

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵏ ⵉⵎⵎⴰⵔⵉⵏ ⵏ ⵓⵏⵉⵔⵉⵏ ⵏ ⵉⵏⵉⵎⴰⵏⵏ

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES



Mémoire de fin de cycle

En vue d'obtention du diplôme de Master académique en Sciences Alimentaires

Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Caractérisation morphologique et physico-chimique de la caroube

Présenté par :

-M^{lle} DJEDDAR Lyna

-M^{lle} MADADI Thilleli

Devant le jury :

-Présidente : M^{me} ALLANE T.

Maitre de Conférences Classe B (UMMTO)

-Examinatrice : M^{me} HAMMAD I.

Maitre de Conférence Classe B (UMMTO)

-Encadreur : M. MOHAND KACI H.

Maitre-Assistant Classe B (UMMTO)

Année universitaire :2023/2024

REMEIRCEMENT

Nous remercions tout d'abord DIEU, qui nous a donné le courage, la patience et la persistance durant toutes ces longues années d'études et nous avoir guidées jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à notre promoteur M. MOHAND KACI. Hamid, pour son encadrement précieux, merci pour votre disponibilité, vos conseils, votre orientation et vos encouragements tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail. Nous tenons particulièrement à exprimer notre gratitude à la Professeur M^{me} ALLANE Taous, qui nous a fait l'honneur de présider le jury, au professeur M^{me} HAMMAD/DOUFENE Imane qui a accepté d'être examinatrice de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à M^{lle} CHENAH May, sa disponibilité et son aide, sans faille.

Un grand merci à tous nos enseignants du département des Sciences Alimentaires pour tout le savoir qu'ils ont donné durant notre cursus universitaire.

Un grand merci à l'ensemble de laboratoire du département Sciences Alimentaire, M^{me} BOUAZZOUNI Khadija et M^{me} CHAOUCHI Damia pour leurs soutiens et leurs entiers disponibilités sans faille.

Enfin, nous remercions nos familles, nos proches et amis pour leurs soutiens et leurs patiences durant la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Avant tout je remercie ALLAH tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail. Merci de m'avoir éclairé le chemin de la réussite.

Je dédie ce Modest travail A :

*A la mémoire de mon très chère père **Ahmed**, dont l'amour, la sagesse et le soutien continuent de guider mes pas. Ce mémoire est dédié à toi papa, avec toute ma gratitude et mon amour éternel. Dieu l'accueille dans son vaste paradis et lui accorde sa miséricorde.*

*A ma très chère et tendre mère **Dahbia**, source d'affection de courage et d'inspiration qui a autant sacrifié pour me voir atteindre ce jour.*

*A mes chers frères **Karim** et **Jugurtha***

*A mes jolies sœurs **Rachida** et **Hakima***

A mes copines

*A ma binôme « **Thilleli** » avec qui j'ai eu l'honneur de travailler et de partager cette belle expérience.*

*A mes chères nièces **Léa** et **Nelya** et mon neveu **Silas**, vous êtes les étoiles qui illuminent ma vie. Chaque sourire, chaque éclat de rire, et chaque moment passé avec vous est un trésor inestimable. Je vous aime énormément.*

A tous les étudiants du département des Sciences Alimentaires, en particulier ceux de la section M2 Contrôle de Qualité 2024(AACQ). A mes enseignants et professeurs

A toutes les personnes que je n'ai pas mentionnées, mais à qui je pense, ainsi qu'à tous ceux qui me sont chers.

DJEDDAR Lyna.

Dédicaces

*Grace au **dieu** le tout puissant, qui m'a donné la volonté, qui m'a éclairé vers le bon chemin, et qui me permet d'arriver à ce but.*

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie.

A mon paradis, à la prune de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin, ma moitié,

Maman « Fazia »

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon prince.

Papa « Mohand »

A mes merveilleux frères, « mouloud, Hamid, Omar, Aghiles, Mohamed, Hakim »

Chacun de vos sourires a illuminé mon chemin, Chaque mot d'encouragement a nourri mes rêves

A travers ce travail, je célèbre notre lien indéfectible, Merci d'avoir été mes anges gardiens, cette réussite est aussi la vôtre.

A mes chères sœurs « Kahina, Layla, Katia, Tina »

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien indéfectible tout au long de mon travail, votre encouragement et votre compréhension ont été des piliers essentiels dans ce parcours. Merci pour vos conseils avisés.

A ma grande mère « Zahra » à qui je souhaite une longue vie.

A mon fiancé et à ma précieuse belle famille.

A tous les membres de ma grande famille, mes tantes et mes cousines.

A mes copines « Djamila, Zahra »

A ma binôme « Lyna » avec qui j'ai partagé tant de moments précieux.

A mes petits anges

« Liza, Meriem, Maya, Imad, Rayen, Mohand, Aissa, Aliciea, Léa, Iline, Ourmedhan, Aylan, Aymen, Ilyas, Lina »

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

MADADI Thilleli.

Listes des abréviations

°C	Degré Celsius
ml	Millilitre
mg	Milligramme
kg	Kilogramme
g	Gramme
L	Litre
mm	Millimètre
min	Minutes
nm	Nanomètre
µl	Microlitre
µg	Microgramme
%	Pourcentage
E	Equivalent
N°	Numéro
V	Volume
v/v	Volume par volume
pH	Potentiel d'Hydrogène
DO	Densité Optique
L	Longueur
l	Largeur
e	Épaisseur
p	Poids

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Of the United Nations.

FAO : Food and Agriculture Organizations (Organisation Alimentaire et Agricole).

MS : Matière Sèche.

QX : quintaux.

DSA : Direction des Services Agricole.

TC : Teneur en Cendre.

TST : Teneur en Sucres Totaux.

TP : Teneur en protéines.

TL : Teneur en Lipides.

TPT : Teneur en Polyphénols Totaux.

TTC : Teneur en Tanins Condensés.

TFT : Teneur en Flavonoïdes Totaux.

AT : Acidité Titrable.

Liste des figures :

Figure 01 : Arbre du caroubier <i>Ceratonia siliqua</i> L.....	4
Figure 02 : La répartition géographique de caroubier dans le monde.....	5
Figure 03 : Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques	6
Figure 04 : Structure de base des flavonoïdes.....	20
Figure 05 : Des exemples des structures chimiques des flavonols.....	21
Figure 06 : Structure chimique d'un tannin hydrolysable et d'un tannin condensé.....	22
Figure 07 :La préparation de la poudre de caroube.....	23
Figure 08 :La détermination de la teneur en eau.. ..	26
Figure 09 : L'incinération de la poudre de caroube.	27
Figure 10 : La détermination de la teneur en sucres par spectrophotométrie.....	28
Figure 11. La détermination de la teneur en cendres.	29
Figure 12 : La détermination de la teneur en lipides.....	30
Figure 13 : La détermination de la teneur en protéines.	32
Figure 14 : Recherche des polyphénols et les flavonoïdes dans la poudre de caroube.	32
Figure 15 : L'analyse qualitative des flavonoïdes.....	33
Figure 16 : L'analyse qualitative des polyphénols	33
Figure 17 : Recherche des tanins dans la poudre de caroube.....	34
Figure 18 : L'analyse qualitative des tanins.	36
Figure 19 : (a). Détermination du pH ; (b). Détermination de l'acidité titrable de la solution de caroube.	40

Figure 20 : La composition chimique de la poudre de caroube en métabolites primaires. ... **45**

Figure 21 : La composition chimique de la poudre de caroube en métabolites secondaires..... **47**

Liste des tableaux :

Tableau I : Taxonomie du caroubier *Ceratonia siliqua* L **3**

Tableau II : Evaluation de la production et de la superficie du caroubier à l'échelle mondiale en 2020. **7**

Tableau III : Surface cultivée et la production de la caroube en Algérie. **8**

Tableau IV : La composition chimique de la caroube. **14**

Tableau V : La composition chimique de la pulpe de la caroube et sa valeur calorique. **15**

Tableau VI : La teneur en sucres de la pulpe de caroube en MS..... **16**

Tableau VII : Valeurs moyennes des acides aminés dans 100g de protéine de caroube..... **16**

Tableau VIII : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube..... **18**

Tableau IX : Les composés phénoliques de la poudre de caroube. **19**

Tableau X : Représentation des valeurs moyennes des dix gousses de caroube.....**41**

Tableau XI : Résultats des analyses physicochimiques de la poudre de caroube en métabolites primaires.....**43**

Tableau XII : Résultats des analyses physicochimiques de la poudre de caroube en métabolites secondaires.....**44**

Tableau XIII : Résultats du screening phytochimique effectué sur la poudre de fruits de *Ceratonia siliqua* L.....**49**

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction..... 1

Étude bibliographique

Chapitre I : LA CAROUBE

1. Taxonomie	3
2. Origine de la caroube	4
3. Distribution géographique	5
3.1. Dans le monde.....	5
3.2. En Algérie	6
4. Production du caroubier	7
4. 1. Au monde.....	7
4.2. En Algérie	8
5. Présentation botanique du caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i> L)	9
5.1. Arbre	9
5.2. Feuilles.....	9
5.3. Floraison	9
5.4. Fleurs	9
5.5. Fruit	10
5.6. Graines	10
6. Intérêts d'utilisation du caroubier	11
6.1. Utilisation dans le domaine agroalimentaire	11
6.2. Utilisation médicale.....	12
6.3. Cosmétique	12

6.4. Autres utilisations de caroube.....	13
------------------------------------------	----

Chapitre II : composition chimique de la caroube

1. La composition chimique de la caroube.....	14
1.1. Composition chimique de la pulpe de caroube.....	15
1.2. Métabolites primaires	15
1.3. Métabolites secondaires.....	18

Étude expérimentale

Matériel et méthodes

1. Caroube (<i>Ceratonia siliqua</i> .L).....	23
2. Préparation de la poudre de caroube	23
3. Caractérisation morphologique de la caroube	24
3.1. Longueur	24
3.2. Largeur.....	24
3.3. Epaisseur	24
3.4. Poids	24
3.5. La proportion de la pulpe et des graines dans la gousse de caroube	24
3.6. Masse volumique	24
3.7. Densité	24
4. Caractérisations physicochimiques de la poudre de caroube.....	25
4.1. Analyses quantitatives	25
4.1.1. Les métabolites primaires	25
4.1.1.1. Détermination de la matière sèche	25
4.1.1.2. Détermination de la teneur en cendres (Matière minérale)	26
4.1.1.3. Détermination de la teneur en sucres totaux	27
4.1.1.4. Dosage des fibres totaux	28
4.1.1.5. Détermination du taux de matière grasse	29
4.1.1.6. Détermination de la teneur en protéine.....	31
4.2. Analyses qualitative « screening ».....	32

4.2.1. Test des flavonoïdes et des polyphénols	32
4.2.1.Métabolites secondaires.....	35
4.2.2. Technique d'extraction	35
4.2.3. Dosage des polyphénols totaux.....	36
4.2.4.Dosage des tanins	37
4.2.5.Dosage des flavonoïdes.....	38
5. Caractérisation de la solution de caroube.....	39
5.1. Détermination du pH.....	39
5.2. Détermination de l'acidité titrable.....	39

Résultats et discussion

1.Résultats des études morphologiques de 10 gousses de caroube.....	41
2. Résultats des analyses physico-chimiques	44
3. Résultats des paramètres phytochimiques de la poudre du <i>Ceratonia siliqua</i> L	49
Conclusion	50

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L) est un arbre xérophYTE à feuilles persistantes de la famille des légumineuses, commun au bassin méditerranéen à climat semi-humide et semi-aride et il produit de grosses gousses contenant plusieurs graines (**Özcan et al., 2007 ; FAO, 2018, Papaefstathiou et al., 2018**). Les Grecs de l'Antiquité l'ont introduit en Grèce et en Italie, tandis que les Arabes l'ont répandu sur la côte Nord-Africaine, au Portugal et en Espagne (**Battle et al., 1997**). Elle est répandue presque partout dans le monde (Espagne, Italie, Grèce, Chypre, Turquie, Australie, Afrique de Sud, Californie) (**Issaoui et al., 2021**).

Le bassin méditerranéen est le principal centre de production de la caroube, avec une production annuelle de plus de 135000 tonnes (**FAO, 2019**). Il devrait jouer un rôle important dans la culture de la caroube dans les années à venir (**Tzatzani et Ouzounidou, 2023**).

Selon **Durazzo et al., (2014)**, la gousse de caroube est constituée de la pulpe (**90%**) et de graines (**10%**). Selon le génotype, il existe des espèces de caroubiers sauvages et cultivées, qui se distinguent par leurs graines et leurs pulpe (**Yousif et Alghzawi, 2000**).

Par ailleurs, la pulpe est utilisée dans l'industrie agroalimentaire, notamment dans le secteur de l'alimentation diététique comme aliment fonctionnel. Ses propriétés antioxydantes exceptionnelles sont attribuées à la présence de composés phénoliques. Sa teneur en sucres est élevée (principalement du saccharose, du fructose et du glucose), mais elle est peu riche en lipides et en protéines. En outre, elle renferme une quantité importante de fibres et une quantité significative de tanins (**Biner et al., 2007**).

