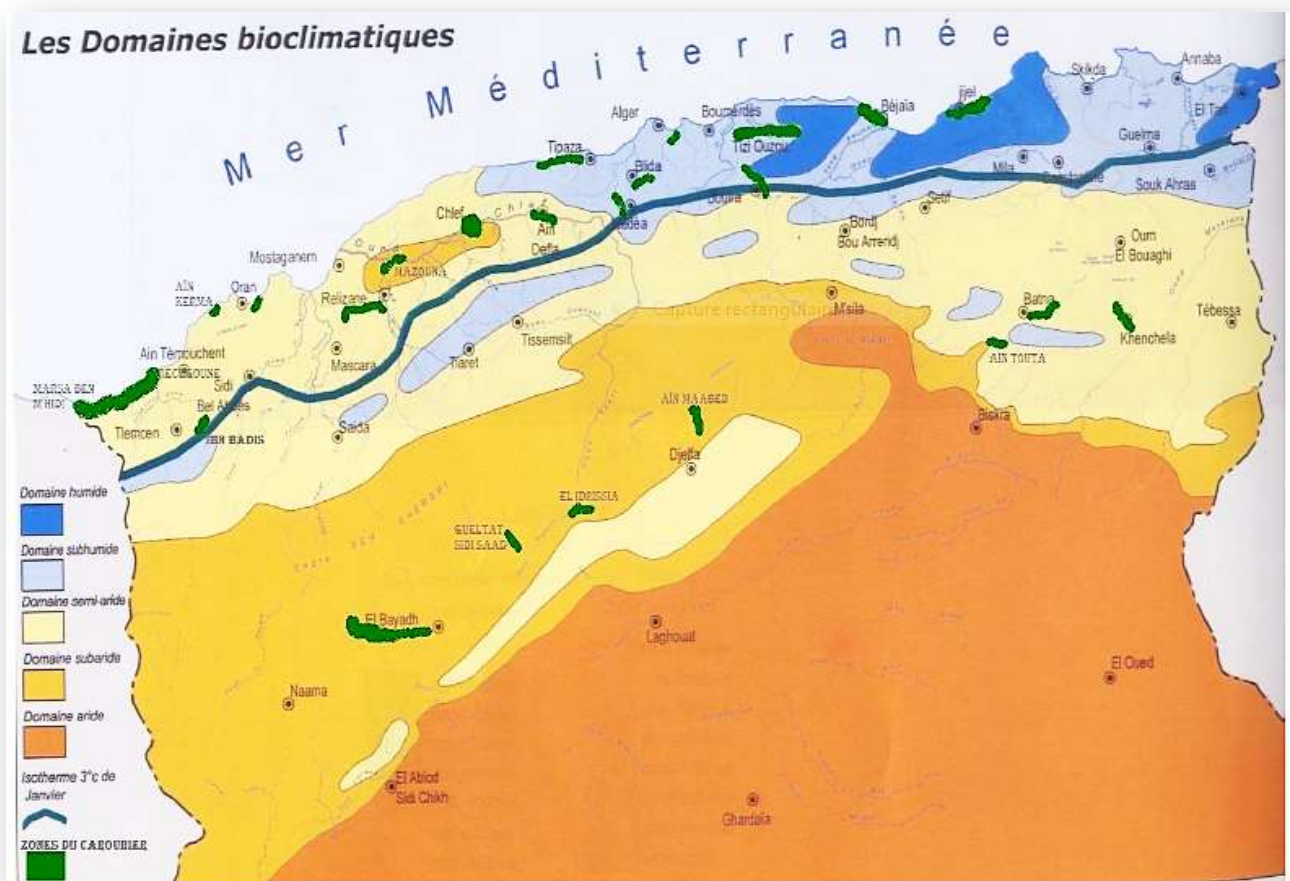
Actuellement le caroubier se trouve aussi aux Philippines, en Iran, en Afrique du sud et en Inde (Berrougui, 2007). Le caroubier est aujourd'hui répandu dans tout le bassin méditerranéen. On le trouve à l'état naturel principalement dans les pays à suivants : Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Égypte, et Chypre (Fig. 7).



**Figure 7** : Distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997)

### 2.3. Distribution géographique en Algérie

En Algérie, comme dans plusieurs pays méditerranéens, le caroubier croît dans les conditions naturelles à l'état sauvage sous des bioclimats de type subhumide, semi-arides et aride. Avec une température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an (Rebour, 1968). Il est généralement en association avec l'amandier, *Olea Europea* et *Pistacia Atlantica*. Le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et santa, 1963). Suivant ces critères climatiques ; on a établi l'aire de répartition du caroubier en Algérie (Fig. 8). Ses lieux de prédilection sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales : Sahel algérois, Dahra, région de Kabylie, vallée de la Sommam (1074 ha) et de l'Oued–Isser, et dans la zone de Traras au Nord de Tlemcen (276 ha), collines d'Oran et des coteaux Mostaganem à étage semi–aride chaud, plaines de Bône, Mitidja et les vallées intérieures (1054 ha). Il descend jusqu'à Bou–Saâda, Djelfa et Laghouat mais n'y porte pas beaucoup de fruit, (Lavallée, 1962 ; Zitouni, 2010).



**Figure 8 :** Répartition du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H, 2004)

### 3. Production du caroubier

Selon les données du FAOSTAT (2010). L'aire totale de la production mondiale du caroubier est estimée à 95 864 ha en 2009 (Tab. 2). La plus grande superficie, 77 876 ha est celle de l'Europe, contre une superficie estimée à 1000 ha pour l'Algérie et 13460 ha pour les pays d'Afrique du Nord.

**Tableau 2 :** Superficie occupée par le caroubier (FAOSTAT 2010).

Pays	Superficie (ha) en 2004	Superficie (ha) en 2008	Superficie (ha) en 2009
Algérie	1066	1000	921
Afrique de Nord	13526	13460	11 179
Europe	92218	83574	77 876
Monde	112711	102939	95 864

La production mondiale de caroube est estimée en 2010 à la productivité la plus élevée de 318 000 tonnes. Elle est essentiellement concentrée en Espagne, Italie, Maroc, Portugal, Grèce, Turquie, suivie d'Algérie, et en dernier la Tunisie (Tab. 3).

**Tableau 3 :** Production mondiale de la caroube (FAOSTAT 2011).

Pays	Production en tonnes				
	En (2004)	En (2008)	En (2009)	En (2010)	En (2011)
Espagne	67000	72000	60 795	95 000	75 000
Italie	24000	31224	31 224	45 000	30 000
Maroc	40000	25000	19 472	75 000	40 000
Portugal	20000	23000	21 000	45 000	45 000
Grèce	19000	15000	15 822	12 000	10 000
Turquie	14000	12100	12 097	18 000	14 000
Algérie	4600	3600	3 216	18 000	7 000
Tunisie	1000	1000	1 000	5 000	35 000
Monde	182680	191167	181 531	318 000	229 500

Durant les années passées, la production mondiale de caroube a connu une chute dramatique, elle est passée de 318 000t en 2010 à 229 500t en 2011. Selon Battle (1997), la régression accusée dans la production de caroubier a été principalement liée à la baisse des prix et aux programmes du développement des zones côtière au dépend des plantations de caroubier.

En Algérie, la production de caroube ainsi que la surface cultivée varie entre 2004 et 2011. Où l'année 2010 a été la plus productive. La grande perte a été enregistrée en Algérie où la production a chuté de 18 000t en 2010 à 7 000t en 2011.

On remarque qu'en Algérie la production de caroube et la surface cultivée de caroubiers ont été faible, car il n'est plus utilisé comme plante fourragère pour l'aliment de bétails au profit de l'orge et c'est dû à son cout élevé et son rendement lent (10 à 15 ans après sa plantation).

#### **4. Intérêts et utilisations du caroubier**

##### **4.1. L'importance du caroubier**

###### **4.1.1. Importance économique**

Le caroubier est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi, 1996). Ainsi, il pourrait constituer des plantations de choix dans les programmes réguliers de reboisement pour assurer un développement durable des zones rurales et à l'économie de montagne (Rejeb, 1995; Batlle et Tous, 1997). En fait, la culture du Caroubier et l'industrialisation de ses produits ont connu un développement remarquable en raison des multiples utilisations de ses graines en industrie agro-alimentaire (amélioration de la texture des aliments), diététiques, pharmaceutique, cosmétique et en d'autres applications (Correia et Martins-Loucao, 1995).

La gomme de caroube obtenue à partir des graines de gousses est d'une grande importance dans l'industrie alimentaire (Gonçalves et *al*, 2005). Selon des études récentes, la caroube est une source de bon marché d'hydrates de carbone actuellement explorées comme matériaux pour la production de bioéthanol, avec plusieurs avantages par rapport à d'autres cultures agricoles riches en sucre (Vourdoubas et *al.*, 2002 ;Sanchez et *al.*, 2010 ;Turhan et *al.*, 2010). Par ailleurs, ses gousses utilisées en industrie alimentaire et pharmacologique sont plus riches en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière (NAS, 1979; Battle, 1997; Markis et Kefalas, 2004).

Le bois de la caroube est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage.

#### **4.2.1. Importance écologique**

Le caroubier est une espèce agro-sylvo-pastorale ayant d'énormes intérêts socio-économiques et écologiques, grâce à son aptitude à développer différentes stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques (Saidi *et al.*, 2007).

Ainsi, Il peut être utilisé dans le reboisement des zones arides et dégradées, comme étant une ressource précieuse de reforestation pour gérer l'érosion sur les terres marginales non adaptés à d'autres espèces agricoles (sols pauvres et salins et résistant à la sécheresse), pour limiter contre la propagation des incendies (Barracosa *et al.*, 2007), comme plante ornementale en bordure des routes et dans les jardins (Batlle et Tous, 1997) et comme brise-vent compte tenu de sa couronne sphérique, et de son feuillage (Winer, 1980 ; Sidina *et al.*, 2009; Yousif et Alghzawi, 2000).

#### **4.2. Utilisation de la caroube**

##### **4.2.1. Dans le secteur agro-alimentaire**

La poudre de la caroube tirée des gousses est un édulcorant naturel, qui a la saveur et l'apparence semblable du chocolat. C'est pourquoi il est souvent utilisé comme substitut du cacao. L'avantage d'utiliser la caroube réside dans le fait que contrairement au chocolat, il ne contient pas de stimulants puisque il est dépourvu de caféine et de théobromine (Bengoechea, 2008).

La poudre de caroube non torréfié et torréfié utilisés comme additif (code E410) ou /et comme substituts de cacao dans les pâtes, les barres de céréales, les confiseries au chocolat, les crèmes glacées, les biscuits, les farines lactées, les produits légers et les aliments diététiques (pas de gluten dans la caroube), (Marakis, 1996; Plowright, 1951; Loeb, 1989).

Les différents aliments humaines peuvent être dérivés de la farine de caroube tels que l'extraction du sucre, les sirops de sucre (Petit et Pinilla, 1995) , la farine de caroube (gousses broyées) est utilisée aussi dans la fermentation de l'éthanol pour la fabrication de l'alcool (Roukas, 1993; Roukas, 1996)

Les gousses de caroube sont principalement utilisées pour extraire la mélasse ou «débés», qui est obtenue par broyage, trempage dans de l'eau, et par une série de décantation qui permet d'obtenir un jus sucré. Ce jus subit une ébullition pour obtenir ce qu'on appelle la mélasse de caroube. Le

tourteau de caroube broyé ou haché est aussi utilisé comme substitut de la tourbe pour les plantes en pépinière (Rishani et Rice, 1988).

Une autre utilisation des caroubes est la fabrication d'un produit laitier artisanal connu sous le nom de « mekika ». Ce produit est préparé par coagulation du lait avec l'extrait de gousses vertes de caroube (Abi Azar, 2007).

Ses gousses, utilisées en industrie agro-alimentaire comme aliment de bétail (chevaux, ruminants) (Batlle, 1997), où la valeur fourragère de ses feuilles et de ses fruits est respectivement de 0,29 et de 1,15 unité fourragère par kilogramme de matière sèche (Putod, 1982).

#### **4.2.2. Médicale**

Actuellement, la caroube est considérée comme une plante d'investigation de nouveaux antioxydants naturels contenus dans l'enveloppe de la graine et la pulpe du fruit. Cette activité antioxydant est attribuée à la présence de composés phénoliques et fibres (Custódio, 2011). En pharmacopée traditionnelle, la pulpe est utilisée contre la diarrhée et pour le traitement de certaines maladies la gastrite, l'entérite, les angines, les rhumes, le cancer... (Crosi et *al.*, 2002 ; Gharnit, 2003 ; Ait Chit et *al.*, 2007).

#### **4.2.3. Cosmétique**

Dans l'une des applications industrielles, la gomme de caroube est utilisé en cosmétique (Calixto et Canellas, 1982 ; Sandolo et *al.*, 2007), pour sa capacité à former une solution très visqueuse, à une faible concentration en raison de ses propriétés épaississantes, émulsifiantes et stabilisantes (Multon, 1984 ; Goycoola et *al.*, 1995 ; Stephen et *al.*, 1995 ; Batlle et *al.*, 1996).

#### **4.2.4. Chimique**

Certains travaux ont déjà montré l'application de la farine de caroube (gousses broyées) pour l'extraction du sucre (Petit et Pinilla, 1995), la fermentation de l'éthanol (Roukas, 1993; Roukas, 1996), et la production d'acide citrique (Roukas, 1998; Roukas, 1999). De même, le bois du caroubier est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon et l'écorce et les racines sont employées dans le tannage.

#### 4.2.5. Écologie

En raison de sa rusticité et de son adaptation aux contraintes de l'environnement, le caroubier est souvent utilisé, pour le reboisement des zones affectées par l'érosion et la désertification (Boudy, 1950 ; Rejeb, 2006 ; Biner *et al.*, 2007). Il est également utilisé comme plante ornementale en bordure des routes et dans les jardins (Batlle et Tous, 1997)

#### 4.2.6. Alimentation animale

Le fruit du caroubier ou la caroube, se compose d'une pulpe enveloppant des graines régulières. En effet la pulpe sucrée de la caroube est employé depuis longtemps, comme nourriture de bétail à côté d'autres aliments comme la farine d'orge (Ait Chitt *et al.*, 2007).