Selon (**Roseiro et al., 2013**), la poudre de caroube peut être utilisée comme matière première dans l'industrie alimentaire (biscuits, produits de confiseries, produits de boulangeries, pharmaceutique et cosmétique). En raison de sa douceur, de sa saveur semblable à celle du chocolat et de son prix bas, et qu'elle ne contient ni caféine ni théobromine. (**Ayaz et al., 2007 ; Durazzo et al., 2014**).

En Algérie, le caroubier est très négligé et n'est pas encore eu la place qu'il mérite malgré sa valeur économique. Mais au cours de ces dernières années on a commencé l'exploitation au niveau de Mascara où il y'a une unité qui fait la récolte, le broyage et l'exploitation de la farine de caroube extraite des pulpes (**DSA de Tlemcen, 2009**).

Ce mémoire vise à étudier les paramètres morpho métriques et la caractérisation physicochimique de la caroube originaire d'Iferhounene dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Nous débuterons cette étude par une brève recherche bibliographique sur la caroube et son intérêt et

ses usages. Par la suite, nous effectuerons une phase expérimentale pour mettre la lumière sur les techniques employées pour atteindre notre but. Enfin, les résultats obtenus seront présentés pour être comparés à d'autres travaux mentionnés dans la bibliographie. En dernier lieu, une conclusion générale qui résume l'ensemble du travail réalisé ainsi que les perspectives.

Étude bibliographique

Chapitre I :

LA CAROUBE

1. Taxonomie

Le **tableau I** révèle la classification taxonomique du caroubier. En effet, *Ceratonia siliqua* L est une espèce cultivée ou sauvage en Méditerranée. Selon **Naghmouchi et al., (2009)**, cette espèce fait partie de la sous-famille Cesalpinaceae de la famille Fabaceae. C'est un arbre héliophile et thermophile de l'étage bioclimatique semi-humide et semi-aride, qui peut s'adapter aisément à divers sols. Les racines profondes et le feuillage persistant de cet arbre jouent un rôle essentiel dans la préservation du sol contre la dégradation et l'érosion, ainsi que dans la lutte contre la désertification. Ce genre d'arbre fruitier polyvalent est très résistant aux sécheresses (**Boublenza et al., 2019**).

Sur le plan taxonomique, le caroubier est un arbre dioïque appartenant au :

Tableau I : Taxonomie du caroubier *Ceratonia siliqua* L (**Ghédira et Goetz, 2019**).

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Viridiplantae</i>
Embranchement	<i>Embryophytes</i>
Sous-Embranchement	<i>Tracheophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabaceae (légumineuses)</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L

2. Origine de la caroube

Les données génétiques et fossiles soutiennent une origine pré-méditerranéenne du caroubier (**Viruel et al., 2020**) et ses ancêtres étaient probablement distribués largement autour de la mer de Téthys au cours du paléogène dans des forêts tropicales qui ont été appauvries par les extinctions successives pendant la transition vers le climat méditerranéen (**Viruel et al., 2020**).

Ceratonia siliqua L semble avoir conservée des traits physiologiques propres aux espèces tropicales notamment, l'existence d'une période de floraison tardive (Juillet-Octobre), inhabituelle chez les arbres et arbustes méditerranéens et la présence d'un contenu enzymatique photosynthétique de "type C4" (caractéristique des plantes de climat chaud) durant les premières étapes de son développement et qui par la suite est inhibé une fois la plante adulte (**Catarino, 1981**).

En outre, les feuilles du caroubier ont une longévité qui est quasiment le double que chez la majorité des espèces méditerranéennes les plus communes. Tous ces arguments tendent à confirmer l'origine tropicale pré méditerranée de l'espèce. (**Catarino, 1981**).

Ceratonia siliqua L est une espèce thermophile d'où sa large propagation en climat méditerranéen. Elle est domestiquée depuis la période néolithique 4000 ans avant J.C et sa culture est extensive date d'au moins 2000 ans avant J.C. Actuellement le caroubier fait l'objet d'un commerce important et constitue un article d'exportation de certaines îles de la méditerranées notamment de Chypre (**Evreinoff, 1947**).



Figure 01 : Arbre du caroubier *Ceratonia siliqua L* (photo originale).

3. Distribution géographique

3.1. Dans le monde

Ceratonia siliqua L est un arbre de la famille des Fabaceae qui pousse en Grèce, en Italie, en Espagne, en Algérie, au Maroc, en Turquie, et en Syrie. Elle est importée du Moyen-Orient en Grèce et en Italie par les anciens Grecs, et par les Arabes le long de la côte nord-africaine et vers le nord en Espagne et au Portugal. Le caroubier s'est récemment répandu dans des régions où le climat est proche du climat méditerranéen, telles que la Californie, l'Arizona, le Mexique, le Chili, l'Argentine, l'Australie et l'Inde. L'Espagne est le principal producteur et exportateur mondial de caroube, avec une production annuelle d'environ 315 000 tonnes, suivie de l'Italie, du Maroc, du Portugal, de la Grèce, de la Turquie et de Chypre respectivement (Stavrou *et al.*, 2018), comme illustre la **figure 02**.

Il est possible de cultiver le caroubier (*Ceratonia siliqua L*) sur différents sols, tels que les sols rocheux, secs et en pente. Depuis l'Antiquité, *Ceratonia siliqua L* a été cultivé de manière extensive, ce qui rend sa répartition initiale peu claire (Durazzo *et al.*, 2014 ; Krokou *et al.*, 2019).

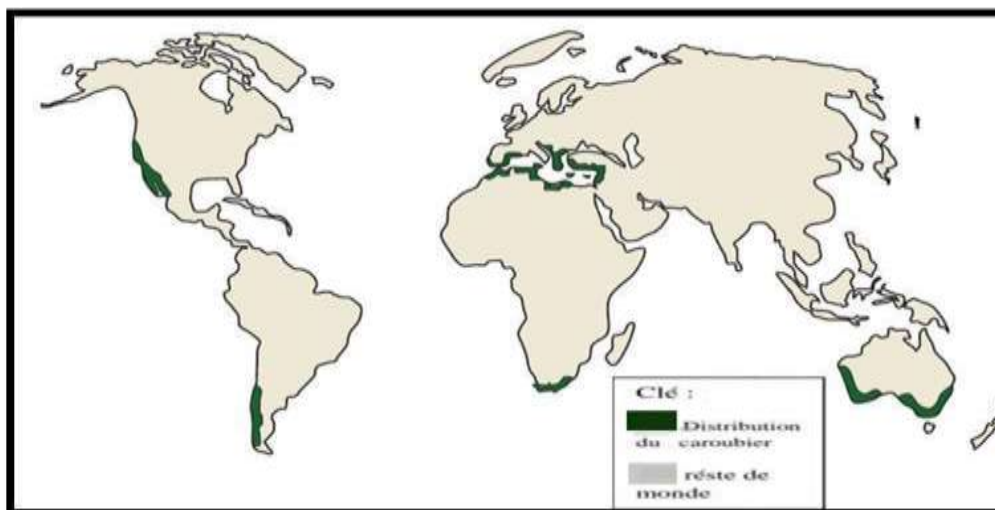


Figure 02 : La répartition géographique de caroubier dans le monde (Batlle *et al.*, 1997).

3.2. En Algérie

En Algérie, le caroubier se développe naturellement dans des bioclimats subhumides, semiarides et arides. On le trouve souvent dans l'Atlas Tellien et Saharien (**Quezel et Santa., 1962 ; Kocherane., 2021**). Il se rencontre en compagnie de l'amandier, de l'Olivier et du Pistachier, dans les zones subhumides et semi-arides, à des altitudes allant de 100 à 1300 m dans les vallons frais. La croissance de caroubier est optimale pour une température oscillante entre 5°C à 20°C et pour une pluviométrie allant de 80 à 600 mm/an. **Quezel et Santa.,1962 ; Kocherane., 2021**).

Le caroubier préfère les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittoral telles que le Sahel algérois, Dahra, la Kabylie, la vallée de la Soummam (1074ha) et de l'Oued Isser, les collines d'Oran et les coteaux Mostaganem à étage semi-aride chaud, les plaines d'Annaba, Mitidja et de Boussaâda et des vallées intérieures (1054ha) (**Zitouni., 2010**).

En Algérie, la distribution de caroubier suivant le critère de production, se trouve dans les wilayas suivantes : Bejaia, Blida, Tipaza, Boumerdès, Ain– Defla, Bouira, Tlemcen, Mascara, Tizi Ouzou, comme le révèle la **Figure 03**.

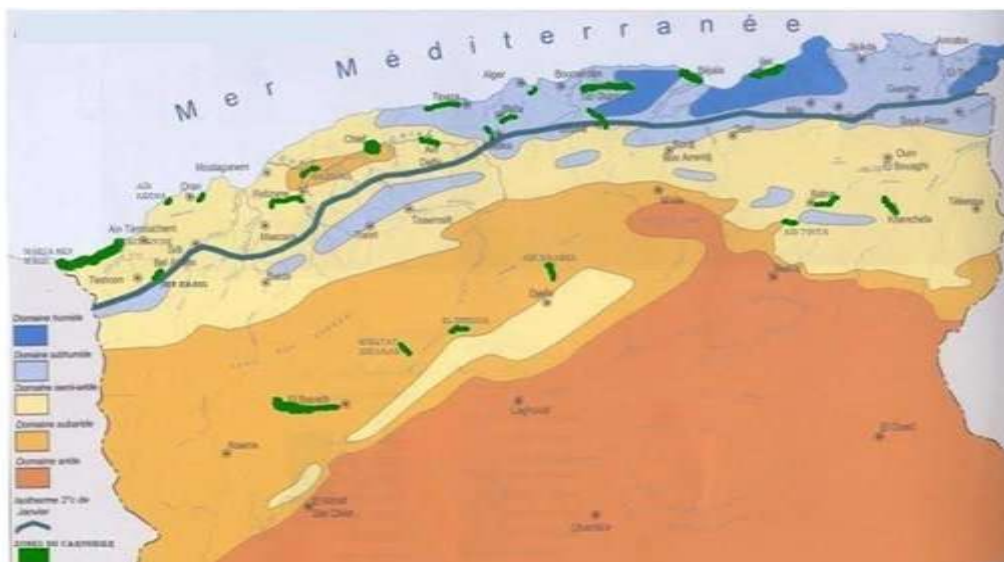


Figure 03 : Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques

(**A.N.R.H, 2004**).

4. Production du caroubier

4. 1. Au monde

D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAOSTAT, 2023**), la quantité de caroube produite à l'échelle mondiale en 2023 est estimée à 49033 tonnes, pour une superficie de 14 504 hectares en 2020. Le Maroc produit la plus grande quantité de caroubier, avec 21 141 tonnes sur une superficie de 10 312 hectares, ce qui représente 43,11% de la production mondiale de caroubier. À titre d'exemple, l'Algérie a produit 3 280 tonnes sur une superficie de 729 hectares, les principaux pays producteurs de caroube sont présentés dans le **Tableau II**, par ordre décroissant.

Tableau II : Evaluation de la production et de la superficie du caroubier à l'échelle mondiale en 2020 selon les données de la (**FAO STAT, 2023**).

Rang	Pays	Superficie (Hectares)	Production (Tonnes)	Production Mondiale %
1	Maroc	10312	21141	43,11
2	Turquie	930	18806	38,35
3	Liban	378	4058	8,28
4	Algérie	729	3280	6,69
5	Tunisie	404	818	1,67
6	Israël	1567	405	0,83
7	Mexique	85	333	0,68
8	Ukraine	99	192	0,39
Total		14504	4903	100

4.2. En Algérie

La superficie cultivée totale du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011. En 2009, cette superficie était de 927 ha (**Tableau III**) dont 645 ha, soit 69,58% de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaïa. Tizi Ouzou occupe la onzième place avec une superficie de 1 ha, soit la production 20 qx (**FAOSTAT, 2011**).

Selon la **FAO, (2014)**, on estime que la production nationale de caroube s'élève à 33841 Qx. Avec une production de 18417 Qx a la wilaya de Bejaïa, ce qui représente 54,42% de la production nationale, suivie de la wilaya de Blida (23,79%) et de Tipaza (16,55%). La superficie des caroubiers dans le Nord-Ouest Algérien (comprenant la wilaya de Tlemcen et Mascara) n'occupe que 6 hectares, soit 0,65 % de la superficie nationale, tandis que la production de la caroube n'est que de 0,39 %. (Les wilayas ont été classées par ordre décroissant selon la surface cultivée (ha).

Tableau III : Surface cultivée et la production de la caroube en Algérie (**DSA de Tlemcen ,2009**).