### 5. Transformation des gousses de caroubes

Après la récolte, les caroubes ont un taux d'humidité élevé, les gousses exigent davantage de séchage et sont stockées sous abri dans des endroits secs et aérés pour ramener l'humidité à environ 8%. Pour séparer les deux composants principaux : pulpe et graines, les caroubes sont écrasées mécaniquement, puis sont débarrassées des graines. Ce premier broyage grossier peut être suivi de la torréfaction et du meulage fin des morceaux de pulpe pour obtenir une poudre qui est commercialisée sous le nom de farine ou poudre de caroube (Fig. 9).



**Figure 9** : Poudre de la caroube

Les graines de caroube sont difficiles à traiter puisque les téguments sont très durs. Les deux principales méthodes pour enlever les téguments sont :

- le trempage dans de l'acide sulfurique,
- la torréfaction (les graines rôtissent dans un four tournant).

Pendant le processus d'épluchage, l'endosperme peut être séparé des cotylédons en raison de leur différence de friabilité. En effet les embryons fragiles se transforment en poudre fine et peuvent être séparés de l'endosperme par une opération de tamisage. Ensuite, l'endosperme est moulu à la dimension désirée pour donner la gomme (Benmahioul et *al.*, 2011).

## 6. Valorisation des sous-produits de la caroube

On tire du fruit de la caroube deux sous-produits : la poudre (farine) de la pulpe et la gomme à partir des graines.

### 6.1. La pulpe (substitut de chocolat)

Le chocolat est un produit de confiserie préparé à partir de cacao, ayant un arôme et un goût très fins. Ces propriétés sont le résultat d'un mélange judicieux et optimal des principales matières premières qui composent cet aliment (lait en poudre, cacao, beurre, sucre, additifs etc.) (Barariu, 1995 ; Banu, 2000). La poudre de caroube tirée des gousses est un édulcorant naturel, qui a la saveur et l'apparence semblable du chocolat. Contrairement à son homologue le cacao, ne contient ni théobromine, ni caféine, C'est pourquoi il est souvent utilisé comme substitut du cacao (Bengoechea et *al.*, 2008). C'est pourquoi, elle est broyée et traitée industriellement et vendus dans les grands magasins et les marchés locaux comme un substitut du cacao (Youssif, 2000; Kumazawa et *al.*, 2002; Ayaz, 2007; Bengoechea et *al.*, 2008).

### 6.2. Gomme extraite à partir des graines

La gomme de caroube est extraite à partir de l'albumen des graines de *Ceratonia siliqua* du fait de sa richesse en galactomannanes (unités de  $\beta$ -D-mannose et de  $\alpha$ -D-galactose) (Avallone et *al.*, 1997; Biner et *al.*, 2007), issue de l'endosperme elle constitue le 1/3 du poids total de la graine ; 100kg de graines produisent en moyenne 20kg de gomme pure et sèche.

Le galactomannane est un polysaccharide obtenu à partir de l'endosperme de la graine après élimination de la cuticule et du germe (Kök et *al.*, 1998). Ce polysaccharide est utilisé dans l'industrie alimentaire ou non alimentaire (produit cosmétique).

## 7. Effets des produits de caroube

### 7.1. Effets sur la santé

- Le fruit du caroubier, consommé quotidiennement pour combattre efficacement les hémorroïdes jusqu'à les faire disparaître définitivement (Rejeb et *al.*, 2006).
- La caroube peut être prise comme complément alimentaire pour traiter les troubles intestinaux. Celle-ci contient ce que l'on appelle les tanins qui sont des anti-diarrhéiques très efficaces. Sa prise est indiquée lors des irritations des intestins, de l'acidité gastrique et des vomissements. La caroube est également conseillée chez les enfants en cas de constipation ou diarrhée. Ce produit ne contient pas de gluten ni de caféine, donc la caroube n'est pas un produit excitant. C'est ainsi que la caroube constitue un complément alimentaire intéressant pour l'organisme (Makris et Kefalas, 2010).
- La caroube défend l'organisme contre les divers troubles intestinaux et lui offre les protections nécessaires pour sa santé. Elle protège l'organisme et constitue un antitussif. Ce fruit qui est de grande teneur en fibres, aide dans le régime amaigrissant. Elle constitue un bon complément alimentaire pour ses effets miraculeux de régulateurs intestinaux. La caroube n'agit pas seulement au niveau des appareils digestifs mais est un complément alimentaire nécessaire pour lutter contre la perte de mémoire. Généralement, la prise de caroube comme complément alimentaire n'a pas d'effet secondaire (Makris et Kefalas, 2010).
- Caromax : une préparation industrielle à base de fibres de caroube a été retrouvée possédant un potentiel dans la réduction du taux de cholestérol et comme antioxydant. Une composante de la fibre de caroube, pinitol, un type d'inositol, est présente à environ (1 %). Pinitol, a été démontré capable de réguler le glucose dans le sang (Biner et *al.*, 2007).

### 7.2. Effets indésirables des produits de caroube

Les fibres de caroube (LBG) utilisées pour épaissir les préparations des nourrissons peuvent réduire la disponibilité des minéraux tels que le calcium et le fer (Bosscher, 2001).

Certains chercheurs affirment que des extraits de germe de graine de caroube ont été trouvés pour diminuer l'activité trypsique (Filioglou et Alexis, 1987) et la digestibilité des protéines (Filioglou et Alexis, 1989),

L'utilisation de la caroube entière dans la consommation humaine est limitée en raison du niveau élevé de tanins provoquant son astringence limitée (Bate-Smith, 1973; Karkacier et Artik, 1995).



*Matériel et Méthodes*

## 1. Présentation générale de la région de Laghouat

### 1.1. Situation géographique

La région de Laghouat, est éloignée de la capitale Alger de 400Km reliée par la route nationale n°01. La ville est située sur la latitude Nord de 33°48', et la longitude Est de 02°52', elle prend l'altitude de 752m. La Wilaya de Laghouat s'étend sur une superficie de 25 052 km<sup>2</sup> (Fig. 10).

Sur le plan administratif la wilaya est limitée par :

- Au nord par la wilaya de Djelfa (112 Km);
- À l'Ouest par la wilaya d'El Baydh (247 Km) ;
- Au Nord-ouest par la wilaya de Tiaret (278 Km) ;
- Et vers le sud par la wilaya de Ghardaïa (193Km).



**Figure 10** : Situation géographique de la wilaya de Laghouat (Google Earth, 2019).

Sur le plan naturel, Laghouat est située au piémont de l'Atlas Saharien du côté nord-ouest. Elle s'étend sur le plateau (La zone de Hauts Plateaux et le Plateau Saharien) du côté sud (D.P.A.T., 2007); cette nature mixte entre les hautes terres d'un côté et les basses terres de l'autre, constituant ainsi, une liaison et une zone tampon entre le Nord et le Sud du pays (Pouget, 1980).

## **1.2. Nature des sols**

Dans la wilaya de Laghouat, les sols sont en majeures parties d'apport alluvial typique sur croute calcaire, peu évolués, à texture légère à teneur faible en matière organique présentant ainsi des contraintes pour l'agriculture (C.D.F, 1998).

Les piémonts de l'atlas saharien, la plaine alluviale de l'oued M'Zi et le plateau à surface plane avec une charge caillouteuse en surface, ce sont les trois principaux grands ensembles caractérisent la région de Laghouat. Ces sols sont généralement peu profonds. Les roches mères de ces sols sont le plus souvent constituées par des formations marneuses et calcaires, ce qui explique leur richesse en sels solubles et en calcaires (Khadraoui, 2004).

## **1.3. Hydrographie**

D'après Halitim (1998), le réseau hydrographique est fortement influencé à la fois par les variations saisonnières et interannuelles de la pluviométrie et le relief formant un cloisonnement topographique.

Du point de vue ressources en eau souterraines, cette région se caractérise par un faible Potentiel en eau ; on distingue trois systèmes aquifères, à savoir: la nappe phréatique du quaternaire, le complexe terminal et le continental intercalaire (Khadraoui, 2004).

Les deux zones (Nord-ouest, Sud-est) sont traversées par trois oueds dont le plus important est l'oued M'Zi. Son cours va du Nord-ouest vers le Sud-est. Il y a lieu d'ajouter l'existence de plusieurs sources qui constitueraient un apport considérable pour l'agriculture si toutefois leurs captages seraient réalisés (C.D.F, 1998).

## 1.4. Climat de la région de Laghouat

D'après les données climatiques recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM) de Laghouat, la synthèse climatique de la région de Laghouat a été faite sur 10 ans (2009-2018), où la région de Laghouat est dominée par un climat de type semi-aride et aride. Caractérisée par des étés très chauds et aride ; les hivers sont longs ; sec et venteux et le climat est dégagé dans l'ensemble tout au long de l'année.

Au cours de l'année, la température varie généralement de 2 °C à 39 °C et est rarement inférieure à 1 °C ou supérieure à 42 °C. Les précipitations sont faibles.

### 1.4.1. Températures

Les températures sont très fortes en été et basses en hiver dans la région de Laghouat. D'après le tableau 4, Le mois le plus chaud est juillet avec une moyenne de 31,87°C. Par contre, Le mois le plus froid est janvier avec une moyenne de 8,86°C. Les températures moyennes annuelles de la région oscillent entre 12,91C° et 25,35C° (2009 à 2018).

**Tableau 4 :** Températures moyennes mensuelles de la région de Laghouat entre 2009-2018 (ONM, 2019)

Paramètres	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	moyenne annuelle
<b>M</b>	14,68	15,35	19,64	24,52	29,32	34,62	39,13	37,51	29,85	26,32	18,12	15,17	25,35
<b>m</b>	3,04	3,62	7,07	11,05	15,62	20,48	24,61	23,56	19,86	15,25	7,38	3,42	12,91
<b>(M+m)/2</b>	8,86	9,49	13,36	17,79	22,47	27,55	31,87	30,54	24,86	20,79	12,75	9,3	19,14

M : Moyenne mensuelle des températures maximales.

m : Moyenne mensuelle des températures minimales.

(M+m)/2 : Température moyenne mensuelle.

### 1.4.2. Précipitations

La probabilité de jours de précipitation à Laghouat varie au cours de l'année. Dans la région, les précipitations sont faibles, elles n'ont pas dépassé les 124,62 mm en 10ans. Le mois le plus sec par au cours de la période étudiée est le mois de juillet avec 4,62 mm et le mois le plus humide est le mois de septembre avec 26,86 mm (Tableau. 5).

**Tableau 5 :** Précipitations moyennes mensuelles de la région de Laghouat entre 2009-2018 (ONM, 2019)

Paramètres	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	cumul annuel
P (mm)	7,43	8,29	5,87	5,20	10,47	8,13	4,62	14,64	26,86	15,98	9,77	7,37	124,62

### 1.4.3. Humidité

L'humidité de l'air enregistrée pour la région de Laghouat est faible avec une moyenne annuelle de 42,34%. Le taux d'humidité relative est variable en fonction des saisons, il atteint son maximum au mois décembre avec un taux de 60%, et le mois de juillet présente une valeur minimale avec un taux de 22,9 % (Tableau. 6).

**Tableau 6 :** L'humidité moyenne mensuelle de la région de Laghouat entre 2009-2018 (ONM, 2019)

Paramètres	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	moyenne annuelle
H (%)	57,8	51,3	45,2	38,8	33,9	31,1	22,9	28,2	38,8	48,5	53,4	58,2	42,34

## 2. Présentation du site

L'échantillonnage a été effectué au bord d'une route de la ville de Laghouat, Plantée dans la rue à des fins ornementales, Il y a plus de 50 arbres, la distance entre un arbre et un autre est de 3 à 5m environ. La localisation géographique du site échantillonné dans la ville de Laghouat en plus des coordonnées géographiques de latitude et de longitude ont été notées dans la figure suivante (Fig. 11).



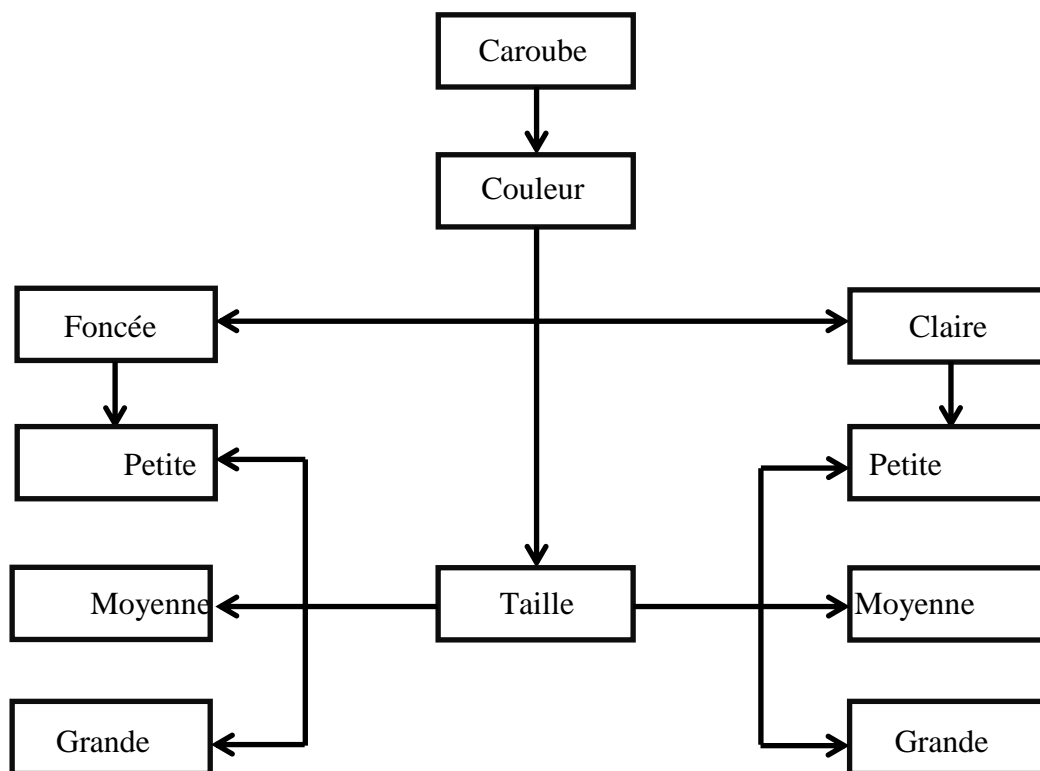
**Figure 11** : Localisation de la plante de caroubier dans la rue "Sno-bar"  
(Centre-ville Laghouat) (Google earth, 2019)

### 3. Méthodologie

#### 3.1. Échantillonnage

A été collectées 20 kg des gousses de caroubes en automne dans le même stade de maturation, la récolte a été réalisée sur plusieurs arbres productifs (15 arbres), choisi aléatoirement. Dans le laboratoire, Les gousses de caroube ont été séparées selon deux facteurs phénotypiques. Le premier facteur est la couleur, séparer les gousses de caroube foncées et des gousses claires. Le deuxième facteur est la taille, séparer les gousses de caroube selon trois tailles : petites, moyennes et grandes.