Wilayas	Surface cultivée (ha)	Production (qx)
Bejaïa	645	18417
Tipaza	105	5600
Blida	100	8050
Boumerdès	32	1080
Bouira	22	144
Mila	10	80
Tlemcen	5	100
Borj Bou Arreridj	4	20
Ain Defla	2	300
Mascara	1	30
Tizi Ouzou	1	20

Total	927	33841
-------	-----	-------

5. Présentation botanique du caroubier (*Ceratonia siliqua L*)

5.1. Arbre

Le caroubier est un arbre ou un arbuste à feuilles persistantes (arbre dont les feuilles restent toute l'année, sans tomber à une saison donnée), à croissance lente. Il peut mesurer entre 7 et 20 mètres de hauteur. En règle générale, le tronc de l'arbre est très gros et torsadé, avec une circonférence à sa base variante entre 2 et 3 mètres (**Ait Chitt, 2007**).

À l'âge adulte, l'écorce de *Ceratonia siliqua L* est lisse et grise, mais elle devient brune et rugueuse (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

Le bois du caroubier est d'un blanc jaunâtre à l'état jeune, puis d'un rose veiné, pour prendre avec le temps une couleur rouge foncé. En vieillissant, sa texture devient également plus rigide. Les utilisations de ce bois de qualité sont variées, comme l'armurerie, la fabrication de charbon, etc. (**Boudy, 1950 ; Benmahioul et al., 2011**).

5.2. Feuilles

La longueur des feuilles de caroubier varie entre 10 à 20 cm, elles sont de nature persistante coriaces (feuilles qui ont une consistance rigide et résistante) alternes et caractérisées par un pétiole sillonné (tige mince qui unit la feuille à la tige principale). Elles sont composées de 4 à 10 folioles, la face dorsale des feuilles présente une couleur vert sombre brillant, tandis que, la face ventrale est de couleur vert pale, le caroubier perd ces feuilles tous les deux ans, au mois de juillet (**Kicher et Ladjouzi, 2016**).

5.3. Floraison

La floraison du caroubier se déroule du mois d'août jusqu'au mois de novembre. À ce moment, les fleurs de caroubier apparaissent et se développent pour produire des fruits, également connus sous le nom de gousses de caroube, qui atteignent leur maturité à la fin du printemps de l'année suivante (**Battle et Tous, 1997 ; Gharnit, 2003**).

5.4. Fleurs

Les fleurs de caroubier sont de couleur verdâtre, de petite taille 6 à 16 mm de longueur, elles sont disposées en spirale (chaque fleur est légèrement décalée par rapport à celle qui la précède) et réunie en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires (ce qui signifie qu'elles se développent à l'aisselle des feuilles) (**Kicher et Ladjouzi, 2016**).

Elles sont regroupées en grappes latérales, habituellement dressées ou ascendantes, brièvement pédonculées. Initialement, les fleurs sont bisexuelles ; il y a suppression d'un axe durant le développement et le fonctionnement des cellules pour aboutir à des fleurs mâles ou femelles (**Ait chitt et al., 2007**).

5.5. Fruit

Le fruit de *Ceratonia siliqua* L est de grande taille, il mesure généralement de 10 à 30 cm de longueur et de 1,5 à 3,5 cm de largeur et une épaisseur de 1 à 2,5 cm ; le poids est de 15 à 40 g. A l'état immature, il prend une couleur verte qui se développe ensuite vers une couleur brun foncé à noir et parfumé au stade de maturation (en été) il est aplati, peut être soit droit ou courbé, séparé à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et renferme 5 à 16 graines brunes, soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction de cultivar, du climat et de la conduite technique (**Ait chit et al., 2007**).

La gousse est composée de 3 parties : l'épicarpe, le mésocarpe, et les graines, sa couleur est d'abord verte, puis elle devient brun foncé à maturité (**Kicher et Ladjouzi, 2016**).

5.6. Graines

Les graines de *Ceratonia siliqua* L se trouvent à l'intérieur des gosses. On compte de 5 à 16 graines, séparées les unes des autres par des cloisons pulpeuses et sucrées. La proportion de graines par rapport au poids total de la gousse varie généralement entre 10 et 20%, en fonction du cultivar et du climat (**Melgarejo et Salazar, 2003 ; Ait Chitt et al., 2007**). Les graines sont de petite taille, aplaties et de forme ovale, avec une extrémité basale tronquée et une extrémité apicale aplatie. Les graines de caroube sont constituées de trois composants différents. Dans un premier temps, les téguments, une enveloppe externe solide et lisse de couleur brune, représente 30 à 33 % du poids total de la graine. La radicule, également appelée embryon, occupe 23 à 25 % de la graine. La radicule est très énergétique, car elle contient une grande quantité de protéines solubles dans l'eau et de lipides principalement

insaturés. Finalement, on retrouve l'endosperme, situé entre les téguments et la radicule, qui constitue 40 à 50 % du poids de la graine. La gomme de caroube est concentrée principalement dans l'endosperme (**Dakia et al., 2008 ; Dakia, 2011**).

Selon **Battle et Tous., (1997)**, les graines de caroube ont une longueur de 8 à 10 mm, une largeur de 6 à 8 mm et une épaisseur d'environ 3 à 5 mm (**Gharnit et al., 2006 ; Mahdad et Guaour, 2016**).

6. Intérêts d'utilisation du caroubier

Selon (**Boublenza et al., 2019**), Le caroubier a un rôle économique et socio-économique important, et il n'en reste pas moins que cet arbre est aujourd'hui le plus productif des arbres fruitiers et forestiers, l'arbre et tous ses éléments (feuilles, fleurs, pulpe, graines, écorce) sont utiles, en particulier le fruit, dans différents domaines tels que l'alimentation, la pharmacie, la cosmétique et la tannerie.

6.1. Utilisation dans le domaine agroalimentaire

Dans les industries agroalimentaires, deux produits de la caroube sont largement utilisés : la farine et la gomme de caroube.

Les gousses de caroube sont employées depuis longtemps comme matières premières dans la fabrication d'additifs alimentaires (**Biner et al., 2007**). Connue sous le nom de gomme de caroube ayant le code E-410 est utilisée dans l'industrie alimentaire comme épaississant, Stabilisant, comme liant et gélifiant ou dispersant. Les gommes de caroube servent comme matière première dans l'impression, photographie, textile, pharmaceutique et cosmétique (**Battle et al., 1997**).

En raison de sa douceur et sa saveur semblable au chocolat et de son bas prix, les gousses broyées en farine, sont couramment employées comme substituant du cacao en méditerranée dans la fabrication de confiseries, les biscuits, les produits transformés, et de boissons (**Ayaz et al., 2009**), de plus la poudre de caroube tirée des gousses est un édulcorant naturel, c'est pourquoi il est souvent utilisé comme alternative du cacao. L'avantage de son utilisation réside dans le fait qu'elle ne contient pas de stimulants tels que la caféine ni théobromine, contrairement au chocolat (**Bengoechea et al., 2008**).

La farine de caroube est traditionnellement utilisée comme additif protéique dans aliments pour animaux et aliments destinés à la consommation humaine teneur en acides aminés équilibrée (**Wang et al., 2001**).

Les gommés alimentaires sont concentrées dans l'endosperme et elles représentent 1/3 du poids total des graines. 100 kilogrammes de graines de caroube donnent une moyenne 20 kilogrammes de gomme sèche pur. La caroube est riche en glucides a bon marché c'est pourquoi les chercheurs envisagent produire du bioéthanol. Cette voie est l'une des méthodes de valorisation (**Jones, 1953**).

6.2. Utilisation médicale

Le caroubier est un remède naturel et particulièrement conseillé en cas de troubles digestifs, de reflux gastriques fréquents, d'irritation du côlon, d'acidité gastrique, de stéatorrhée, d'anémie et de carences nutritionnelles. (**Ayaz et al., 2009**).

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 antioxydante est attribuée à la présence de composés phénoliques et fibres. Le caroubier est également un excellent allié dans les régimes amincissants. Des études scientifiques ont démontré que cette plante officinale permet de traiter les problèmes associés au surpoids et à l'obésité en inhibant certaines enzymes digestives grâce à une teneur élevée en tannins, et en créant une sensation de satiété (**Kawamura, 2008**). Il est utilisé notamment dans les préparations des aliments diététiques humains ou comme ingrédient potentiel dans les aliments dérivés des céréales pour les personnes cœliaques. La farine de cette plante sont utilisées dans la régulation des niveaux de glucose dans le sang et dans la réduction du niveau de cholestérol total. Des études biologiques ont montré la capacité antimicrobienne de la pulpe de caroube vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* (**Kawamura, 2008**).

La caroube adsorberait aussi les entérotoxines produites par certaines souches d'*Escherichia Coli* et de *Staphylocoques* ainsi que par le *Vibrio cholérique*, ce mécanisme d'adsorption pourrait être expliqué par la présence des tanins dans la caroube (**Battle et al., 1997**).

6.3. Cosmétique

Parmi ses utilisations industrielles, la gomme de caroube est employée en cosmétique, en raison de sa capacité à former des solutions très visqueuses (savons, crèmes, dentifrices, etc.)

pour sa capacité à former une solution très visqueuse, à une faible concentration grâce à ses propriétés épaississantes, émulsifiantes et stabilisantes (**Roukas, 1998**).

6.4. Autres utilisations de caroube

Suite à son potentiel à résister à la sécheresse et à supporter la pollution de l'air, il sert comme plante d'ombre et d'ornement le long des routes (**Benamar et tous, 2011**), ainsi que pour lutter contre l'érosion, la dégradation des sols et la désertification (**Battle et Tous, 1997**).

Le bois du caroubier, connu sous le nom de carouge, dur à grain fin, est très prisé en ébénisterie pour la fabrication de meubles ainsi que pour la production de charbon (**Rivière et Leco, 1900**). De plus, le tourteau de caroube broyé ou haché est également employé comme substitut de la tourbe pour les plantes en pépinière (**Rishani et Rice, 1988**).

Selon (**Haddarah et al., 2013**), l'écorce et les racines jouent un rôle important dans le processus de tannage, notamment pour l'achèvement et l'émaillage des peaux. Elle sert aussi à la fabrication d'encre et de colorants et du miel (**Gharnit, 2003**).

Chapitre II :
composition chimique
de la caroube

1. La composition chimique de la caroube

La caroube est composée de pulpe et de graines, qui constituent respectivement 90 % et 10 % de son poids total. Selon **Haddarah et al., (2013)**, elle renferme une grande quantité de glucides, notamment des sucres hydrolysables (34%), du D-glucose (6,4%) et du D-fructose (6%), qui représentent 40 à 55 % du poids de la gousse. De plus, elle contient une faible proportion de lipides (3%).

Selon **Avallone et al., (1997)** ; **Biner et al., (2007)**, la gousse du caroubier apporte une quantité significative d'énergie (17,5 KJ/g de M.S).

Les gousses de caroube contiennent des composés phénoliques (2-20% MS), ce qui lui confère diverses fonctions : antioxydant, facilité de la digestion, diminution du taux de cholestérol... Selon de nombreuses recherches, ces polyphénols sont principalement composés de tanins condensés (16 à 20%), de pro anthocyanidines, de flavonoïdes et des ellagitannins. **Avallone et al., (1997)**, **Owen et al., (2003)** ; **Makris et Kefalas, (2004)** ; **Albanell et al. (1991)**, ont montré que la composition chimique de la pulpe varie souvent en fonction du cultivar, de l'origine géographique et de la période de récolte.

D'après les recherches menées par (**Avallone et al., 1997**) et (**Bengoechea et al., 2008**), la caroube contient une grande quantité d'hydrates de carbone et de fibres, une faible quantité de protéines et des lipides. En ce qui concerne la teneur en minéraux, la caroube est appréciable. **Bouzouita et al., (2007)** ont démontré que les graines de caroube ont teneur élevée en lipides. Le **tableau IV** indique la composition chimique de la caroube.

Tableau IV : La composition chimique de la caroube (**Biner et al.,2007**).

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

1.1. Composition chimique de la pulpe de caroube

La pulpe de caroube contient une grande quantité d'hydrates de carbone (saccharose, fructose et glucose), de fibres alimentaires, de tanins et de polyphénols, elle renferme également une faible quantité de protéines et de lipides (**Bengoechea et al., 2008**). La composition chimique de la pulpe de la caroube varie en fonction de la variété, du climat, des méthodes de culture, de l'origine et de la période de récolte (**Albanell et al., 1991 ; Petit et al., 1995**), comme le montre **tableau V**.

Tableau V : La composition chimique de la pulpe de la caroube et sa valeur calorifique.

Composition chimique de la pulpe de caroube et sa valeur calorifique	Pourcentages (%)
Humidité	5,29
Protéine	6,34
Cendre	3,16
Fibre brute	7,30
Glucide	75,92
Grasse brute	1,99
Valeur calorifique Kcal, /100g	346,95

1.2. Métabolites primaires

Sont des molécules organiques qui se trouvent dans toutes les cellules de l'organisme d'une plante pour y assurer sa survie. Ces composés sont classés en quatre principaux groupes, les glucides, les protéines, les lipides et les acides nucléiques (**Ben khaldi., 2013**).

1.2.1. Sucres

La pulpe de caroube présente une forte teneur en sucre (environ 500 g/kg), supérieure à celle de la betterave ou de la canne non raffinée (environ 200 g/kg). On sait que le sucre le plus présent dans la gousse de caroube est le saccharose, puis le glucose et le fructose. Les autres sucres tels que la xylose et le maltose sont moins présents, tandis que la cellulose et l'hémicellulose représentent 18 % (**Tableau VI**). Mais ces proportions diffèrent d'un auteur à l'autre (**Haddarah, 2013**).

Tableau VI : Teneur en sucre de la pulpe de caroube en MS (haddarah,2013).

Sucres	Poudre de caroube %
Saccharose	65-75
Glucose	1,5-17,4
Fructose	1,8-17 ,9

1.2.2. Protéines

Le **tableau VII** montre la teneur moyenne de la caroube en acides aminés. Dans l'extrait des gousses, **Vardar et al., (1972)** ont isolé cinq acides aminés, à savoir l'alanine, la glycine, la leucine, la proline et la valine. De plus, **Charalambous et Paconstantinou, (1966)** ont rapporté deux autres acides aminés, à savoir la tyrosine et la phénylalanine.

Selon **Ayaz et al., (2009)** ; **Sigge et al., (2011)**, la caroube contient 17 résidus d'acides aminés (acide aspartique, acide glutamique, sérine, glycine, histidine, arginine, thréonine, alanine, tyrosine, valine, proline, méthionine, isoleucine, leucine, cystéine, phénylalanine et lysine).

Tableau VII : Valeurs moyennes des acides aminées dans 100g de protéine de caroube.

Composants	Teneur (g/100g protéine)
Acide aspartique +Asparagine	18,25
Acide glutamique +glutamine	9,65
Serine	6,80
Histidine	2,80
Glycine	3,55
Thréonine	5 ,10
Arginine	3,20
Alanine	10,55
Proline	5,80
Tyrosine	1,70
Valine	9,05
Méthionine	1,40
Cystéine	0,80

Isoleucine	3,80
Leucine	9,30
Phénylalanine	3,10
Lysine	4,20
Tryptophane	0,95

1.2.3. Lipides

La caroube présente une faible teneur en lipides (3%), sachant que la pulpe en contient uniquement (0,4 à 0,6%) (Avallone et al., 1997 ; Biner et al., 2007).

1.2.4. Cendres

Albanell et al., (1991) ; Bravo et al., (1994) ; Yousif et al., (2000) et lipumbu et al., (2008), ont montré que la poudre de caroube renferme 2-6 % de cendre selon la variété.

1.2.5. Minéraux

La caroube est riche en potassium et en calcium. La teneur en potassium varie entre 0,97-1,12% MS, alors que la teneur en calcium atteint 0,3%MS (Ayaz et al., 2007 ; Ayaz et al., 2009 ; Sigge et al., 2011 ; Oziyci et al., 2014), comme le montre le **tableau VIII**.

Enfin, les graines renferment habituellement des niveaux plus élevés de macro minéraux et de micro minéraux que les gousses (Ayaz et al., 2007 ; Ayaz et al., 2009 ; Sigge et al., 2011 ; Oziyci et al., 2014). En outre, une récente étude minéralogique menée par **El Bouzdoudi et al., (2017)** sur des caroubes cultivées au Maroc a révélé la présence de cinq macroéléments et trente microéléments dans la gousse entière, la pulpe et la graine. La teneur élevée de la pulpe et des graines en minéraux témoigne de l'importance de cet aliment dans l'alimentation chez l'homme et chez les animaux d'élevages.

Tableau VIII : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg) (Kamal et al., 2013).

La teneur en minéraux	mg/kg
Mn	10,24
Zn	24,71
Fe	381,80
Cu	4,84
Se	9,79
Ca	2123
Na	505,97
K	8637,64
P	2255,21
S	17577,80

1.2.6. Fibres

Les fibres alimentaires sont constituées d'un ensemble varié molécules telles que : hémicelluloses, celluloses, lignines et pectines, habituellement séparées en fibres solubles et insolubles, sachant que la teneur en ces molécules oscille entre 30 à 40 % (Haber, 2002).

1.3. Métabolites secondaires

Selon Mansour, (2015), il existe un grand nombre de métabolites secondaires, avec plus de 200 000 structures définies. Ces produits présentent une variété structurale exceptionnelle, mais leur production est limitée. A la suite de leur élaboration, elles sont accumulées, mais peuvent être dégradées (Gseyr., 2006).

Plus de 8000 molécules sont identifiées dans les plantes, et elles sont classées en trois grandes catégories : les composés phénoliques, les terpénoides et les alcaloïdes (Wink, 2003 ; Aharoni & Galili, 2011).

1.3.1. Les polyphénols

Les polyphénols sont l'un des groupes de substances les plus communs chez les plantes. On connaît plusieurs milliers de polyphénols, qui sont des molécules composées d'un ou de plusieurs cycles aromatiques avec des niveaux variables d'hydroxylation, de méthylation et de

glycosylation (**Manganaris et al., 2014**). Les acides phénoliques, les gallo tannins et les flavonoïdes sont les principales catégories de composés phénoliques présents dans la caroube (**Goulas et al., 2016**)

Selon **Owen et al., (2003)**, la caroube est une excellente source de polyphénols, en particulier les tannins (entre 16 et 20 %) (**Biner et al., 2007 ; Haddarah et al., 2013**). Toutefois, les teneurs sont très variés, en fonction de la génétique, de l'origine géographique, des conditions climatiques, de la récolte et de stockage (**Papagiannopoulos et al., 2004 ; Makris et Kefalas, 2004 ; Cavdarova et al., 2014**).

De multiples méthodes d'extraction de polyphénols chez la caroube ont été effectuées (**Cavdarova et al., 2014 ; Roseiro et al., 2013 ; Almanasrah et al., 2015**).

De plus, **Baraldi et al., (2004)** ont déposé un brevet pour l'extraction et la purification de composés phénoliques.

➤ Les composés phénoliques

La caroube est riche en composés phénoliques, notamment, Pyrogallol et catéchol (**Papagiannopoulos et al., 2004 ; Owen et al., 2003**), comme illustre le **tableau IX**.

Selon **Papagiannopoulos et al., (2004)**, la caroube est l'une des sources les plus abondantes d'acide gallique, avec des niveaux estimés allant de 23,7 mg/100g à 164,7 mg/100g (**Owen et al., 2003 ; Ayaz et al., 2007**) Seuls les châtaigniers et les clous de girofle sont plus riches en acide gallique que les caroubes. Les acides benzoïques présents dans la caroube incluent l'acide syringique, l'acide 4-hydrobenzoïque et l'acide gentsique (**Goulas et al., 2016**).

Papagiannopoulos et al., (2004) ont montré que la caroube présente une faible concentration d'acides cinnamiques. Les extraits de caroube renferment de l'acide cinnamique, de l'acide coumarique, de l'acide férulique et de l'acide chlorogénique (**Roseiro et al., (2013) ; Custodio et al., 2011**).

Tableau IX : Les composés phénoliques de la poudre de caroube.

Composés phénoliques	Ppm
Acide gallique	10, 21
Pyrogallol	4970,18
Protocatéchine	79,47

Acide Chlorogénique	101,09
Catéchine	27,97
Catéchol	164,67
Caféine	48,23
Acide Vanillique	13,92
Acide Férulique	10,17
Coumarine	4 ,49

1.3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont constitués de 6000 composés naturels presque universels présents dans les plantes vasculaires. Selon **Ghédira, (2005)**, ces pigments sont responsables des teintes jaune, orange et rouge de divers organes végétaux.

La structure de base de tous les flavonoïdes est identique (C6-C3-C6), avec quinze atomes de carbone. Ils sont composés de deux cycles aromatiques A et B avec six atomes de carbone (**figure 04**) et d'une unité de trois atomes de carbone qui peut ou non faire partie d'un troisième cycle C (**Kakde et al., 2008**).

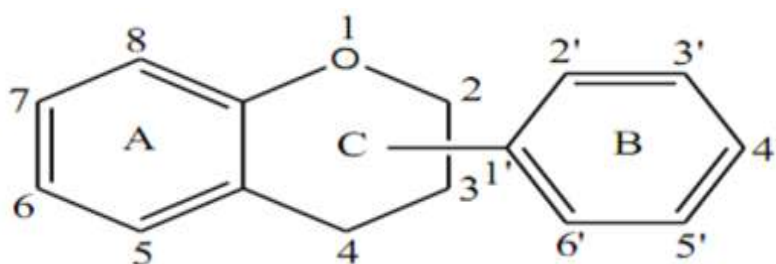


Figure 04 : Structure de base des flavonoïdes (**Marfak, 2003 ; Milane, 2004**).

On a découvert plus de 4000 flavonoïdes dans les plantes, et leur nombre continue de croître (**Di Benedetto, 2007**). Les flavonoïdes sont classés en : les flavonols, les flavones, les flavanones, les flavan-3-ols, les isoflavones et les anthocyanes présentent des caractéristiques structurales différentes en raison de leur diversité fonctionnelle liée à l'oxygénation de l'hétérocycle (**Sadasivam et Thayumanavan, 2003**).

La double liaison en position 2-3 et le groupement hydroxyle en C3 sont des caractéristiques des flavonols (**figure 05**). Les flavonoïdes sont les plus couramment présents dans les plantes, principalement représentés par la quercétine, le kaempférol et la myricétine.

Selon **Fraga, (2009)**, les flavonols accumulés dans les tissus végétaux sont généralement présents sous la forme conjuguée glycosylés.

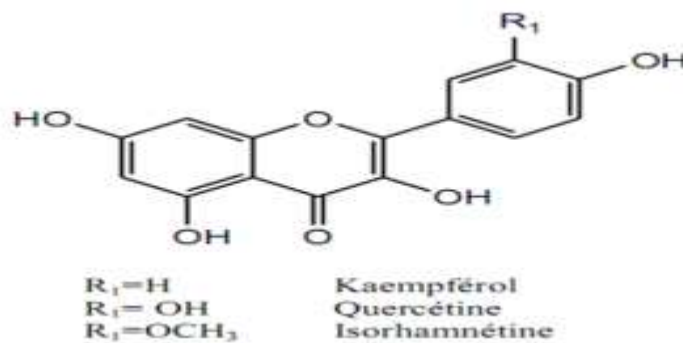


Figure 05 : Des exemples des structures chimiques des flavonols (**Marfak, 2003 ; Milane, 2004**).

1.3.3. Les Tanins

Les tanins sont les polyphénols les plus typiques des caroubes et jouent un rôle dans leur astringence. La teneur en tanins dans le jus de caroube est dix fois supérieure à celle du jus de raisin et elle diminue à mesure que la maturation des fruits progresse (**Rababah et al., 2011**).

Il existe deux types de tanins : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (ou non hydrolysables). Les tanins hydrolysables, généralement appelés tanins galloyles et ellagitanins, sont des esters multiples d'acide gallique ou ellagique avec glucose et les produits de leurs réactions oxydatives (**Manganaris et al., 2014**). Selon **Khanbabae et Van Ree (2001)**, les tanins condensés sont des pro anthocyanidines oligomères et polymériques qui ne peuvent pas être hydrolysés.

Avallone et al., (1997), ont rapporté que des tanins hydrolysables et condensés sont présents dans diverses parties de la caroube, sachant que la teneur moyenne en tanins condensés est de 2,75 mg/g et en tanins hydrolysables de 0,95 mg/g.

Sur le plan chimique, les tanins de caroube sont principalement des tanins condensés (pro anthocyanidines), constitués de groupes flavan-3-ol et de leurs esters galloyles, d'acide gallique, de (+) -catéchine, de (-) -gallate épicatechine, de (-) -gallate d'épigallocatechine, de delphinidine, de pelargonidine et de cyanidine (**Papagiannopoulos et al., 2004 ; Owen et al., 2003**).

Selon **Cheynier-Manchado et Sarni (2006)**, les pro anthocyanidines sont des composés phénoliques hétérogènes qui peuvent être dimères, oligomères ou polymères des flavanes, tels que les flavan-3-ols, 5-flavanols, 5-desoxy-3-flavanols et flavan-3,4-diols.

Les procyanidines et les prodelphinidines sont les deux principaux groupes des pro anthocyanidines. La catéchine et l'épicatéchine sont les monomères des procyanidines, qui peuvent être remplacés par l'acide gallique ou des sucres, habituellement en position 3 ou plus rarement en position 7. La gallo catéchine et l'épigallocatechine sont des monomères de prodelphinidines, mais on peut également identifier des monomères de quercétine et de myricétine (**Andersen et Markham, 2006**).