Les échantillons étaient emballés dans des Sacs en papier selon la taille et la couleur et conservés à température ambiante, en vue de différents analyses physico-chimiques (Fig. 12).



**Figure 12 :** Schéma du protocole expérimental des analyses des caroubes.

#### **4. Paramètres d'analyse de la valeur nutritive**

##### **4.1. Paramètres phénotypiques**

Nous avons choisi entre 30 à 39 gousses de caroube dans chaque groupe selon la couleur et la taille (6 groupe) pour mesurer les différents paramètres : longueur total, longueur de l'arc, largeur, masse, épaisseur.

##### **4.1.1. Longueur totale**

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

##### **4.1.2. Longueur de l'arc**

A l'aide d'un papier millimétré, la longueur de l'arc (cm) représente la distance directe entre les deux extrémités de la gousse.

##### **4.1.3. Largeurs**

La largeur (cm) a été mesurée sur le center des gousses de la caroube à l'aide d'un pied à coulisse.

##### **4.1.4. Indice de taille**

L'indice de taille représente dans notre cas le rapport de la longueur de l'arc sur la longueur total.

##### **4.1.5. Masses**

Masses(g), des gousses ont été pesées à l'aide de balance (0,01g).

## 4.2. Paramètres physico-chimiques

Pour la détermination de la composition physico-chimique de la gousse de caroube (pH, sucres solubles, matière minérale, protéines et indice de brunissement) les mêmes échantillons de gousses de caroube utilisés pour les mesures morphologiques, l'échantillon ont été séchés, puis broyés en poudre à l'aide d'un broyeur à lame, et stockées dans des flacons hermétiques pour faire l'analyse physico-chimique.

### 4.2.1. Matière sèche et l'humidité

La détermination de la matière sèche de caroube a été réalisée conventionnellement par la pesé des échantillons après séchage et dessiccation dans une étuve à circulation d'air à une température de 60 °C jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante (AOAC, 1992). La teneur en matière sèche (%) du matériel végétal est donnée par la formule suivante:

$$MS (\%) = \frac{y}{x} * 100$$

**X** : poids d'échantillon humide.

**Y** : poids d'échantillon après dessiccation.

De ce fait, la teneur en eau (%) du matériel végétal a été calculée par la relation suivant :

$$H (\%) = 100 - MS$$

### 4.2.2. Matière minérale et organique

La teneur en cendres (%) de la poudre de caroube a été déterminée conventionnellement par l'incinération 1 g de la matière sèche dans un creuset en porcelaine pendant 5 heures dans un four à moufle à 600±1°C (AOAC, 1992). L'opération ne sera termine que lorsque la couleur des résidus deviendra gris clair, les creusets ont été refroidis à l'intérieur du four puis pesé. Le pourcentage de teneur en cendres a été déterminé selon la formule suivante:

$$MM (\%) = \frac{A}{B} * 100$$

**A** : Poids des cendres.

**B** : poids d'échantillon.

Le taux de la matière organique (%) des gousses a été calculé par la relation suivant :

$$\text{MO (\%)} = 100 - \text{MM}$$

#### 4.2.3. Protéines totales

Pour déterminer la teneur des protéines contenues dans un échantillon, on procède à un dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1992). Cette dernière s'effectue en trois phases :

- **Minéralisation**

Dans un matras de Kjeldahl (tube de digestion), on introduit :

- 1 g de la matière sèche broyée.
- 7 g de sulfate de potassium anhydre ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).
- 7 ml d'acide sulfurique concentré ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
- 5 ml d'eau oxygénée ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

- **Digestion**

Les tubes digestifs ont été chauffés à 400°C sous hôte Pendant 45 minute, ensuite laisser refroidir, après en ajoute 50ml d'eau distillée.

- **Distillation**

La distillation s'effectue par l'ajoute de 50 ml de la soude NaOH à 35 % à la solution des tubes de digestion pour réaliser le déplacement d'ammoniac. Ensuite, 100 ml de distillat a été récupéré dans un bécher en présence de 25 ml d'acide borique à 4 %. Puis, en ajoute quelques gouttes (5 à 6 gouttes) de rouge de méthyle dissous dans l'éthanol, pour réaliser la titration par l'acide chlorhydrique HCl à 0.2 N. Le taux des protéines totales est déterminé par la relation suivante :



$$\text{Protéines totales PT (\%)} \text{ de MS} = \text{N g} * 6.25/10$$

#### 4.2.4. Sucres totaux

Le taux de sucre (%) a été déterminé par la préparation d'une solution de caroube à 4%. On prend 1g d'échantillon de la matière sèche, diluée dans 25 ml d'eau distillée dans des tubes à essais et agité pour homogénéiser la solution, ensuite, la lecture a été directement effectuée sur un refractomètre étalonné (AOAC, 1992).

#### 4.2.5. Indice de brunissement

L'indice de brunissement a été déterminé à l'aide de la spectrométrie. On prend 1 g d'échantillon de la matière sèche diluée à 10 % dans des tubes à essais et agité pour homogénéiser la solution, ensuite, on verse la solution dans les cuves après filtration. La lecture a été directement effectuée sur un spectromètre étalonné à 500 nm et à 600 nm. L'indice de brunissement est déterminé par la formule suivante (Baloch et al., 1973 in Canellas et al., 1993) :

$$BE \text{ (nm)} = D_{500} - D_{600}$$

#### 4.2.6. pH

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre étalonné de la solution de caroube à 4%, on prend 1g de poudre de caroube et on ajoute 25 ml d'eau distillée.

### 5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques descriptives ( $P \leq 0.05$  (taille d'échantillon N, moyenne, écart-type, extrême) et les tests de l'ANOVA, ainsi que les corrélations de Pearson ont été réalisés par statistix-8.



***Résultats***

## 1. Caractéristiques de la caroube

### 1.1. Aspect des gousses

L'observation à l'œil nu des gousses a permis de déceler des différences morphologiques. En effet, les échantillons sélectionnés illustrent parfaitement l'existence de diverses couleurs et tailles des gousses. Nous avons relevé différentes couleurs des gousses : marron claire, marron foncé, brune, brune foncée, acajou et chocolatée (Fig. 13).



**Figure 13** : Présentation des différentes couleurs des gousses : A : marron claire, B: marron foncé, C:brune, D:brune foncée, E: acajou et F: chocolatée (Photo personnelle, 2019).

Par ailleurs, nous avons relevé aussi différentes formes des gousses : forme droite, forme courbée et légèrement courbée (Fig. 14).



**Figure 14** : Présentation des différentes formes des gousses : A : forme droite, B : légèrement courbée et C : forme courbée (Photo personnelle, 2019).

## 1.2. Caractéristiques phénotypiques

### 1.2.1. Masse initiale des gousses de la caroube

La masse initiale de 211 des siliques de caroube fraîches a été en moyenne de 10,32 g, elle varie d'une gousse à une autre de 4,36 à 18,58 g (Tableau. 7).

### 1.2.2. Longueur totale des gousses de la caroube

La longueur totale de 211 des siliques de la caroube a été en moyenne de 13,42 cm, elle a été variable d'une gousse à une autre de 8 à 24 cm (Tableau. 7).

### 1.2.3. Longueur de l'arc des gousses de la caroube

La longueur de l'arc de 211 des gousses de la caroube a été en moyenne de 11,26 cm, il est variable d'une gousse à une autre de 2 à 18,80 cm (Tableau. 7).

### 1.2.4. Largeur des gousses de la caroube

La largeur de 211 des gousses de caroube a été en moyenne de 2,11cm, il est variable d'une gousse à une autre de 1,5 à 2,7 cm (Tableau. 7).

### 1.2.5. Indice de taille des gousses de la caroube

L'indice de taille de 211 des siliques de caroube a été en moyenne de 0,85, Les valeurs ont été variable entre 0,14 à 1 (Tableau. 7).

**Tableau 7:** Caractéristiques phénotypiques des siliques de la caroube de la région de Laghouat

Paramètre	N	Moyenne	Ecart-type	Min – Max
Masse initiale (g)	211	10,32	3,21	4,36 – 18,58
Longueur totale (cm)	211	13,42	3,50	8 – 24
Longueur de l'arc (cm)	211	11,26	3,43	2 – 18,80
Largeur (cm)	211	2,11	0,19	1,5 – 2,7
Indice de taille (LT/LA)	211	0,85	0,17	0,14 – 1

### 1.3. Caractéristiques physico-chimiques

#### 1.3.1. Matière sèche et teneur en eau

La moyenne de l'humidité a été de 7,82 %, la teneur en eau elle varie entre 4,39 à 12,21 %. Par contre, la moyenne de matière sèche a été de 92,18 %, il est variable entre 87,79 à 95,61 % (Tableau. 8).

#### 1.3.2. Matière minérale et organique

Le taux de matière minérale a été en moyenne de 3,07 %, il est variable entre 2 à 5 %. Et la moyenne de matière organique a été de 96,93 %, elle varie entre 95 à 98 % (Tableau. 8).

#### 1.3.3. Protéine totale

Les protéines totales de caroube ont été en moyenne de 5.57%, elle varie d'une gousse à l'autre de 2,63 à 9,81% (Tableau. 8).

#### 1.3.4. Sucres solubles

Le taux de sucre soluble a été en moyenne de 50,81 %, il varie d'une gousse à l'autre de 2 à 5 % (Tableau. 8).

#### 1.3.5. Indice de brunissement

La moyenne de l'indice de brunissement a été de 0,36(nm), ce dernier a été variable de 4,39 à 12,21nm (Tableau. 8).

#### 1.3.6- pH

Le pH de la caroube a été en moyenne de 5,45, elle varie d'une gousse à une autre de 5,21 à 5,77 (Tableau. 8).

**Tableau 8:** Caractéristiques physico-chimiques des siliques de la caroube de la région de Laghouat

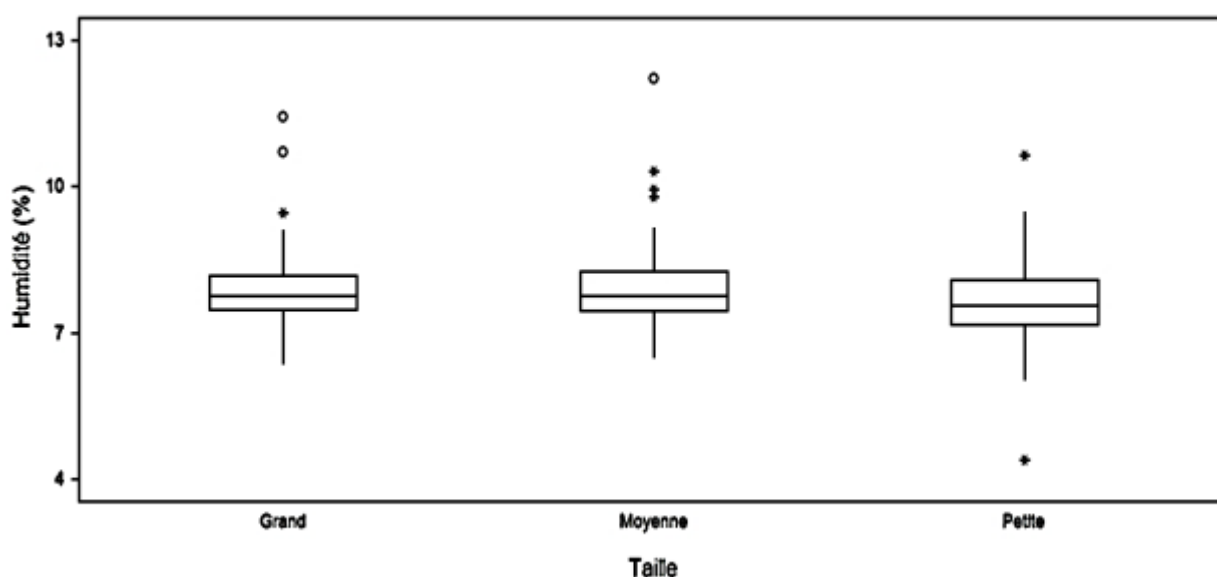
Paramètre	N	Moyenne	Ecart-type	Min – Max
Teneur en eau (%)	211	7,82	0,88	4,39 – 12,21
Matière sèche (%)	211	92.18	0.88	87.79– 95.61
Matière minérale (% MS)	42	3,07	0,78	2 – 5
Matière organique (% MS)	42	96,93	0,78	95 – 98
Protéines totales (% MS)	26	5,57	1,76	2,63 – 9,81
Sucres solubles (% MS)	42	50,81	3,02	42,5 – 55
Indice de brunissement (nm)	42	0,36	0,15	0,06 – 0,62
pH	42	5,45	0,16	5,21 – 5,77

## 2. Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypiques

### 2.1. Taille

#### 2.1.1. Teneur en eau

La variation de la teneur en matière sèche des caroubes avec des paramètres de taille n'a pas été statistiquement significative ( $F^{2, 208} = 2.14$  ;  $P = 0.1197$ ). Pourtant, La teneur en eau a été élevée dans les gousses de grande taille (7.94 %) par rapport aux gousses de moyenne taille (7.87 %) et au les gousses de petite taille (7.65 %) (Fig. 15).