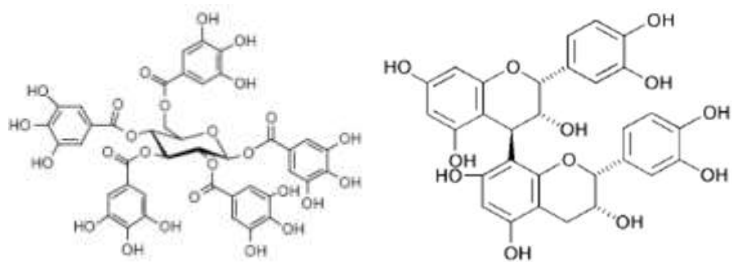


Figure 06 : Structure chimique d'un tannin hydrolysable et d'un tannin condensé (**Kumbasli et Peronny, 2005**).

Étude expérimentale

Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude est de caractériser morphologiquement et étudier les propriétés physicochimiques de la caroube. Les expériences ont été réalisés au niveau du laboratoire qualité et sécurité des aliments, département des sciences alimentaire, faculté des sciences biologiques et agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO).

I. Matériels et méthodes

1. Caroube (*Ceratonia siliqua*. L)

Les gousses de caroubier *Ceratonia siliqua*. L utilisées dans cette étude, provenaient d'**Iferhounene** dans la wilaya de Tizi Ouzou. Ces gousses ont été récoltées au mois d'août 2023 et ont été ensuite conservées dans des sacs à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à leur utilisation.

2. Préparation de la poudre de caroube

Les gousses de caroube ont été choisies aléatoirement, nettoyées, lavées ensuite séchées naturellement au soleil, puis concassées à l'aide d'un marteau et séparées de leurs graines. Ensuite, la pulpe a été broyée à l'aide d'un moulin à café électrique ensuite tamisée, puis conservée dans des barquettes à l'abri de la lumière et de l'humidité à température ambiante jusqu'au moment des analyses physicochimiques, comme le révèle la **figure 07**.

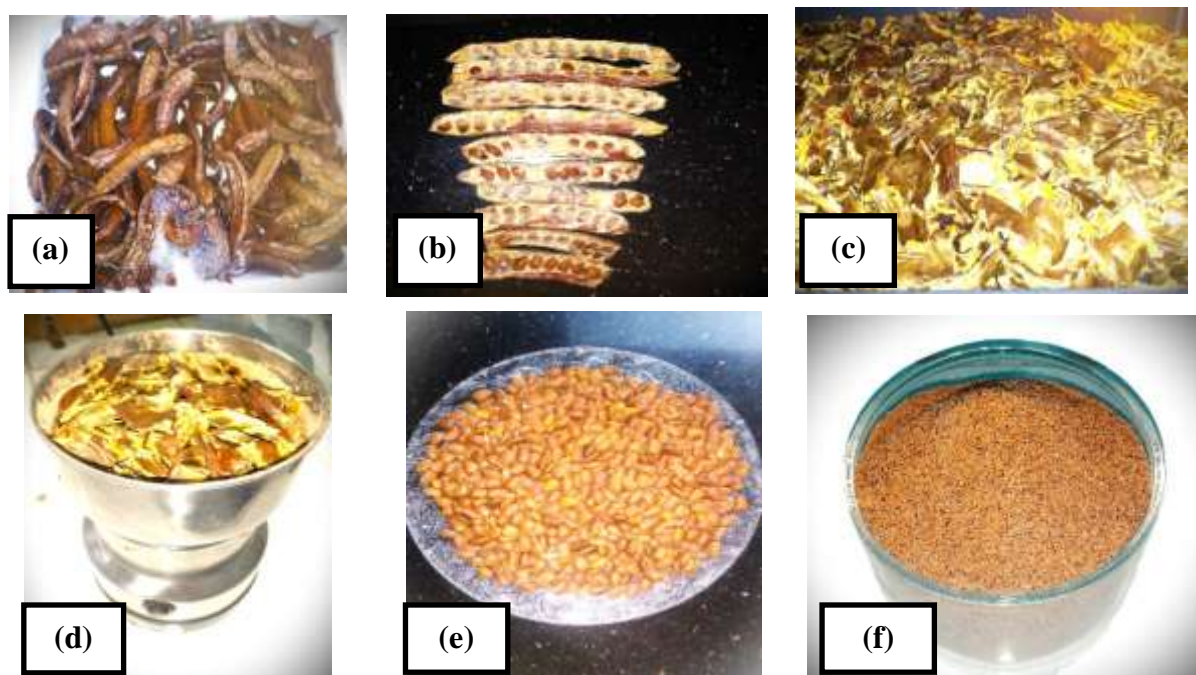


Figure 07. La préparation de la poudre de caroube. (a). Lavage ;(b). Découpage ; (c). Concassage ; (d). La pulpe concassée dans le moulin ;(e). Séparation des graines ; (f). La poudre de caroube.

3. Caractérisation morphologique de la caroube

La longueur, La largeur, L'épaisseur et l'indice de taille sont déterminés à l'aide d'un ruban et une règle graduée et les exprimer en (cm).

On mesure le poids de 10 gousses de caroube en (g) à l'aide d'une balance de précision puis on calcule le poids moyen par la méthode statistique, ainsi que la proportion de la pulpe et des graines.

❖ Masse volumique

On met 100 ml d'eau distillée dans une éprouvette de 200 ml, puis on plonge la gousse dans cette éprouvette et on note l'élévation de l'eau comme volume V. On répète l'opération 10 fois. On calcule le volume moyen et l'écart-type en utilisant la méthode statistique.

❖ Densité

On utilise la relation : $d = \frac{\text{la masse volumique de la gousse}}{\text{la masse volumique de l'eau}}$, sachant que : $\text{la masse volumique de la gousse} = \frac{\text{la masse de la gousse}}{\text{le volume de la gousse}}$ et $\text{la masse volumique de l'eau} = 1 \text{ kg/l}$. On répète l'opération 10 fois puis on calcule la moyenne et l'écart-type en utilisant la méthode statistique.

4. Caractérisations physicochimiques de la poudre de caroube

4.1. Analyses quantitatives

4.1.1. Les métabolites primaires

4.1.1.1. Détermination de la matière sèche (Audigie et al.,1982)

➤ Principe

On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve réglée à 105°C, sous la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Pour éviter toute reprise d'humidité il convient d'opérer dans des creusets en aluminium placés dans un dessiccateur.

➤ **Mode opératoire**

- Introduire dans trois creusets 5g de la poudre de caroube ;
- Placer les trois creusets dans une étuve réglée à 105°C pendant trois heures ;
- Retirer les creusets de l'étuve, placer les dans un dessiccateur, laisser refroidir puis peser les trois creusets ;
- L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'une masse constante, comme montre la **figure 08**.

➤ **Expression des résultats**

La teneur en eau (%) du matériel végétal est donnée par la formule suivante

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (p1 - p2 \div p1) \times 100$$

P1 : poids initial en (g) de la prise d'essai avant séchage.

P2 : poids final en (g) de la prise d'essai après séchage.

A partir de la teneur en eau, on détermine le taux de la matière sèche qui est donnée par la formule suivante :

$$\text{Taux de matière sèche (\%)} = 100 - \text{Teneur en eau (\%)}$$

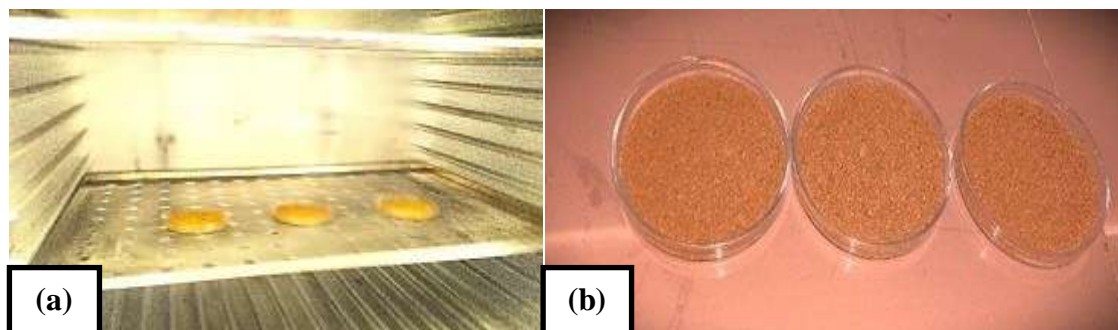


Figure 08. La détermination de la teneur en eau. **(a)**. La poudre de caroube avant séchage, **(b)**. La poudre de caroube après séchage dans l'étuve.

4.1.1.2. Détermination de la teneur en cendres (Matière minérale) (Audigie et al.,1982)

➤ Principe

Le principe consiste à une incinération de la poudre de caroube dans un four à moufle dans des creusets en porcelaine, à une température de 550°C. L'opération s'achève lorsque la couleur des résidus deviendra blanche grisâtre, qui se transformera en une couleur blanche après refroidissement.

➤ Mode opératoire

- Dans trois creusets en porcelaine après leurs prises de poids(M0) ;
- Préincinérer les creusets vides pour éviter le choc thermique.
- Introduire 5g de la poudre de caroube dans chaque un (M1) ;
- Déposer l'ensemble dans un four a moufle réglé à 550°C pendant 5 heures ;
- Après incinération, on pèse les trois creusets avec les cendres(M2)

La **figure 09** indique les étapes de détermination de la teneur en cendre.

➤ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés selon la formule suivante :

$$\text{TC (\%)} = (M2-M0) \div (M1-M0) \times 100$$

TC : Taux de cendre en %.

M0 : La masse du creuset vide en (g).

M1 : La masse du creuset et l'échantillon avant incinération en (g).

M2 : La masse de creuset et l'échantillon après incinération en (g).

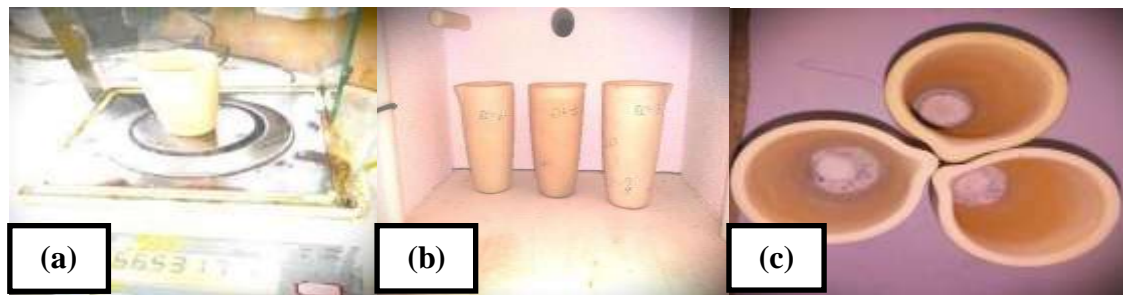


Figure 09. L'incinération de la poudre de caroube. (a). La pesée des creusets en porcelaines, (b). L'incinération des trois creusets dans le four à moufle, (c). Les creusets après l'incinération.

4.1.1.3. Détermination de la teneur en sucres totaux

➤ Principe

La méthode de **Dubois et al., (1956)**, permet de doser les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré, en présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune orangé dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des glucides, la densité optique est lue à **490nm**.

➤ Mode opératoire

Dans trois tubes à essai, on met successivement 0,2 g de poudre de caroube dans l'étuve pendant 3h pour faciliter l'hydrolyse des polysaccharides, 1ml de phénol a(5%) et 5ml d'acide sulfurique (96%). On laisse agir pendant 10 min à température ambiante. Afin de déterminer la concentration en sucre, il est nécessaire d'établir une gamme étalon en préparant 6 solutions de glucose aux concentrations connues. (0-0,2-0,4-0,6-0,8-1 mg/ml), comme illustre la **figure 10**.

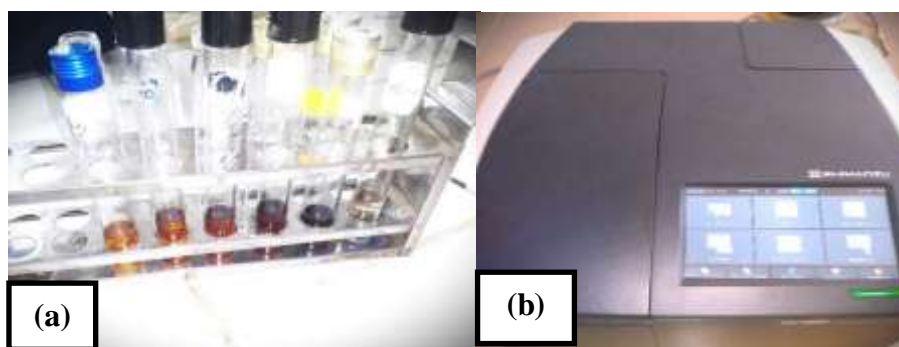


Figure 10. La détermination de la teneur en sucres par spectrophotométrie. (a). Préparation de la gamme d'étalonnage, (b). Lecteur au Spectrophotomètre.

4.1.1.4. Dosage des fibres totaux (ALIM et al., 2023).

➤ Principe

Le dosage consiste à traiter la poudre de caroube successivement avec de l'acide sulfurique et de la potasse. L'hydrolyse acide /basique (à chaud) permet de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibres alimentaires et des sels minéraux.

➤ Mode opératoire

- Préparer deux solutions : la première est d'acide sulfurique (H₂SO₄) à 1,25% et l'autre de l'hydroxyde de potassium (KOH) à 1,25% ;
- Introduire dans un creuset 1g de poudre de caroube séché et broyé puis ajouter 150 ml de H₂SO₄ à 1,25%, après préchauffage à 40°C pendant 30 min, vidanger l'acide sulfurique tout en lavant trois fois avec 30 ml de l'eau distillée tiède, effectuer un dernier lavage avec de l'eau distillée froide (30 ml) ;
- La dernière étape consiste à rincer les résidus contenus dans les creusets 3 fois avec 25 ml d'acétone ;
- Introduire les creusets dans une étuve réglée à 105°C pendant une heure (1h) jusqu'à un poids constant (M₂), ce poids représente les fibres plus la teneur en cendres par rapport au poids initial, pour cela il est nécessaire de poursuivre l'opération en plaçant les creusets dans un four à moufle 550°C pendant quatre heures (4h) jusqu'à ce que la couleur des résidus devienne blanc grisâtre.
- Laisser les creusets refroidir dans un dessiccateur et peser les (M₃), comme le montre la **figure 11**.

➤ Expression des résultats

La teneur des fibres brut est calculer par la formule présentée ci-dessous :

$$F (\%) = (M_2 - M_3) \times 100$$

F% : Pourcentage des fibres.

M2 : poids de la poudre à la sortie de l'étuve.

M3 : poids de la poudre à la sortie du four (fibres seulement).

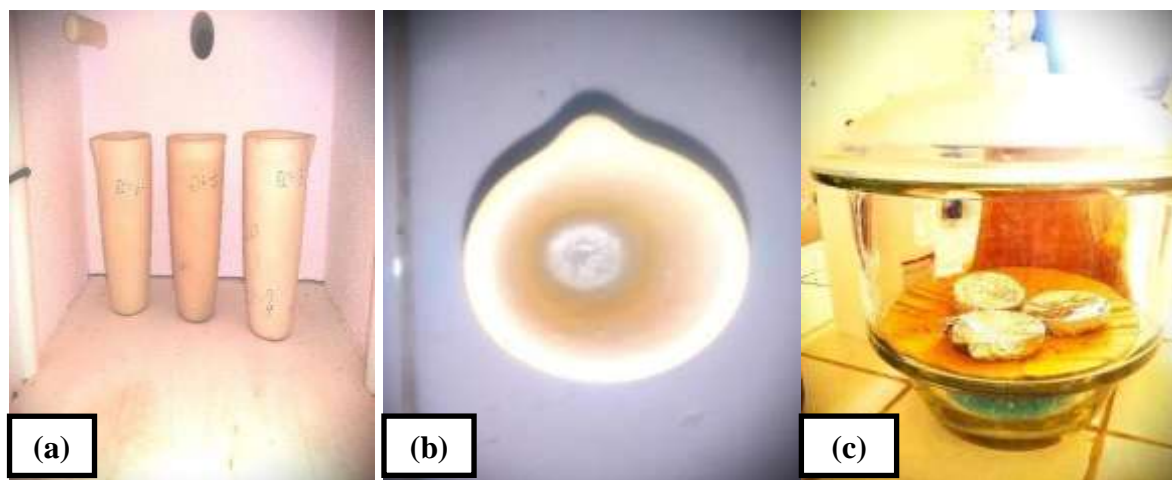


Figure 11. Détermination de la teneur en cendres. (a). Incinération ; (b). Refroidissement ; (c). Dessiccation.

4.1.1.5. Détermination du taux de matière grasse (ISO 659, 2009)

➤ Principe

La matière grasse a été extraite par le solvant organique (Hexane), avec un appareil de type Soxhlet, le solvant est évaporé, l'échantillon est séché puis pesé.

➤ Mode opératoire

- Dans une cartouche cellulosique, introduire 5 g de poudre de caroube et recouvrir à l'aide de coton puis la placer à l'intérieur de l'extracteur ;
- Dans un ballon en verre (Après la prise de son poids (P1)), verser 250 ml de l'hexane.
- Le solvant est chauffé à une température de 100°C jusqu'à son point d'ébullition pendant 4 heures ;

-Après l'extraction, le solvant est séparé à l'aide de la plaque chauffante, puis récupéré le résidu obtenu est séché dans une étuve réglée à 37°C pendant 24 heures. Après séchage, on pèse le ballon contenant les lipides (P2).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

MG : Taux de matière grasse.

$$MG(\%) = (P1/P2) \times 100$$

P1 : Poids du ballon vide.

P2 : poids du ballon avec la graisse.



Figure 12 : La détermination de la teneur en lipides. **(a)**. Extraction de la matière grasse par Soxhlet ; **(b)**. Pesée de la matière grasse.

4.1.1.6. Détermination de la teneur en protéine (Lowry, 1951)

➤ **Principe**

La méthode du biuret est une technique de dosage des protéines reposant sur la coloration bleue violette qui apparaît en milieu alcalin entre les composés possédant deux ou plusieurs liaisons peptidiques -CO-NH- (dont le biuret NH₂-CO-NH-CO-NH₂), tels que les peptides et les protéines et les ions cuivriques et les acides aminés aromatiques et le Folin Ciocalteu. La méthode est très sensible.

➤ **Mode opératoire**

- Réactif A : Na_2CO_3 à 2% dans du NaOH à 0,1N ;
- Réactif B : Sulfate de cuivre penta hydrate à 0,5% dans du tartre de K et de Na à 1% ;
- Réactif C : 50 ml de réactif A+1 ml de réactif B ;
- Réactif D : Folin dilué de moitié ;
- Extrait salin de farine de caroube (1 g est dilué dans 100 ml d'une solution de NaCl à 2% utiliser le filtrat obtenu par papier filtre) ;
- solution mère de BSA (Sérum Albumine Bovine) ;
- Préparer une gamme étalon de différentes concentration (0- 40-80-120-160-200 μg /ml), comme révèle la **figure 13** ;

Utiliser la formule suivante : $C_1V_1=C_2V_2$ à cet effet

De chaque tube à essais (l'échantillon et la gamme étalon), on pipete 0,2 ml puis ajouter 1 ml du réactif C et agiter ensuite ajouter 0,1 ml du réactif D et remuer puis incubé à l'obscurité durant 30 min, enfin l'absorbance est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à **750** nm contre le témoin contenant le réactif sans protéine. Tracer la courbe d'étalon DO en fonction de la conception, la courbe doit être une droite ;

La DO des échantillons (en double essais) sera projetée sur celle-ci puis sur l'axe des abscisses c'est-à-dire des concentrations en pourcentages (%) afin de déduire les concentrations inconnues.

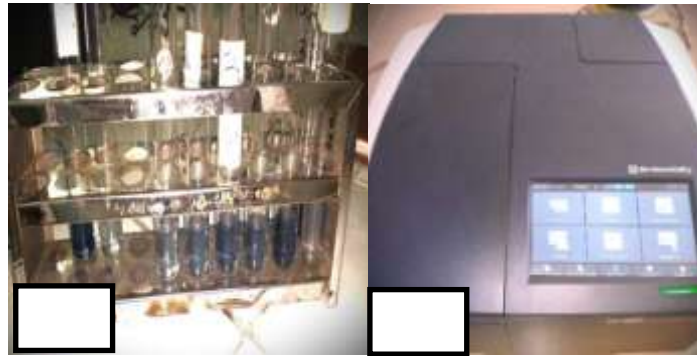


Figure 13. La détermination de la teneur en protéines. **(a).** Préparation de la gamme d'étalonnage ; **(b).** Lecteur au spectrophotomètre.

4.2. Analyses qualitative « screening »

Ce terme screening correspond à une technique de « criblage » c'est à dire la recherche systématique des produits naturels. L'analyse phytochimique est réalisée sur la base des tests de coloration caractéristique en vue de mettre en évidence les grands groupes chimiques. A cet effet, plusieurs types de réactifs ont été utilisés.

4.2.1. Test des flavonoïdes et des polyphénols

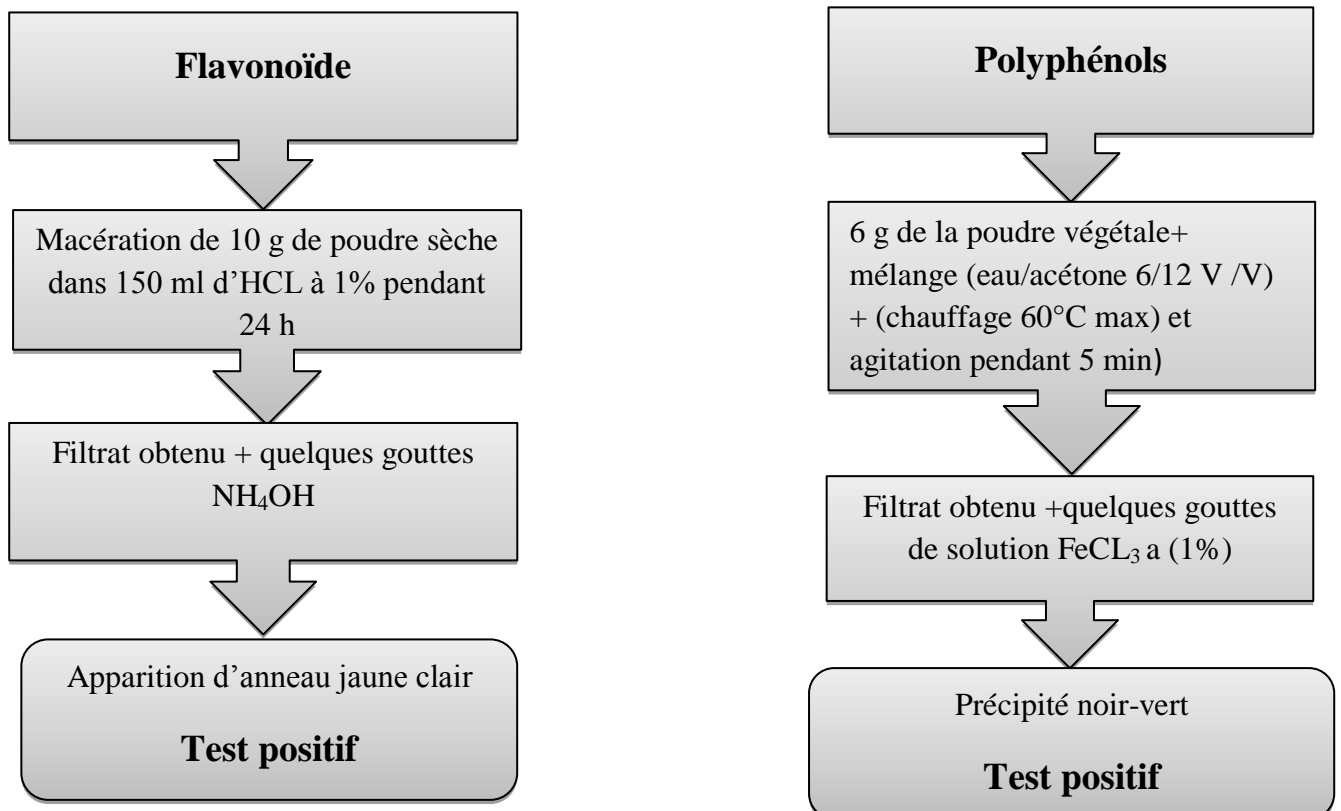


Figure 14. Recherche des polyphénols et les flavonoïdes dans la poudre de caroube.