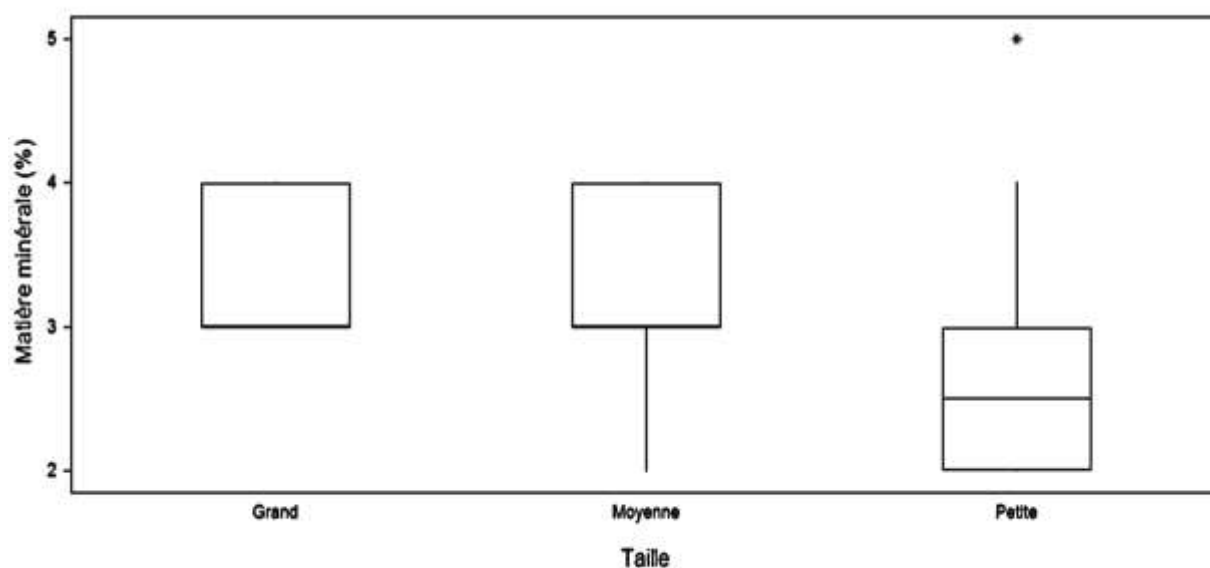


**Figure 15 :** Variation de l'humidité (%) des siliques de la caroube de différentes tailles

#### 2.1.2. Matière minérale et matière organique

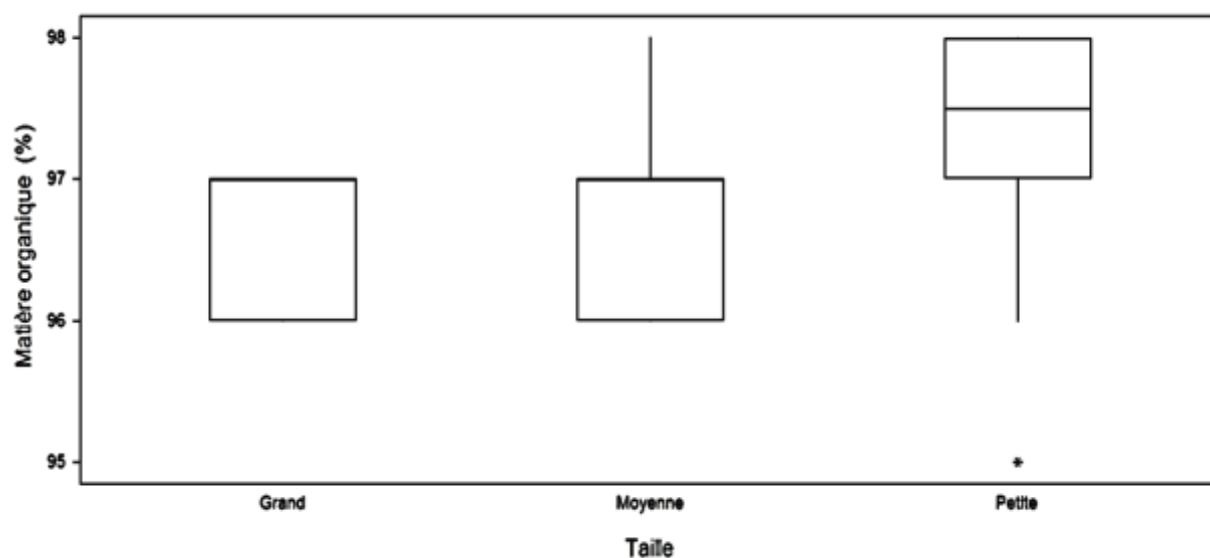
La teneur en matière minérale des gousses de la caroube ont été significativement variable avec les différents paramètres de taille ( $F^{2, 39} = 3.55$  ;  $P = 0.0384$ ).

La teneur en matière minérale a été plus élevée dans les caroubes de grande taille avec un teneur de 3.62 % par rapport au les caroubes de moyenne taille avec une teneur de 3.40% et de petite taille avec une teneur de 3.30% (Fig. 16).



**Figure 16 :** Variation de matière minérale (%) des siliques de la caroube de différentes tailles

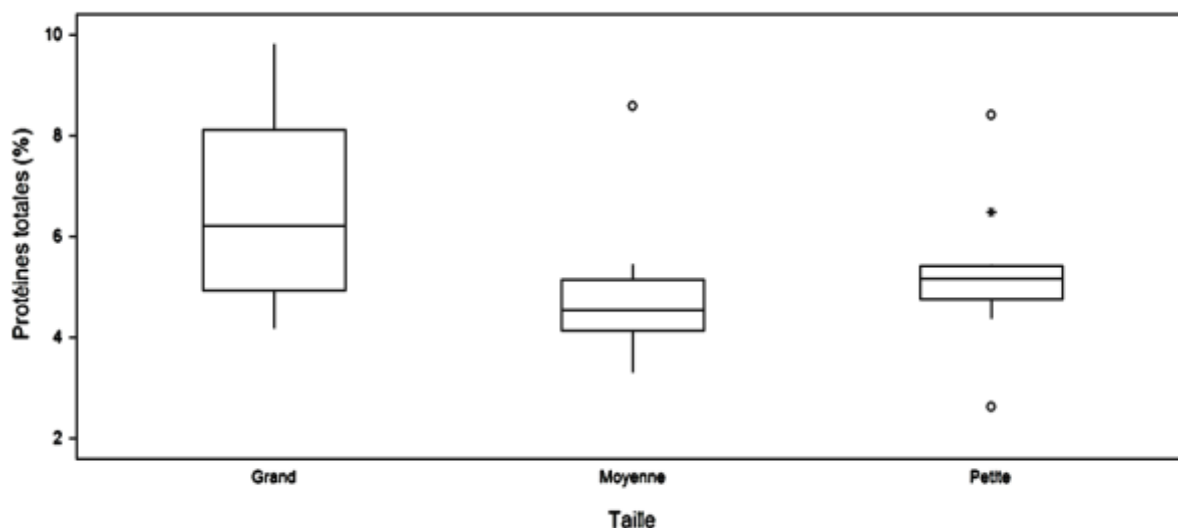
La teneur en matière organique des gousses de la caroube ont été significativement variables avec les différents paramètres de taille ( $F^{2,39}=3.53$  ;  $P=0.0391$ ) (Fig. 17).



**Figure 17 :** Variation de matière organique (%) des siliques de la caroube de différentes tailles

### 2.1.3. Protéines totales

La variation de la teneur en protéines totales a été non significative variable avec les différents paramètres des tailles ( $F^{2,23}=2,13$  ;  $P=0,1419$ ). Le taux de protéine a été plus élevé dans les gousses de grande taille (6.56%) suivi par les gousses de petite taille (5.25%) et les gousses de taille moyenne (4.94%) (Fig. 18).

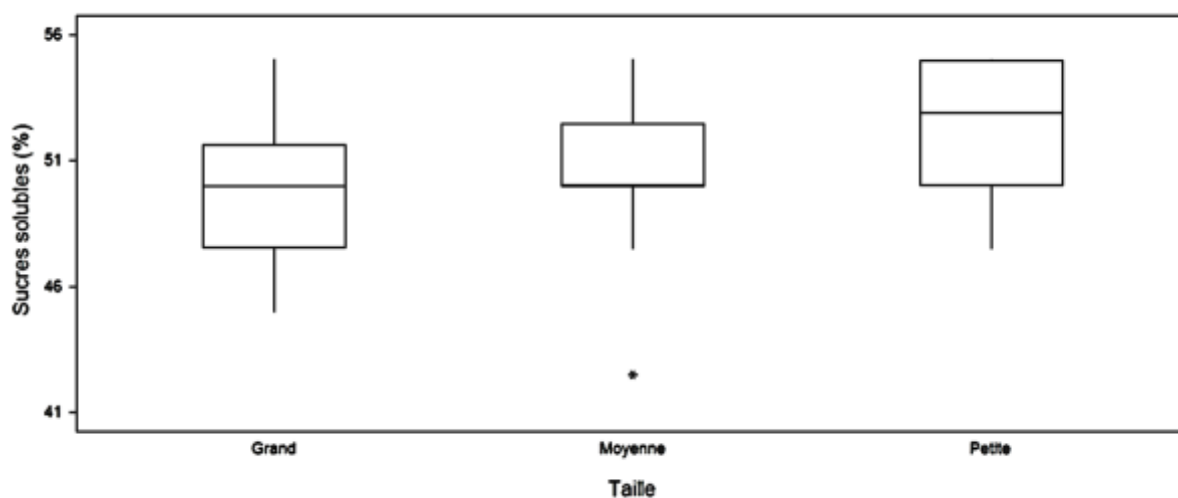


**Figure 18 :** Variation des Protéines totales (%) des siliques de la caroube de différentes tailles

### 2.1.4. Sucres solubles

Le taux des sucres solubles est plus élevé dans les petites gousses (52.08%) et Ensuite les gousses de taille moyenne (50,53 %) et les gousses de taille grande (49.82 %).

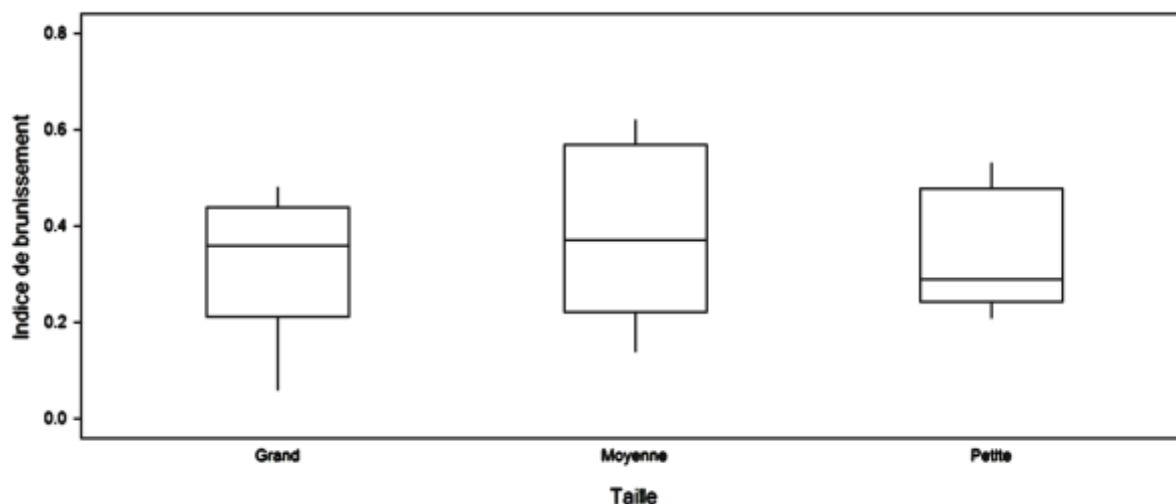
Cette variation de taux des sucres solubles a été non significative variable avec différents paramètres de taille ( $F^{2,39}=2,17$  ;  $P=0,1274$ ) (Fig. 19).



**Figure 19 :** Variation des sucres solubles (%) des siliques de la caroube de différentes tailles

### 2.1.5. Indice de brunissement

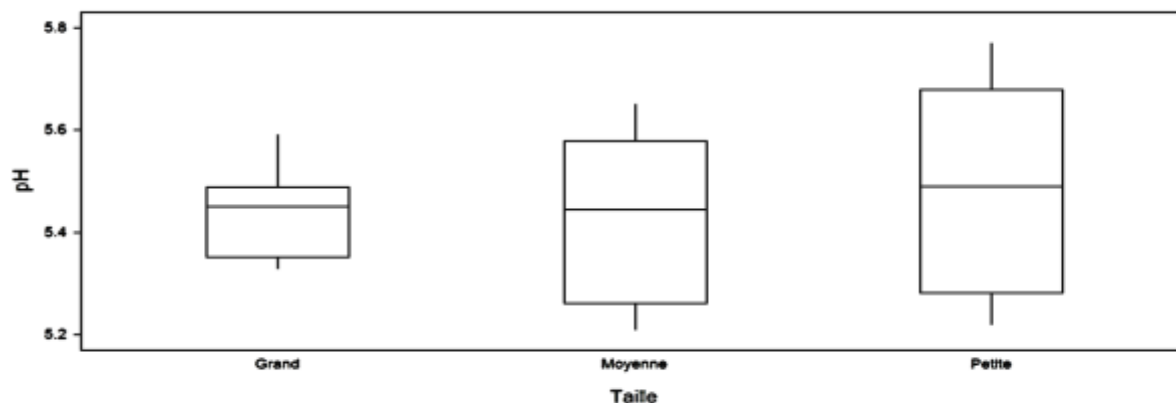
Statistiquement, la variation de l'indice de brunissement n'a pas été significative variable avec différents paramètres de taille ( $F^{2, 39} = 0,54$  ;  $P = 0,5874$ ). Le brunissement de caroube de moyenne taille a été élevée avec une valeur de 0.38 nm que des grandes taille avec une valeur de 0.35 nm et au les caroubes de petite gousse avec une valeur de 0.32 nm (Fig. 20).



**Figure 20** : Variation de l'indice de brunissement des siliques de la caroube de différentes tailles

### 2.1.6. pH

Statistiquement, la variation du pH n'a pas significative variable avec les différents paramètres de taille ( $F^{2, 39}=0,43$  ;  $P=0.6563$ ). Le pH plus élevée a été enregistré dans les gousses de petite taille (5.48) puis dans celles de grande taille (5.44) et les gousses de taille moyenne (5.43) (Fig. 21).

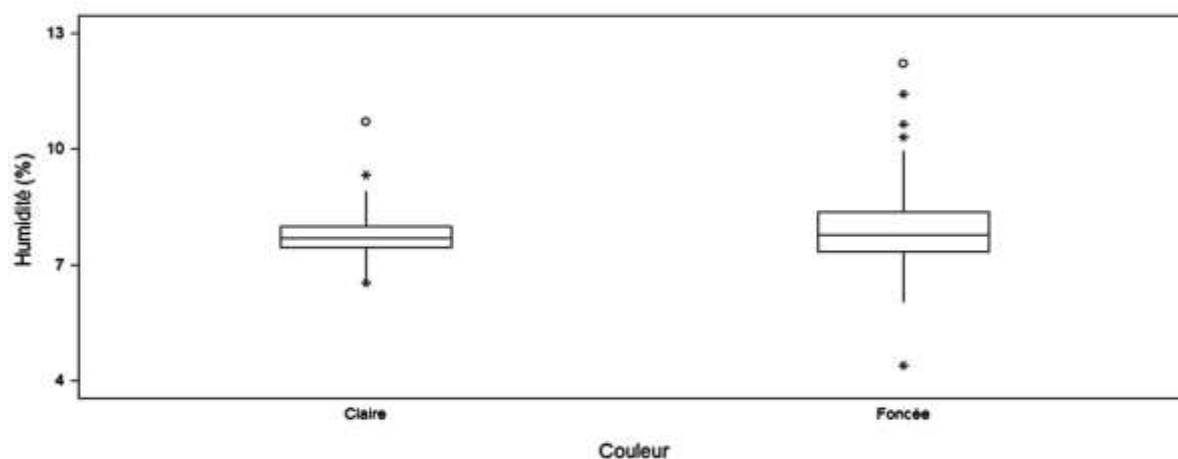


**Figure 21** : Variation du pH des siliques de la caroube de différentes tailles

## 2.2. Couleur

### 2.2.1. Teneur en eau

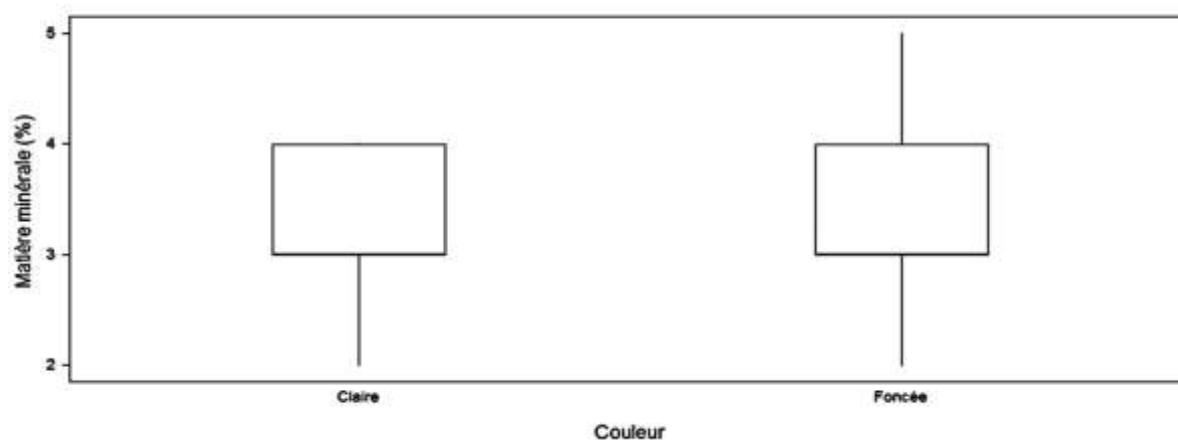
La teneur en eau a été élevée dans les gousses de couleur foncée de 7.90 % par rapport au les gousses de couleur claire de 7.73 %. Cette variation de teneur en eau des caroubes n'était pas significative avec des paramètres de couleur ( $F^{1, 209} = 2.10$  ;  $P = 0,1492$ ) (Fig. 22).



**Figure 22 :** Variation de l'humidité (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées)

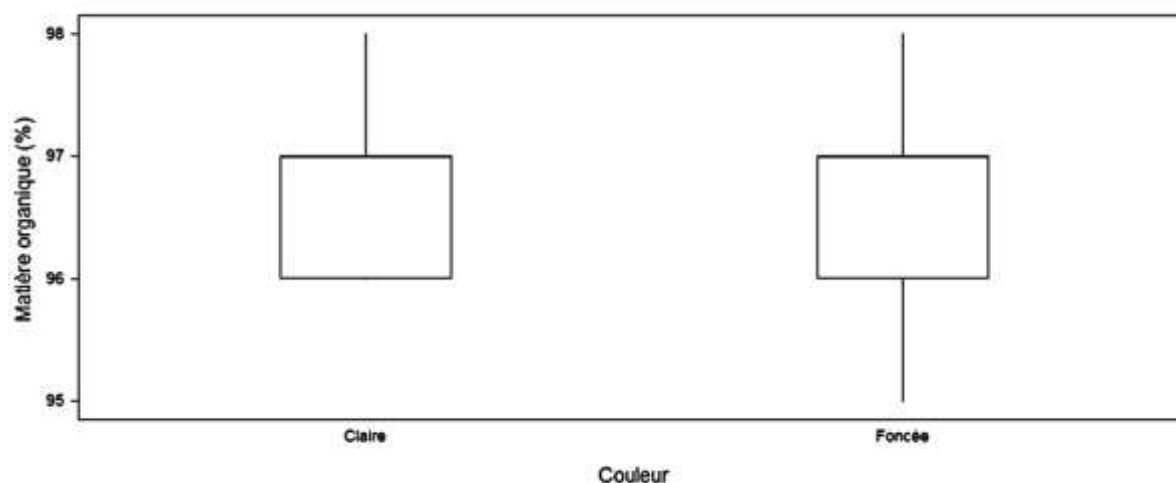
### 2.2.2. Matière minérale et matière organique

La teneur en matière minérale des gousses de caroube a été significativement variable avec les paramètres de couleur ( $F^{1, 40} = 8.55$  ;  $P = 0.0057$ ) et de même pour la matière organique ( $F^{1, 40} = 8.75$  ;  $P = 0.0052$ ). La teneur en matière minérale a été plus élevée au couleur foncée (3.58 %) par rapport aux gousses claires 3.30% (Fig. 23).



**Figure 23 :** Variation de matière minérale (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées)

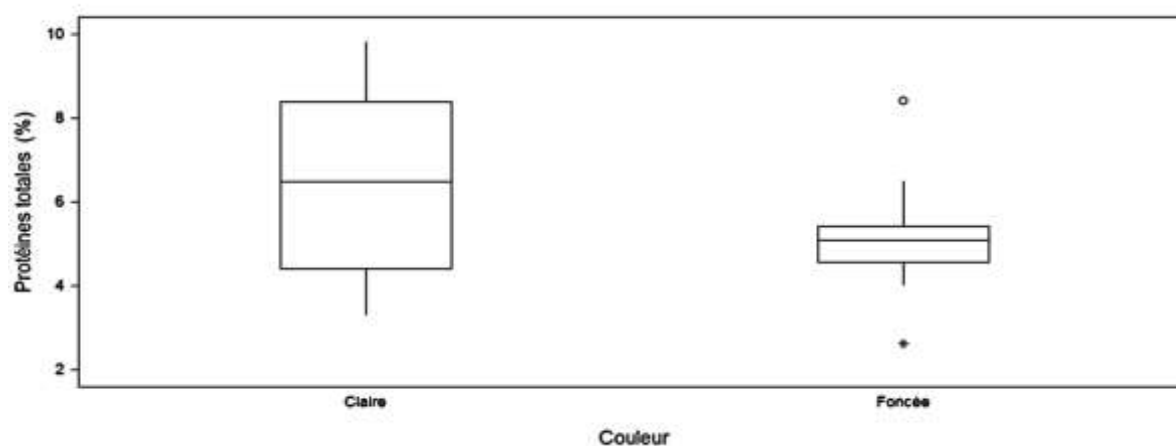
Par contre, la teneur en matière organique a été plus élevée au couleur claire (96.70 %) par rapport aux foncées (96.41%) (Fig. 24).



**Figure 24 :** Variation de matière organique (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées)

### 2.2.3. Protéines totales

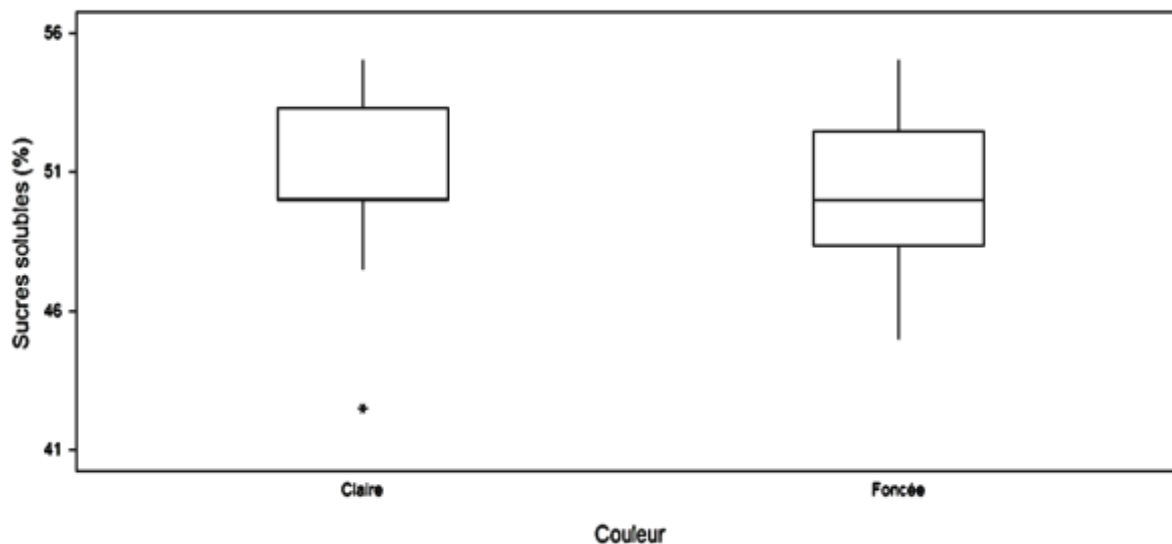
La teneur en protéine totale a été non significative variable avec les paramètres de couleur ( $F^{1, 24} = 4.02$  ;  $P = 0,0564$ ). Le taux de protéine a été plus élevé dans les gousses de couleur claire (6.46%) et Ensuite les gousses de couleur foncée (5.09%) (Fig. 25).



**Figure 25 :** Variation des protéines totales (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées)

### 2.2.4. Sucres solubles

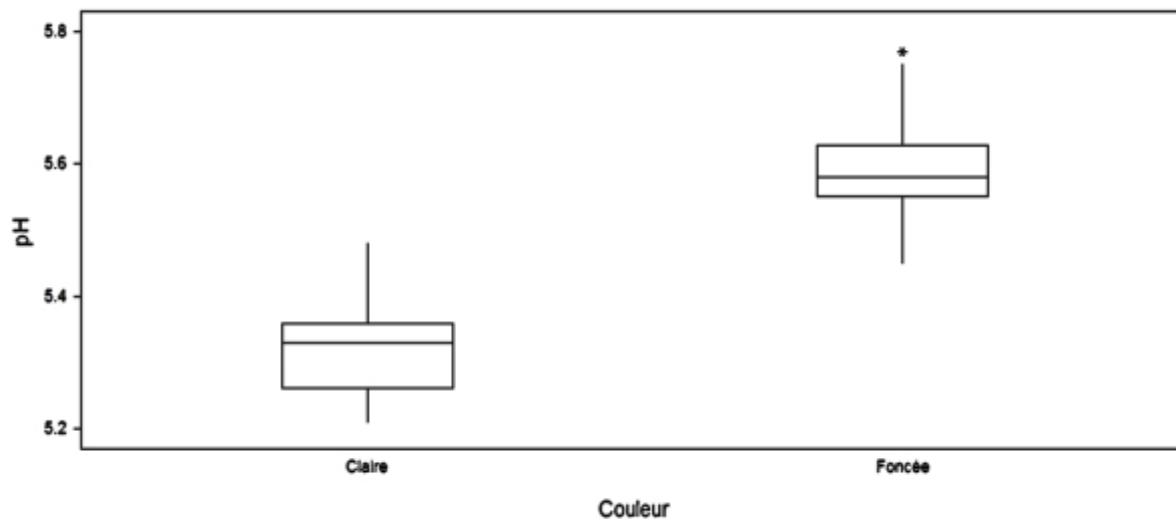
Statistiquement, la variation de taux des sucres solubles a été non significative variable avec les paramètres de couleur ( $F^{1, 40} = 0.65$  ;  $P = 0,4247$ ). Le taux des sucres solubles est plus élevé dans la couleur claire (51.19%) par rapport au couleur foncée (50,43 %) (Fig. 26).