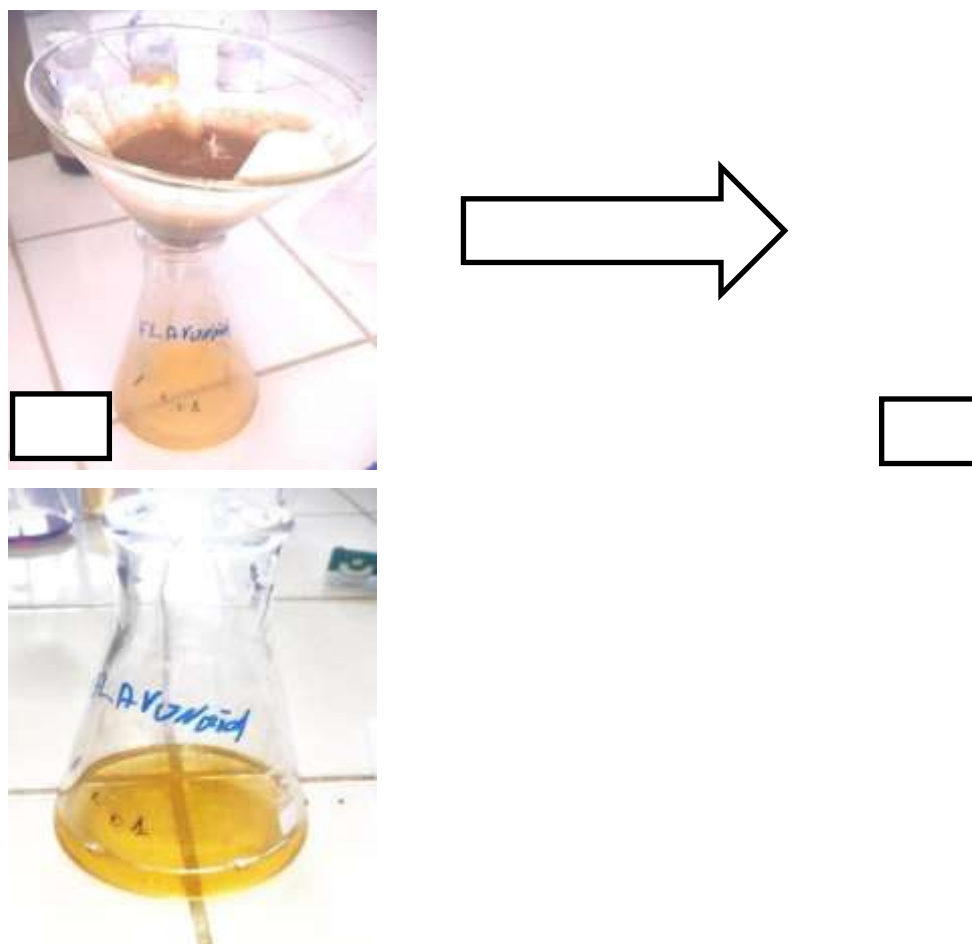


Figure 15. L'analyse qualitative des flavonoïdes. (a). Le filtrat avant l'ajout de trichlorure d'aluminium ; (b). Le filtrat après l'ajout de trichlorure d'aluminium.

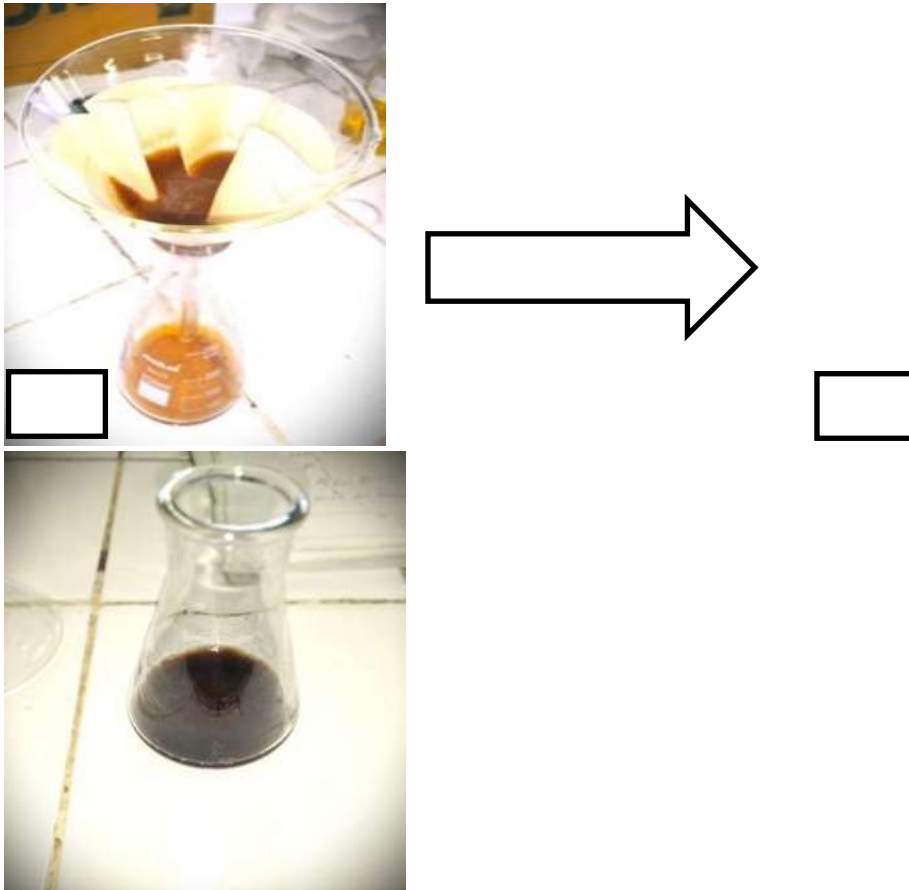
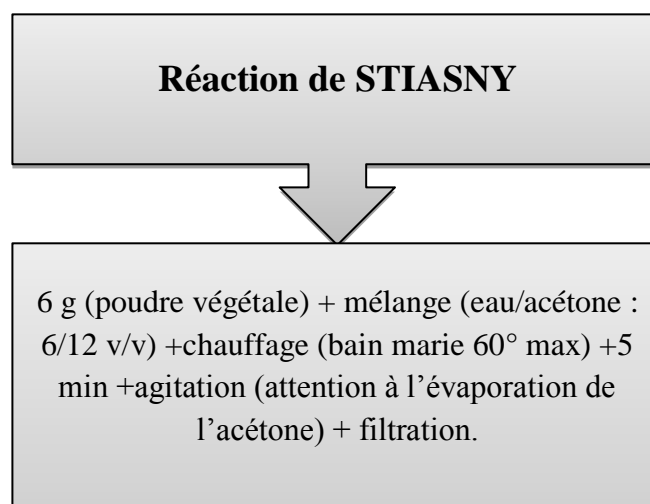


Figure 16. L'analyse qualitative des polyphénols. **(a).** Le filtrat avant l'ajout de quelques gouttes de solution FeCl_3 a (1%), **(b).** Le filtrat après l'ajout quelques gouttes de solution FeCl_3 a (1%).

➤ **Teste des tanins**



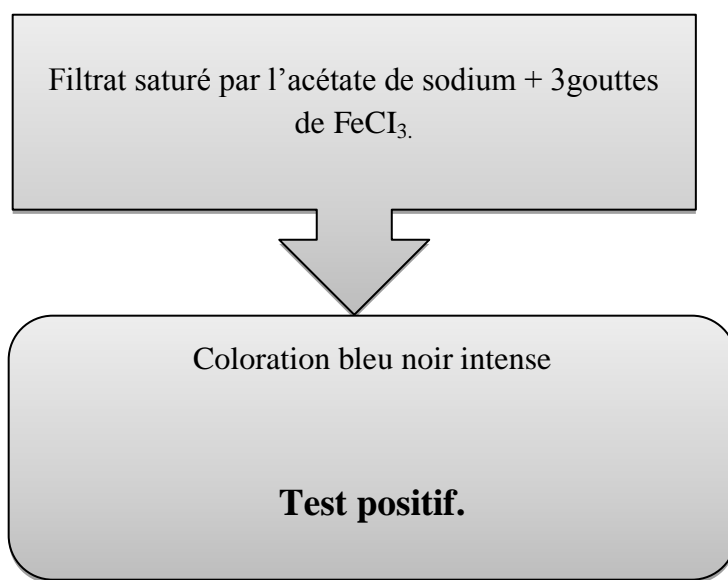


Figure 17 : Recherche des tanins dans la poudre de caroube.

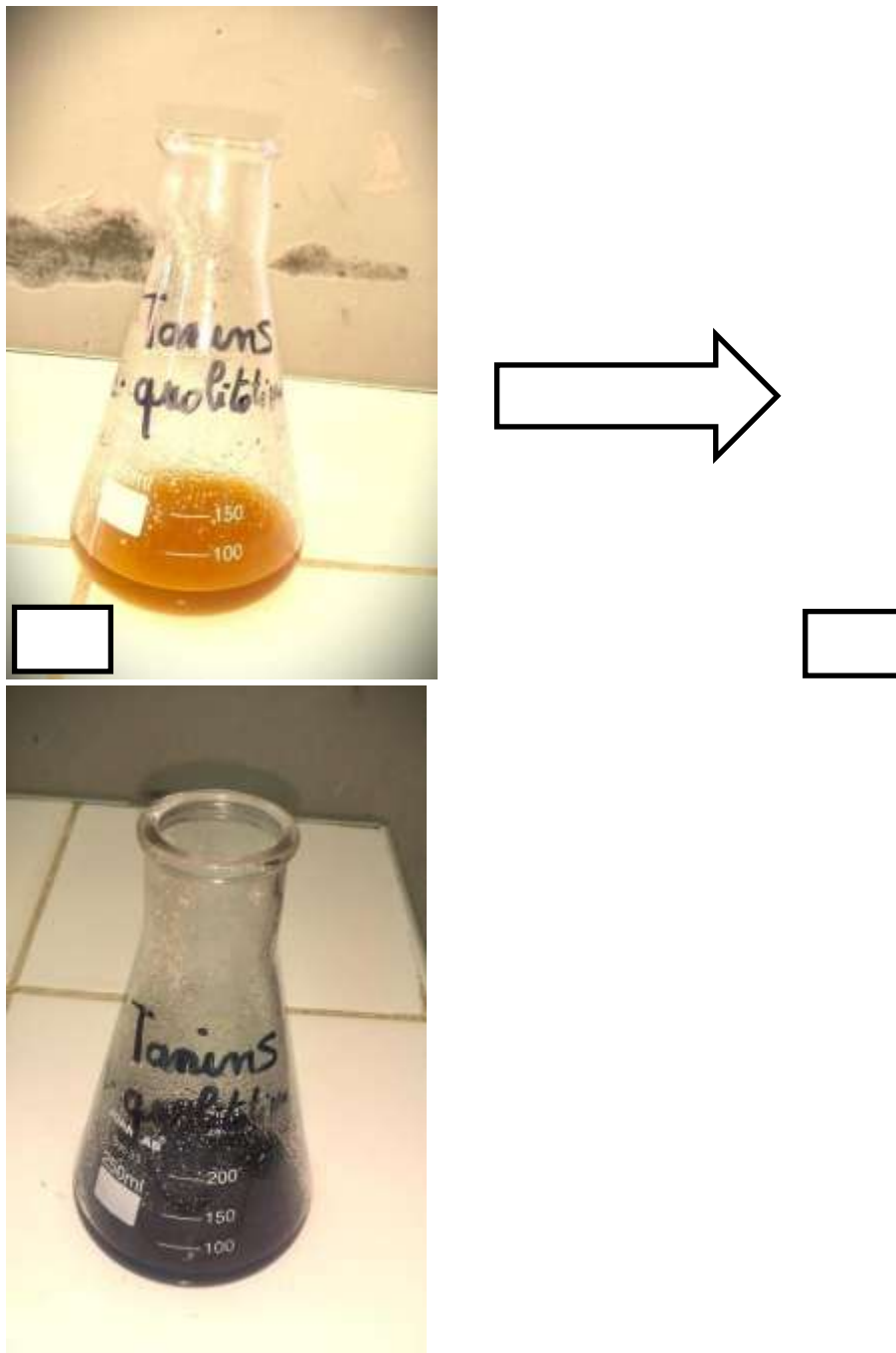


Figure 18. L'analyse qualitative des tanins. (a). Le filtrat avant l'ajout de l'acétate de sodium, (b). Le filtrat après saturation par l'acétate de sodium + 3gouttes de FeCl_3 .

4.2.1. Métabolites secondaires

4.2.2. Technique d'extraction (Fadel et al., 2011)

Afin d'extraire les différents métabolites secondaires contenues dans les gousses de caroube, notamment les composés phénoliques, nous avons choisi une méthode d'extraction solide- liquide. Cette méthode consiste à laisser séjourner la poudre de la caroube en contact prolongé avec un solvant à savoir (50 ml d'acétone et 50 ml d'eau distillé), pour obtenir les différents extraits à partir 5 g de poudre de caroube. Cette opération dure 48h.

Après filtration (papier filtre) des macérats, les filtrats obtenus soumis à une évaporation de la phase acétonique à 100°C au bain marie.

4.2.3. Dosage des polyphénols totaux (méthode de Folin-Ciocalteu)

➤ Principe

Le dosage des polyphénols a été effectuée par le réactif colorimétrique Folin Ciocalteu selon la méthode de **Singleton et al., (1999)**. L'ensemble des composés phénoliques est oxydé par le réactif de Folin Ciocalteu. Ce dernier, est de couleur jaune, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique qui sont réduits lors de l'oxydation des phénols en mélange d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène. La coloration bleue produite est proportionnelle aux taux de composés phénoliques, et possède une absorbance maximale à 760 nm.