**Figure 26 :** Variation des sucres solubles (%) des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées)

### 2.2.5. pH

Statistiquement, le pH a été significative variable avec les paramètres de couleur ( $F^{1, 40}=122$  ;  $P \leq 0.0001$ ). Le pH plus élevé dans les gousses de couleur foncée (5.58) et Ensuite les gousses de couleur claire (5.31) (Fig. 27).

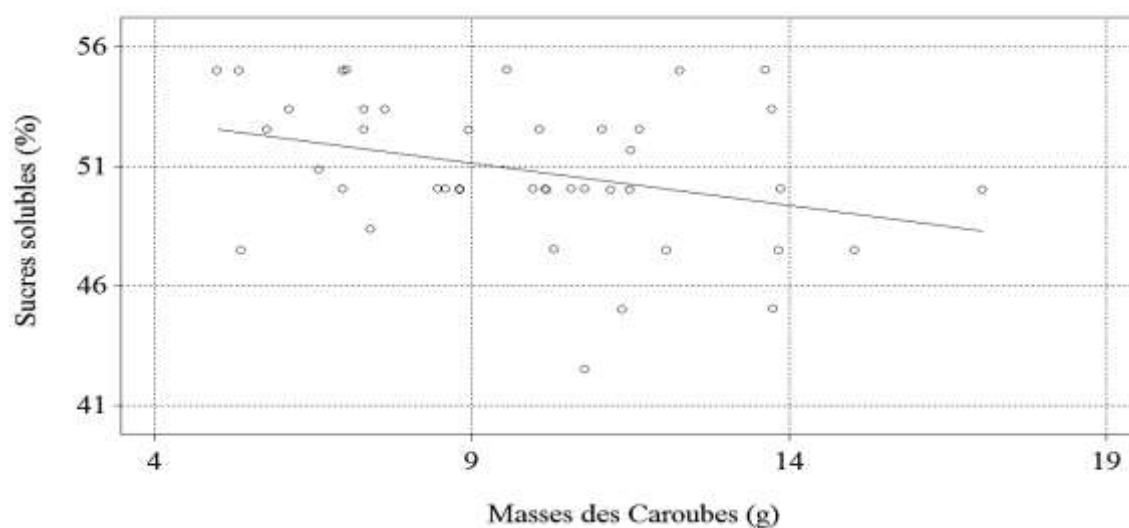


**Figure 27** : Variation du pH des siliques de la caroube de différentes couleurs (claires et foncées)

### 3. Corrélations des caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des siliques de caroube

#### 3.1. Variation des sucres solubles des siliques de caroube en fonction de la masse

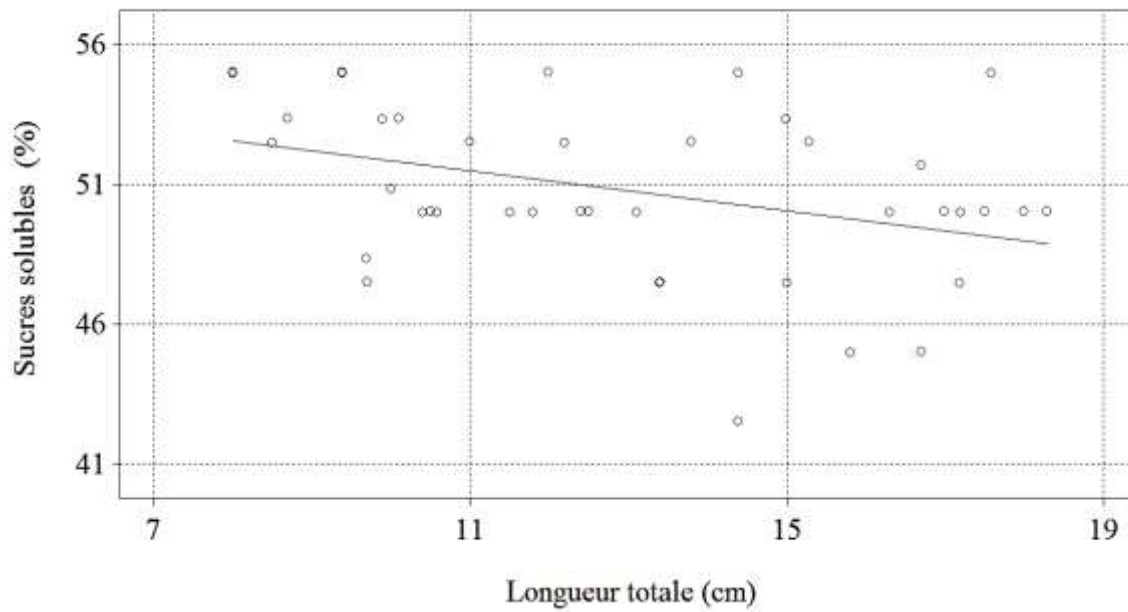
Il existe une corrélation négative et significative entre le taux de sucres solubles et la masse des siliques de caroube ( $r = -0.4207$ ;  $ddl = 41$  ;  $P = 0.0324$ ). Le taux des sucres solubles augmente avec la diminution de la masse des siliques de caroube (Fig. 28).



**Figure 28** : Relation entre le taux des sucres solubles et la masse des siliques de caroube

#### 3.2. Variation des sucres solubles des siliques de caroube en fonction de la longueur totale

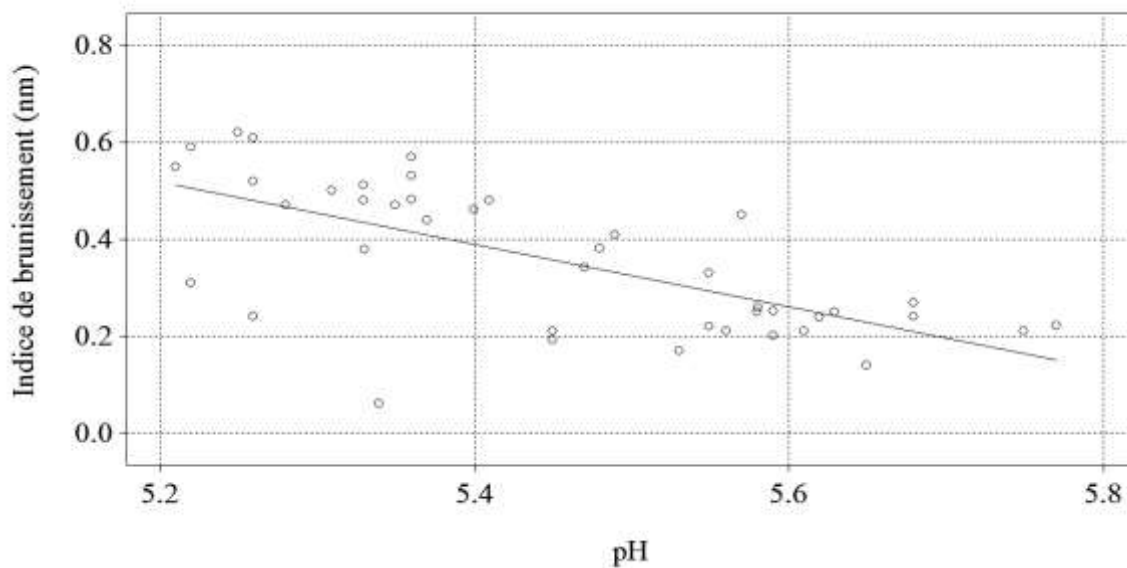
Il existe une autre corrélation négative et significative entre le taux de sucres solubles et la longueur totale des siliques de caroube ( $r = -0.4948$ ;  $ddl = 41$  ;  $P = 0.0102$ ). Le taux des sucres solubles diminue avec l'augmentation de la longueur totale des siliques de la caroube (Fig. 29).



**Figure 29** : Relation entre le taux des sucres solubles et la longueur totale des siliques de caroube

### 3.3. Variation de l'indice de brunissement des siliques de caroube en fonction du pH

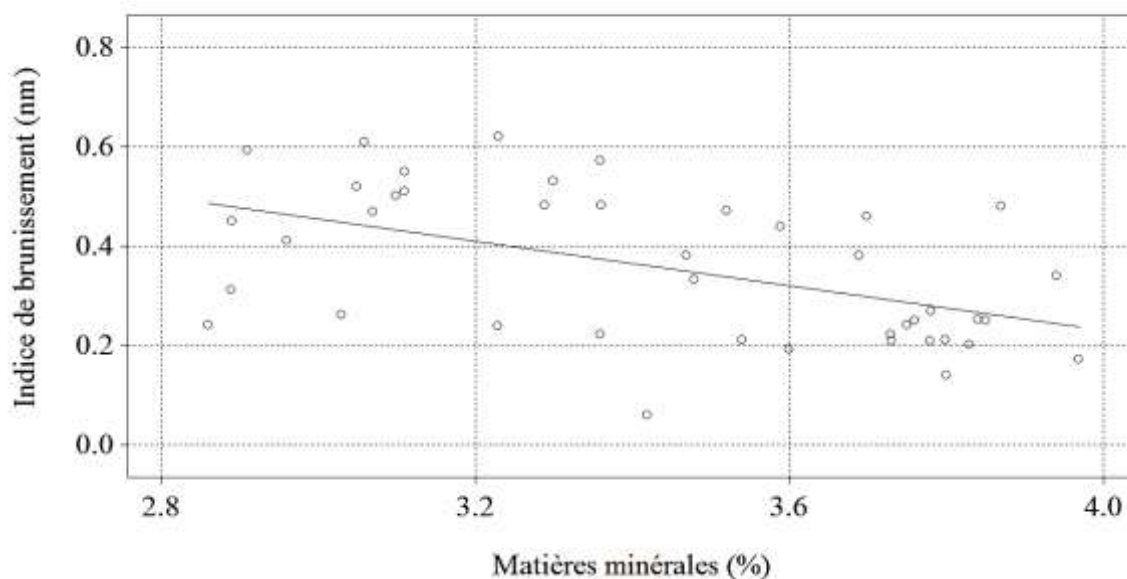
Il existe une relation négative et significative entre l'indice de brunissement et le pH des siliques de caroube ( $r = - 0.6233$ ; ddl =41 ;  $P= 0.0007$ ). L'indice de brunissement des siliques de caroube claire augmente avec la diminution du pH des siliques de caroube claire (Fig. 30).



**Figure 30:** Relation entre l'indice de brunissement et le pH des siliques de caroube

### 3.4. Variation de l'indice de brunissement des siliques de caroube en fonction de la teneur en matière minérale

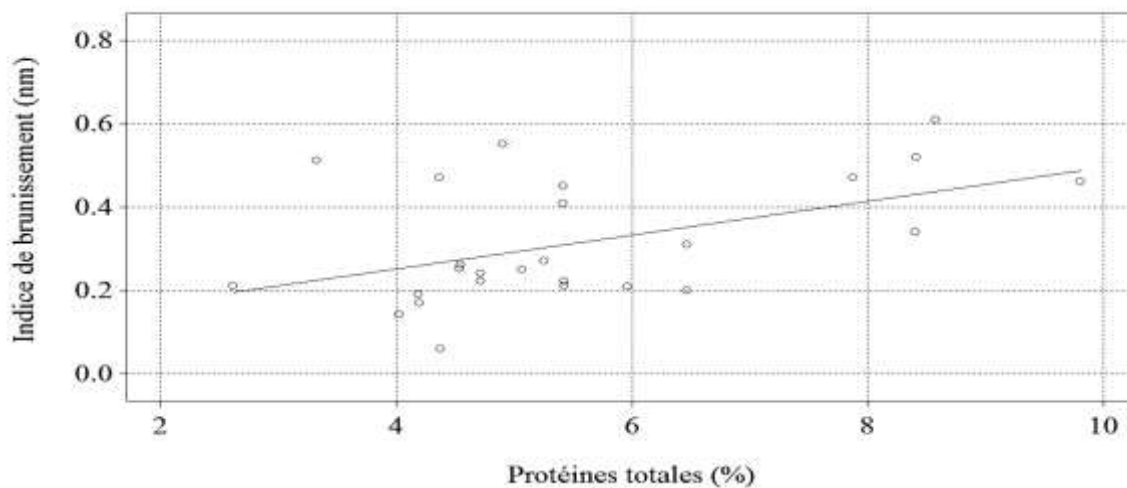
Il existe une autre relation négative et significative entre l'indice de brunissement et la teneur en matière minérale des siliques de caroube ( $r = - 0.5440$ ;  $ddl = 41$  ;  $P = 0.0041$ ). L'indice de brunissement diminue avec l'augmentation de la teneur en matière minérale des siliques de caroube (Fig. 31).



**Figure 31 :** Relation entre l'indice de brunissement et la teneur en matière minérale des siliques de caroube

### 3.5. Variation de l'indice de brunissement des siliques de caroube en fonction de la teneur en protéine totale

La relation entre l'indice de brunissement et la teneur en protéine totale des siliques de caroube a été positif et significatif ( $r = 0.4893$ ;  $ddl = 41$  ;  $P = 0.0112$ ). L'indice de brunissement augmente avec l'augmentation de la teneur en protéine totale des siliques de caroube (Fig. 32).



**Figure 32 :** Relation entre l'indice de brunissement et la teneur en protéine totale des siliques de caroube



*Discussion*

Ce travail a pour objectif de savoir la variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypique et physico-chimique des siliques de caroube. Les résultats illustrent des mesures des paramètres morphométriques et les analyses physico-chimiques indiquent une variation de la valeur nutritive et les paramètres de qualité de la caroube (sucre, protéines, brunissement, matière minérale et pH), selon leur taille (grande, moyenne, petite) et leur couleur (foncée, claire). À cet égard, nous avons essayé de déterminer les gousses de caroube de bonne qualité selon leur valeur nutritive élevée et selon leurs caractéristiques phénotypiques et biochimiques.

Nos résultats laissent apparaître trois différentes formes de gousses qui ont été distinguées dans ce travail, la forme droite est la plus dominante que la forme courbée et légèrement courbée. Selon Brito de Carvalho (1988), les gousses ayant une forme droite sont les plus appréciées et facilement commercialisées par rapport à celles qui ont une forme courbée ou torsadée.

Les caractéristiques des paramètres phénotypiques des siliques de caroube en Algérie sont relativement similaires avec ceux du Liban mentionnés par Haddarah et *al.* (2013). Mais la caroube algérienne a été généralement plus grande que celle des gousses du Maroc cités par Gharnit (1997), Konate (2007) et les gousses de l'Italie mentionnés par Tutin et *al.*(1993), Batlle et *al.*(1996) (Tableau. 9).

La teneur en eau de caroube algérienne a été plus faible que la teneur au Liban (Haddarah et *al.*, 2013). Dans la région de Laghouat, la teneur en eau de la caroube a été plus faible que la teneur en eau de la caroube dans les régions de Blida, Tlemcen et Jijel mentionnés par Gaouar (2011) (Tableau. 10).

La teneur en eau des gousses de caroube a été variable avec les différents paramètres de taille et de couleur, d'où la caroube de moyenne taille et foncée ont été plus humide que les gousses de grande et petite taille. Cette variabilité peut être liée aux conditions environnementales (pluie et humidité) (Albanell et *al.*, 1991), aux cultivars de caroubier (variation génétique) (Avallone et *al.*, 1997), à la durée de maturation (Iipumbu et *al.*, 2008), au moment de la récolte et à la durée de stockage (Biner et *al.*, 2007).

Concernant les matières minérales de caroube en Algérie, elle a été plus élevée que celle des gousses du Liban mentionnés par Haddarah et *al.* (2013). La teneur en matière minérale de la caroube dans les régions de Laghouat a été plus élevée que la teneur en matière minérale de caroube dans la région de Blida. Mais a été plus faible que la caroube dans la région de Jijel et Tlemcen (Gaouar, 2011) (Tableau. 10).

La teneur en matière minérale des gousses de la caroube a été variable avec les différents paramètres de la taille et de la couleur, d'où la caroube foncée et grande taille contient plus de minéraux que les autres formes. D'après Avallone et *al.* (1997), Albanell et *al.* (1991) et Iipumbu et *al.* (2008), Le taux de la matière minérale présente dans la poudre de caroube, varie selon le type de caroube.

La teneur en sucres solubles dans la caroube de la région de Laghouat, a été plus élevée que les gousses de caroube dans les régions de Blida, Jijel et Tlemcen (Gaouar, 2011). Cette teneur a été plus faible dans la caroube en Algérie que la caroube du Liban mentionnés par Haddarah et *al.* (2013) (Tableau. 10).

Les gousses de caroube sont caractérisées par une teneur élevée en sucres que celle présente dans la betterave ou dans la canne à sucre (Petit et Pinilla, 1995).

Le taux de sucres solubles des gousses de la caroube a été variable avec les différents paramètres de taille et de couleur, d'où la caroube claire et de petite taille contient plus de sucre que d'autres formes.

Selon plusieurs auteurs (Karkacier et Artik, 1995; Kumazawa et *al.*, 2002 ; Biner, 2007), Le taux de sucre variable selon de nombreux facteurs tels que l'origine géographique, les conditions climatiques, la diversité entre les variétés, la récolte et le stockage, et les facteurs technologiques tels que l'extraction et les méthodes d'analyse.

La caroube de la région de Laghouat contient une valeur des protéines totale plus faible que les caroubes dans les régions de Blida, Tlemcen et Jijel mentionnés par Gaouar (2011). La teneur en protéines de caroube en Algérie a été plus élevée que la teneur du Liban cités par Haddarah et *al.* (2013) (Tableau. 10).

La teneur en protéines des gousses de caroube a été variable avec les différents paramètres de taille et de couleur, d'où les caroubes de grande taille et claire contient plus de protéines que les gousses de moyenne et petite taille.

Selon les résultats mentionné par Gaouar (2011), les graines de caroube contiennent de taux élevé de protéine, alors on trouve dans les grandes gousses de caroube le taux de protéine plus élevé, parce qu'ils contiennent un grande nombre des graines.

Le brunissement des gousses de la caroube varie lui aussi avec les différents paramètres de taille et de couleur, d'où l'indice de brunissement de caroube de couleur claire et de moyenne taille est plus élevé que la couleur foncée et d'autres formes.

Le brunissement des gousses de caroube augmente relativement avec le taux de protéine. Effectivement, les protéines contribuent au phénomène de brunissement enzymatique, cette dernier correspond à la conversion des composés phénoliques en polymères colorés, où le polyphénol oxydase (PPO) est l'enzyme clé de cette dégradation (Concellon et *al.*, 2004).

Le pH des gousses de caroube a été variable avec les différents paramètres de taille et de couleur, d'où la caroube claire et de grande taille sont plus acides que d'autres formes.

**Tableau 9 :** Paramètres phénotypiques des gousses de caroube de différents pays

Références	Pays	Paramètres phénotypiques			
		Longueur (cm)			Largeur (cm)
		Petite	Moyenne	Grande	
Présent travail, 2019	Algérie	8 – 10,90	11 – 14,9	15 – 24	1,5–2,7
Battle et <i>al.</i> , 1997	Italie	10 – 14	14 – 15	15 – 20	1,5–3,5
Tutin et <i>al.</i> , 1993	Italie	10 – 14	14 – 15	15 – 20	1,5–2,5
Konate, 2007	Maroc	12,5-13,5	14 – 14,5	$L \leq 16$	2 –2,4
Gharnit, 1997	Maroc	X =14,22			1,5-1,66
Haddarah et <i>al.</i> , 2013	Liban	11,42 – 24,25			1,73-2,50

X : Moyenne

**Tableau 10** : Paramètres physico-chimiques des gousses de caroube l'Algérie et celles du Liban

Références	Pays	Région	Paramètres physico-chimiques				
			HU (%)	MS (%)	SS (%)	PT (%)	MM (%)
Présent travail, 2019	Algérie	Laghouat	7,82	92,18	50,81	5,57	3,07
Gaouar, 2011		Jijel	9,6	90,40	44,9	6,38	4
Gaouar, 2011		Tlemcen	10,6	89,40	37,5	6,50	3,83
Gaouar, 2011		Blida	11,23	88,68	45,3	6,56	2,25
Haddarah et <i>al.</i> , 2013	Liban	Liban	14,50	85,5	80,04	4,43	2,80

MS : Matière Sèche

HU : Humidité

SS : Sucre Soluble

PT : Protéine totale

MM : Matière Minérale



***Conclusion***

Ce présent travail consiste à l'étude les différentes paramètres morphologiques (taille et couleur) et les caractéristiques biochimiques (sucres, protéines, matière minérale,...ect.) qui affectent la valeur nutritive des siliques de la caroube.

L'étude a montré des corrélations entre les caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des gousses, qui contribuent à déterminé les gousses de caroube de la valeur nutritive la plus élevée et de bonne qualité.

La teneur en eau augmente dans les gousses foncée de taille moyenne, ainsi que, la teneur en matière minérale est élevé dans ces gousses. Cependant, les gousses de caroube de couleur claire et petite taille ont étaient moins humide et contiennent peu de matière minérale, Ces derniers peuvent être utilisées dans la préparation de farine de caroube ou mélange au cacao.

Le pH des gousses de caroube a été légèrement acide avec une moyenne de 5,45. Il varie avec les paramètres de taille, couleur et aussi en fonction de l'humidité, d'où les gousses de couleur claire et les moins humides ont étaient les plus acides.

Le taux des sucres solubles a été plus élevée dans les gousses de caroube de couleur claire et petite taille, ces gousses peuvent être choisis dans l'industrie alimentaire et utilisées comme édulcorant et épaississant pour la préparation de jus et autres aliments.

Le taux de protéine et l'indice de brunissement ont était élevées dans les gousses de caroube de couleur claire et de grande taille. Effectivement, les protéines contribuent au phénomène de brunissement enzymatique, d'où l'indice de brunissement des gousses de caroube augmente avec l'augmentation de taux de protéine. Les gousses riches en protéine peuvent être utilisées, de préférence, dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et aussi l'alimentation animale comme source d'azote.

D'une façon générale, la gousse de caroube contient une valeur nutritive très important, d'où la caroube riches en sucres totaux, entre 42,5 et 55 %, un taux de protéines totales estimé en moyenne de 5,57 %. Le taux de matière minérale, lui, varie entre 2 et 5 %.

La valeur nutritive varie considérablement selon les paramètres de taille et de couleur et aussi les paramétré biochimique, d'où les gousses de caroube de couleur claire de différentes tailles sont caractérisées par une valeur nutritive importante par rapport aux les gousses de caroube foncée.

En perspectives, nous espérons approfondir et perfectionner cette étude par l'utilisation des techniques d'analyses les plus performantes. Le suivi et l'analyse de la composition des polyphénols (tanins), peut définir l'intérêt d'utilisation industriel aussi bien pour des études nutritionnelles que pour son utilisation thérapeutique, ce qui peut donner de l'importance au caroubier dans le contexte socio-économique.

# *Références Bibliographiques*

- **Aafi A., (1996).** Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). Centre Nationale de la recherche Forestière, Rabat (Maroc), 10p.
- **Abi Azar R., (2007).** Milk protein complexation by green carob pods extract. Technological properties of obtained coagulums. Memoire: AgroParisTech, 197p.
- **Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., (2007).** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, 153 : 1-4.
- **Albanell E., Caja G. et Plaixats J., (1991).** Characteristics of Spanish carob pods and nutritive value of carob kibbles. Options Méditerranéen, 16: 135-136.
- **A.N.R.H., (2004).** L'atlas pratique de l'Algérie, Edition populaire de l'armée (EPA), 116p.
- **A.O.A.C., (1992).** Official methods of analysis, Journal of the Association of Official Agricultural Chemists INTERNATIONAL, Washington. D.C. 48(6): 376 - 384.
- **Avallone R., Plessi M., Baraldi M. et Monzani A., (1997).** Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua L.*): protein, fat, carbohydrates and tannins. Journal of Food Composition Anal, 10:166-172.
- **Ayaz F.A., Torun H., Ayaz S., Correia P.J., Alaiz M., Sanz C., Gruz J.I. et Strand M., (2007).** Determination of Chemical Composition of Anatolian Carob Pod (*Ceratonia siliqua L.*): Sugars, Amino and Organic Acids, Minerals and Phenolic Compounds, Food Qual, 30: 1040-1055.
- **Bate-Smith, E.C., (1973).** Haem analysis of tannins: the concept of relative astringency. Phytochemistry 12 : 907-911.
- **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.
- **Battle I., Rovira M. et Tous J., (1996).** Carob germplasm characterization using izozymes. In Proceedings of the III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal.
- **Barariu I., (1995).** Matières premières utilisées dans l'industrie alimentaire, Ed. Didactică și Pedagogică, Bucarest (Roumanie).
- **Barracosa P., Osório J. et Cravador A., (2007).** Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratonia siliqua L.*) cultivars in Algarve region. Scientia Horticulturae. 114: 250-257.
- **Baum N., (1989).** Arbres et arbustes de l'Égypte ancienne , 354 p.

- **Bengoechea C., Romero A., Villanueva A., Moreno G., Alaiz M., Milla´ N F., Guerrero, A. et Puppo M C., (2008).** Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua L.*) germ, Proteins. Food Chemistry, 107: 675- 683.
- **Benmahioul B., Kaïd-Harche M. et Daguin F., (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. Forêt méditerranéenne, 32 (1) : 51-58.
- **Berrougui G., (2007).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), une richesse nationale aux vertus médicinales, Maghreb Canada Express, 5(9).
- **Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Aksu M. et Pkmezci M., (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua L.*) in Turkey, Food Chemistry, 100: 1453-1455.
- **Bosscher D., Van Caillie-Bertrand M. et Deelstra H., (2001).** Effect of thickening agents, based on soluble dietary fiber, on the availability of calcium, iron, and zinc from infant formulas. Nutrition, 17(7-8): 614-618.
- **Boudy P., (1950).** Economie forestière Nord-Africain, Tome II : Monographie et traitement des essences forestières, Ed. Larose, Paris, 443-445.
- **Brito de Carvalho J. H., (1988).** Criteria for evaluation of carob varieties, 558-566 in Proceedings of the II Internation Carob Symposium (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain.
- **Calixto F.S. et Canellas J., (1982).** Components of nutritional interest in carob pods (*Ceratonia siliqua L.*), Journal of the Science of Food Agriculture, 33: 1319-1323.
- **Canellas J., Rossello C., Simal S., Solet L. et Mulet A., (1993).** Storage conditions affectng quality of raisins. Journal of food science 58(4): 805-809.
- **C.D.F., (1998).** Conservation des forêts, Algérie.
- **Concellon, A., Anon, M.C. et Chaves, A. R., (2004).** Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena L.*) during storage at low temperature. Food Chemistry 88: 17-24.
- **Correia P. J. et Martins-Loucao M. A., (1995).** Seasonal variations of leaf water potential and growth in ferrigated carob-trees (*Ceratonia siliqua L.*). Plant and Soil, 172: 199-206.
- **Corsi L., Avallone R., Cosenza F., Farina F., Baraldi C. et Baraldi M., (2002).** Antiproliferative effects of (*Ceratonia siliqua L.*) on mouse hepatocellular carcinoma cell line, Fitoterapia, (73): 674-684.
- **Custódio L., Escapa A.L., Fernandes E., Fajardo A., Rosa A., Albericio F., Neng N., Nogueira J.M.F. et Romano A., (2011).** Phytochemical profile antioxidant cytotoxic activities

of the carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) germ flour extracts, Plant Foods Human Nutrition 66: 78-84.

- **Daas P., Schols H. et de Jongh H., (2000).** On the galactosyl distribution of commercial galactomannans. Carbohydr. Res, 329: 609-619.
- **Dakia P., Wathélet B. et Paquot M., (2007).** Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germ. Food Chem, 102: 1368-1374.
- **Dea I. et Morrison A., (1975).** Chemistry and interactions of seed galactomannans. Adv. Carbohydr. Chem. Biochem, 31: 241-312.
- **De Candolle A., (1983).** L'origine des plantes cultivées. Balière, Paris, France.
- **D.P.A.T., (2001).** Direction Planification d'Aménagement de Territoire, journal officiel de la république algérienne, N° 61.
- **FAOSTAT., (2010).** www.fao.org.
- **Filioglou M. D. et Alexis M. N., (1987).** Use of the carob products in trout nutrition: the effects of growth inhibitors of the carob seed germ meal on digestion and studies on deactivation methods. Proceedings of the Second Panhellenic Symposium of Oceanography and Fisheries 618-624.
- **Filioglou M. D. et Alexis M. N., (1989).** Protein digestibility and enzyme activity in the digestive tract of rainbow trout fed diets containing increasing levels of carob seed germ meal. In N. De Pauw, E. Jaspers, H. Ackefors, et N. Wilkins (Eds.), Aquaculture. Bredene, Belgium: European Aquaculture Society. A biotechnology in progress, 839-843.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010).** Non-wood Forest Products in the Near East: A Regional and National Overview. FAO Corporate Document Repository.
- **Gabriela Bernardo-Gila M., Roque R., Roseiro L. B., Duarte L. C., Girio F. et Esteves P., (2011).** Supercritical extraction of carob kibbles (*Ceratonia siliqua L.*), Journal of Supercritical Fluid, 59: 36- 42.
- **Gaouar N., (2011).** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Mémoire. Agro.Tlemcen, p 47-62.
- **Gharnit N., Mtili N., Ennabili A. T. et Ennabili A., (2001).** Social characterization and exploitation of carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) from Mokrisset and Bab Taza (NW of Morocco). Sci. Lett. 3(2).

- **Gharnit N., (1997).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), Essais de propagation in vitro et intérêt socioéconomique au cercle de MOKRISSET (NW. Maroc). Mémoire du D.E.S.A., 576(5) GHA. Univ. Abdel Malek E. Maroc.
- **Gharnit N., (2003).** Caractérisation et essai de régénération in vivo du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) originaire de la province de Chefchaouen (Nord-Ouest du Maroc). Mémoire en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger, Maroc.
- **Gonçalves, S., Correia, P.J., Martins-Loução, M.A. et Romano, A., (2005).** A new medium formulation for in vitro rooting of carob tree based on leaf macronutrients concentrations, *Biologia Plantarum* 49 (2): 277-280.
- **Goycoola F.M., Morris E.R. et Gidley M.J., (1995).** Viscosity of galactomannans at alkaline and neutral pH: evidence of “hyperentanglement” in solution. *Carbohydr. Polym.*, 27: 69-71.
- **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. et Ghoul M. (2013).** Morphological and chemical variability of Lebanese carob varieties. *European Scientific Journal*, 9(18): 367-368.
- **Halitim A., (1998).** Les sols des régions arides d’Algérie. Éd. OPU : Algérie. p. 384.
- **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. ind. san et environn*, 37-55.
- **Iipumbu L., Sigge G.O. et Britz T.J., (2008).** Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia Siliqua L.*) cultivars and development of nutritional food products for a range of market sectors. South Africa: Faculty of AgriSciences, department of Food Sciences, Stellenbosch University.
- **Kaderi M., Ben Hamouda G., Zaeir H., Hanana M. et Hamrouni L., (2014).** Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur (*Ceratonia siliqua L.*). *Phytothérapie*, 5p.
- **Khadraoui A., (2004).** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes .éd. hoama : Ouargla.
- **Karkacier M. et Artik N., (1995).** Determination of physical properties, chemical composition and extraction conditions of carob bean (*Ceratonia siliqua L.*). *Gida* 20 (3): 131-136.

- **Konate I., (2007).** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) et des Bactéries endophytes qui lui sont associées. Université Mohammed V-Agdal Faculté des sciences Rabat, Mémoire, p 52-57.
- **Kök M. S., Hill S. E. et Mitchell J. R., (1999).** A comparison of the rheological behaviour of crude and refined locust bean gum preparations during thermal processing. *Carbohydrate Polymers*, 38(3): 261-265.
- **Kumazawa S., Taniguchi M., Suzuki Y., Shimura M., Kwon M.S. et Nakayama T., (2002).** Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *J Agric Food Chem*, 50: 7-373.
- **Lavallée P., (1962).** Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie. Alger, 47p.
- **Leroy A., (1929).** Elevage rationnel des animaux domestiques. Hachette ed., 448p.
- **Loeb H., Vandenplas Y., Würsch P. et Guesry P., (1989).** Tannin-rich carob pod for the treatment of acute onset diarrhea. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 8: 480-485.
- **Marakis S., (1996).** Carob bean in food and feed: current status and future potentials-A critical appraisal, *J Food Sci Technol*, 33: 365-383.
- **Makris D.P., et Kefalas P., (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua L.*) as a source of polyphenolic antioxidants, *Food Technology and Biotechnology*, 42: 105-108.
- **Multon J.L., (1984).** Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires. Paris: Lavoisier.
- **Neukom H., (1988).** Carob bean gum: properties and applications. In: Fito P. et Mulet A., eds. *Proceedings of the II International Carob Symposium, Valencia, Spain*, 551-555.
- **ONM., (2019).** Office national de Météorologie, Laghouat.
- **Owen R.W., Haubner R., Hull W.E., Erben G., Spiegelhalter B., Bartsch H. et Haber B., (2003).** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre. *Food Chem Toxicol.* 41: 1727-1738.
- **Petit M. D. et Pinilla J. M., (1995).** Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from Carob Pods *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 28: 145-152.
- **Plowright T. R., (1951).** The use of carob flour (Arobon) in a controlled series of infant diarrhoea. *J. Pediatr*, 39:16.
- **Pouget M., (1980).** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises. Paris: ORSTOM, 116: 8-556 p.
- **Putod, R., (1982).** Les arbres fourragers : le févier. *Forêt méditerranéenne*, 4 (1): 33-42.

- **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 M. N., (1994).** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans: Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, 79-85.
- **Rishani N. et Rice R.P. (1988).** Use of carob as a potting medium component. HortScience 23: 334-336.
- **Roukas T., (1993).** Ethanol production from carob pods by *Saccharomyces cerevisiae*, Food Biotechnology 7 :159-176.
- **Roukas T., (1996).** Continuous ethanol production from nonsterilized carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* on mineral kissiris using a two-reactor system, Applied Biochemistry and Biotechnology 59: 299-307.
- **Roukas T., (1998).** Citric acid production from carob pod extract by cell recycles of *Aspergillus niger*, Food Biotechnology 12:91-104.
- **Roukas T., (1999).** Citric acid production from carob pod by solid-state fermentation, Enzyme and Microbial Technology 24: 54-59.
- **Saidi R., Lamarti A. et Badoe A., (2007).** « Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 146 : 113-129.
- **Sánchez S., Lozano L.J., Godínez C., Juan D., Pérez A. et Hernández F.J., (2010),** Carob pod as a feedstock for the production of bioethanol in Mediterranean areas Applied Energy , 87(11): 3417-3424.
- **Sandolo C., Coviello T., Matricardi P. et Alhaique F., (2007).** Characterization of polysaccharide hydrogels for modified drug delivery. Eur. Biophys. J. 36 (7): 693-700.
- **Santos M., Rodrigues A. et Teixeira J. A., (2005).** Production of dextran and fructose from carob pod extract and cheese whey by *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B512(f), Biochemical Engineering Journal 25: 1-6.
- **Sbay H. E., (2008).** le caroubier au Maroc un arbre d'avenir. La Collection Maroc Nature est éditée par le Centre de Recherche Forestière Directeur , 7 p.
- **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.

- **Schweinfurth G., (1894).** Sammlung arabischaethiopischer Pflanzen, Ergebnisse von Reisen in dem Jahren 1881, 1888-89, 1891-92. Bull, Herb. Boissier 2 : 1-114.
- **Saura-Calixto F. J. (1987).** Dterminación de la composición química de algarroba (*Ceratonia siliqua L.*), Azúcares, taninos, pectinas y aminoácidos. Anales de Bromatologia., 39: 81- 93.
- **Stephan M. P., Oliveira M., Teixeira K. R. S., Martinez-Drets G. et Döbereiner J., (1991).** Physiology and dinitrogen fixation of *Acetobacter diazotrophicus*. FEMS Microbiol. Lett. 77: 67-72.
- **Stuessy T. E. (1990).** The systematic evolution of comparative data. Columbia Univ. Press, New York, USA.
- **Tous J., Batlle I. et Romero A., (1995).** Prospecciones de variétales d'algarrob en Andalusia. Informations Technique Economique Agraria, 91 (3) :164-174.
- **Tucker S. C., (1992).** The developmental basis for sexual expression in (*Ceratonia siliqua L.*) (Leguminosae: Ceasalpinoideae: Cassieae), Am. J. Bot. 79 (3): 367- 327.
- **Turhan, I., Bialka, K.L., Demirci, A. et Karhan, M., (2010).** Ethanol production from carob extract by using *Saccharomyces cerevisiae*. Bioresource Technology 101: 5290- 5296.
- **Tutin T. G., Burges N. A., Chater A. O., Edmondson, Heywood V. H., Moore D. M., Valetine D. H., Waters S. M. et Webb D.A., (1990/1993).** Flora Europaea. Cambridge University Press. UK.
- **Vavilov N.I. (1951).** The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants [translated from the Russian by K.S. Chester]. The Ronald Press Co., New York.
- **Vourdoubas J., Makris P., Kefalas J. et Kaliakatsos G. (2002).** In: Proceedings of National Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy. Industry and Climate Protection, Amsterdam, 489-493.
- **Winer, N., (1980).** The potencial of the carob (*Ceratonia siliqua L.*). Int. Tree Crops J. 1:15- 26.
- **Yousif A.K. et Alghzawi H.M., (2000).** Processing and characterization of carob powder, Food chemistry, 3(69): 283-287.
- **Zitouni A., (2010).** Monographie et perspectives d'avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) en Algerie. Mémoire. Agrn., INA, El-Harrach, 201 p.
- **Zohary M., (1973).** Geobotanical Foundations of the Middle East, 2. Stuttgart.
- **Zouhair O., (1996).** Le caroubier, situation actuelle et perspectives d'avenir, Document interne, Eaux de Forêt, Maroc, 22p.



**Titre du mémoire : Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des siliques de la caroube**

**Nom :** Kabouche

**Prénom :** Nadia

**Encadreur :** Adamou Ala-Eddine

**Résumé :** Le caroubier est une espèce agro-sylvo-pastorale ayant d'énormes intérêts socio-économiques, écologiques et alimentaire dans les pays méditerranéens. Dans ce travail, notre but était l'étude des différents paramètres morphologiques et les caractéristiques biochimiques qui affectent la valeur nutritive et la qualité des siliques de la caroube. L'échantillonnage a été réalisé en 2018 sur différents caroubiers de Laghouat, au même stade de maturation.

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont montré une variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des siliques de la caroube. L'analyse de la composition de la caroube, révèle une richesse en sucres (50,81 %), protéines totales (5,57 %), en matière minérale (3,07 %). Ces résultats varient selon la taille et la couleur, où les gousses de caroube de couleur claire sont caractérisées par une valeur nutritive important par rapport aux gousses de caroube foncées.

Les résultats ont été discutés dans un contexte biogéographique dans la lumière des connaissances sur la valeur nutritive des siliques de la caroube selon différents paramètres.

**Mots clés :** Caroube, Laghouat, Couleur, Taille, Paramètres physico-chimiques, Valeur nutritive.

**Title of memory: Variation of the nutritional value with the phenotypic and physico-chemical characteristics of the carob**

**Name:** Kabouche

**First Name:** Nadia

**Framer:** Adamou Ala-Eddine

**Abstract:** The carob tree is an agro-sylvo-pastoral species with enormous socio-economic, ecological and alimentary interests in the Mediterranean countries. In this work, our goal was the study the different morphological parameters and the biochemical characteristics that affect the nutritional value and quality of the carob. The sampling was carried out in 2018 on different carob trees of Laghouat, at the same stage of maturity.

The results obtained during this study showed a variation of the nutritional value with the phenotypic and physicochemical characteristics of carob. The analysis of the composition of carob reveals high sugar content (50.81%), total protein (5.57%) and mineral value (3.07%). These results vary according to size and color, where light-colored carob pods of different sizes are characterized by important nutritional value compared to the pods of dark carob pods.

The results were discussed in a biogeographic context in the light of knowledge about the nutritional value of carob pods according to different parameters.

**Keywords:** Carob, Laghouat, Color, Size, Physico-chemical parameters, Nutritional value.

**عنوان المذكرة : تغير القيمة الغذائية مع الخصائص المظهرية والفيزيوكيميائية لقرون الخروب**

**المؤطر:** عظاموعلاءالدين

**الاسم:** نادية

**اللقب:** كعبوش

**ملخص:** تعتبر شجرة الخروب من الأنواع الرعوية الزراعية ذات الاهتمامات الاجتماعية، الاقتصادية والبيئية والغذائية الهائلة في بلدان البحر المتوسط. في هذا العمل، كان هدفنا دراسة المعلمات المورفولوجيا المختلفة والخصائص الكيميائية الحيوية التي تؤثر على القيمة الغذائية وعلى جودة قرون الخروب. تم أخذ العينات في عام 2018 لأشجار الخروب المختلفة في الأغواط، في نفس مرحلة النضج.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة تباين في القيمة الغذائية مع الخصائص المظهرية والفيزيوكيميائية للقرون الخروب. يكشف تحليل تركيبة الخروب عن ثرائها بالسكريات (50.81%) والبروتينات الكلية (5.57%) و المواد المعدنية (3.07%). هذه النتائج تختلف حسب الحجم واللون، حيث تتميز قرون الخروب ذات الألوان الفاتحة بأحجام مختلفة بقيمة غذائية كبيرة مقارنة بقرون الخروب الداكنة.

تمت مناقشة النتائج في السياق بيوجغرافي لمعرفة تباين القيمة الغذائية لقرون الخروب وفقاً لمعايير مختلفة.

**كلمات مفتاحية:** الخروب، الأغواط، اللون، الحجم، العوامل الفيزيوكيميائية، القيمة الغذائية.