➤ Mode opératoire

- 0,3 g de l'extrait sec est dissous dans 6 ml d'eau distillée. Cette solution est diluée à 10^{-1} ;
- 1ml de la solution de chaque extrait est mélangé avec 5 ml du réactif Folin Ciocalteu (**dilué 10fois avec l'eau distillée**) dans des tubes à essai ;
- Un volume de 4 ml de la solution aqueuse de carbonate de sodium (Na_2CO_3), à une concentration de 75g/l est ajouté ;
- Après homogénéisation et incubation à température ambiante pendant 1 heure, l'absorbance est lue à l'aide d'un spectrophotomètre à 760 nm. Par la suite, une courbe d'étalonnage par l'acidegallique à différentes concentration (0- 0,5 mg /ml) est préparée. La teneur en polyphénols totaux est exprimée en (mg) équivalent d'acide gallique par (g)

d'extrait sec.

➤ **Expression des résultats**

La concentration des polyphénols totaux est calculées à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique (AG). Elle est exprimée en mg EAG/g MS selon l'équation suivante :

$$T_{pt} = C \times V / M$$

T_{pt} : Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/g MS).

C : Concentration de l'extrait équivalent à l'acide gallique, obtenue à partir de la courbe d'étalonnage(mg/ml).

V : Volume de l'extrait (ml).

M : Poids sec de l'extrait de la plante (g).

4.2.4. Dosage des tanins

➤ **Principe**

La méthode (**Mole et Waterman, 1987**) est basée sur la réaction de l'extrait tannique avec le réactif ferrique qui provoque une coloration violette du complexe d'où la formation des ions Fe³⁺.

➤ **Extraction des tanins (Bruneton, 1999)**

- 10 g de poudre de caroube broyée sont mis en présence de 180 ml ED et 100ml d'acétone puis l'ensemble subit une macération à froid à 4 °C pendant 4 jours ;

- Filtrer et extraire la solution deux fois avec 50 ml de dichlorométhane afin d'éliminer les pigments et les lipides.

➤ **Dosage des tanins**

Une prise de 1 ml de chaque extrait a été ajoutée à 2ml de vanilline préparée a 2 g de vanilline dans 78 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) à 70%. L'absorbance est mesurée à 500

nm après 15 min d'incubation dans un bain marin à 25 °C. La courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant de la catéchine, les concentrations comprises entre 0-3 mg/ml.

➤ **Expression des résultats**

La concentration des tanins est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec la catéchine. Elle est exprimée en mg EC/g de matière sèche MS Selon l'équation suivante :

$$Tt = C \times V / M$$

Tt : Teneur en tanins (mg EC/g d'extrait sec de la plante)

C : Concentration de l'extrait équivalent à la catéchine, obtenus à partir de la courbe d'étalonnage (mg/ml).

V : Volume de l'extrait (ml).

M : Poids sec de l'extrait de la plante (g).

4.2.5. Dosage des flavonoïdes

➤ **Principe**

Le dosage des flavonoïdes dans les extraits est déterminé par la méthode colorimétrique de trichlorure d'aluminium. (Djeridane et al.,2006).

➤ **Mode opératoire**

- 2ml de l'extrait sec dilué est mélangé avec 2 ml d'AlCl₃ à 2% ;

- Après incubation pendant 10 minutes à température ambiante à l'abri de la lumière, l'absorbance est lue à 430 nm ;

- Les concentrations des flavonoïdes contenus dans les extraits secs sont calculées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenus en utilisant la quercétine comme standard à différentes concentrations (0 -10mg/ml).

➤ **Expression des résultats**

La concentration des flavonoïdes est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec la quercétine. Elle est exprimée en mg EQ /g MS selon l'équation suivante :

$$Tf = C \times V / M$$

Tf : Teneur en flavonoïdes (mg EQ/g d'extrait sec de la plante).

C : Concentration de l'extrait équivalent à la quercétine, obtenue à partir de la courbe d'étalonnage (mg/ml).

V : Volume de l'extrait (ml).

M : Poids sec de l'extrait de la plante (g).

5. Caractérisation de la solution de caroube

5.1. Détermination du pH

➤ **Principe**

Le pH est déterminé selon la méthode standard en utilisant un pH-mètre étalonné avec deux solutions tampons pH4 et pH7. (**Lapointe Vignola, 2002**).

➤ **Mode opératoire**

-Introduire 10 g de la poudre de caroube dans 100 ml de l'eau distillé ;

-Plonger l'électrode du pH-mètre dans la solution ;

-Lire la valeur directement sur le pH-mètre (**AOAC,1995**), comme le montre la **figure 19**.

➤ **Expression des résultats**

On note la valeur du pH directement sur l'écran d'affichage du pH -mètre.

5.2. Détermination de l'acidité titrable

➤ **Principe**

L'acidité titrable est déterminée par titrage à l'hydroxyde de sodium NaOH 0,1 N qui consiste à mesurer la quantité d'acide présente dans la solution (**Lapointe Vignola, 2002**).

➤ **Mode opératoire**

- Introduire 10 ml de la solution de caroube dans un bécher de 50 ml ;
- Ajouter 4 gouttes d'indicateur coloré (phénolphtaléine) à la solution ;
- Remplir la burette graduée avec la solution titrante (hydroxyde de sodium NaOH 0,1 N) ;
- Titrer progressivement la solution goutte à goutte tout en remuant manuellement jusqu'à ce que la solution change de couleur en rose, c'est le point d'équivalence ;
- Noter le volume de la solution titrante ajoutée à l'échantillon (**V**), comme illustre la **figure 19**.

➤ **Expression des résultats**

L'acidité titrable est donnée par la relation suivante :

$$AT \text{ (ml)} = V(\text{NaOH}) \times [\text{NaOH}] / V(\text{échantillon})$$

AT : Acidité titrable en (ml).

V (NaOH) : Volume de NaOH utilisé.

[NaOH] : La concentration de NaOH utilisé

V (échantillon) : Volume de l'échantillon.



Figure 19. (a). Détermination du pH ; **(b).** Détermination de l'acidité titrable de la solution de caroube.

Résultats et discussion

1. Résultats des études morphologiques de 10 gousses de caroube

L'observation à l'œil nu de nos gousses (**10 gousses**) a permis de déceler une légère différence entre ces gousses, illustrées dans le tableau suivant :

Tableau X : Représentation des valeurs moyennes de dix gousses de caroube.

Paramètres	Moyenne des paramètres
Longueur (cm)	12,46 ± 0,92
Largeur (cm)	1,99 ± 0,18
Indice de taille	6,32 ± 0,88
Épaisseur (cm)	0,6 ± 0,1
Poids de la gousse (g)	9,44 ± 1,05
Poids de la pulpe (g)	7,59 ± 0,92
Poids des graines (g)	1,88 ± 0,24
La proportion de la pulpe (%)	80,23 ± 0,55
La proportion de graines (%)	19,77 ± 1,7
Nombre de graines	11,6 ± 1,16
Masse volumique (g/l)	948,3 ± 104,04
Densité	0,948 ± 0,11

Le **tableau X** montre les caractéristiques morphologiques de la gousse de caroube.

Les résultats de l'étude morphométrique des gousses de *Ceratonia siliqua* L. var **Iferhounene** ont montré que nos résultats en termes de longueur moyenne de 10 gousses **L** = (12,46 ± 0,92) cm et de largeur moyenne **l** = (1,99 ± 0,18) cm, d'épaisseur moyenne **e** = (0,6 ± 0,1) cm et le poids moyen des gousses **p** = (9,44 ± 1,05) g et le nombre moyen des graines **n** = (11,6 ± 1,16) graines concordent avec les résultats de (**Kyratzis et al., 2021**) ; **L** = [7,54 – 20,41] cm, **l** = [1,657 – 2,613] cm, **e** = [0,4488 – 1,176] cm, **p** = [5,806 – 29,11] g. De même, nos résultats sont en concordance avec ceux de (**Albanell et al., 1996**) ; **L** = [7,71- 27,28] cm, **l** = [1,44 –

2,68] cm, **e** = [0,54 - 1,32] cm et **n** = [2,88 – 14,76] graines. Ces résultats s'expliquent par le fait que la variété Iferhounene a des traits morphologiques qui se chevauchent avec le caroubier cultivé dans les autres pays du bassin méditerranéen. Les variétés algériennes sont compatibles avec les variétés Chypriotes et Espagnoles en termes de longueur, largeur, épaisseur, le poids de gousses et le nombre de graines par gousse.

Nos résultats concernant le poids de la pulpe = 7,59 ± 0,92 g et le poids des graines = 1,88 ± 0,84 ne concordent pas avec les résultats de (**Albanell et al., 1996**) ; le poids de la pulpe = 13 ± 0,27 g et le poids des graines = 1,88 ± 0,04 g. Ces résultats s'expliquent par la différence de l'origine géographique, effet variétal, le cultivar et la différence entre les espèces cultivées et les espèces qui poussent spontanément, d'où il existe une variabilité génétique entre les variétés Algériennes et Espagnoles.

La comparaison de nos résultats avec les résultats de (**Orphanos et Papaconstatinou., 1969**) à Chypre, (**Crescimano et al., 1988**) en Italie et **Marakis et al., (1988)** en Grèce et (**Albanell et al., 1996**) en Espagne, montrent que les variétés Algériennes (**Iferhounene**) sont plus légères et moins dense que (**Italie** = 20,8 g, **Chypre** = 18,5 g, **Grèce** = 16,15 g, **Espagne** = 15,83 g). Cependant, les variétés **Iferhounene** ont la plus haute proportion de graines par gousse (19,77 %) par comparaison aux variétés (Italie = 10,08 %, Chypre = 10,75%, Espagne = 12,63% et Grèce = 15,29%). Ces résultats s'expliquent par la variabilité génétique entre les variétés Algériennes et les variétés Italiennes, Chypriotes, Espagnoles et Grecques.

2. Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de caroube en métabolites primaires

Sont présentés dans le **tableau XI** suivant :

Tableau XI : Résultats des analyses physicochimiques de la poudre de caroube en métabolites primaires.

Métabolites primaires	Teneurs (%)
Taux d'humidité	11,2%
Taux de matière sèche	88,8%
Taux de cendres	2,8%
Taux de sucre totaux	40,14%
Taux de fibres brutes	45,5%
Teneur en lipides	04%
Teneur en protéines	7,8%

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de caroube en métabolites secondaires, sont présentés dans le **tableau XII** suivant :

Tableau XII : Résultats des analyses physicochimiques de la poudre de caroube en métabolites secondaires.

Métabolites secondaires	Teneurs
Taux de polyphénols (mg EAG/g MS)	36,18
Tanins (mg EC/g MS)	3,525
Flavonoïdes (mg EQ/g MS)	1,91
pH (10% poudre de caroube)	5,32
Acidité titrable 10% poudre de caroube	2,5 mol/L

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, montrent que la teneur moyenne en eau est 11,2% qui correspond à une teneur en matière sèche de 88,8%. Ces valeurs sont en concordance avec celle rapportées dans la littérature par (Gaouar, 2011) qui mentionne une teneur en eau de 10 à 13 % (correspondant à une teneur en matière sèche 87 à 90 %). Il existe une légère différence avec les résultats de (Brascresco et al., 2021) qui rapporte une teneur en humidité de 6 à 10 %. Les différences entre les poudres de caroube sont attribuées aux différences entre les cultivars de caroube, la durée de maturation, les précipitations, l'humidité et d'autres conditions environnementales et le temps de récolte et de stockage (Iipumbu et al., 2008).

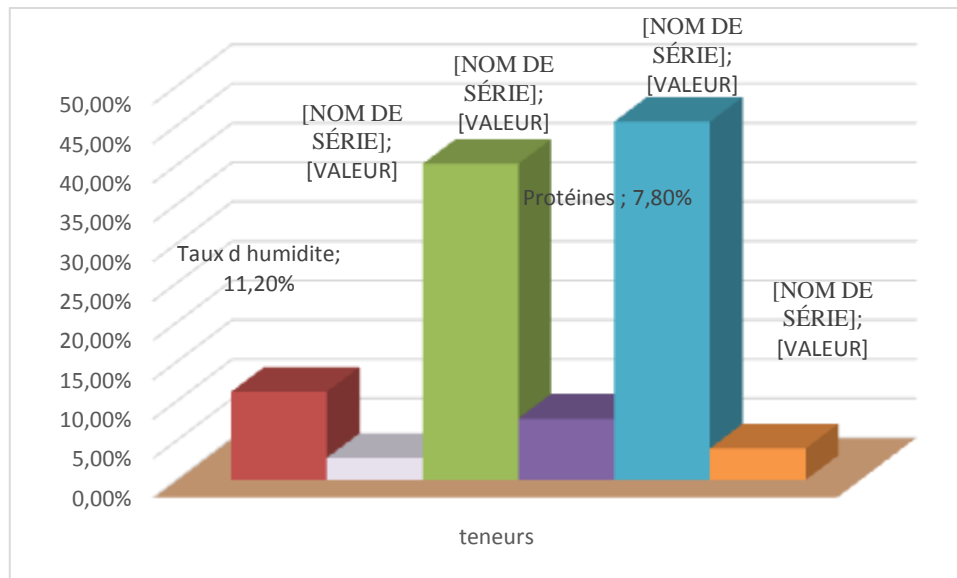


Figure 20 : La composition chimiques de la poudre de caroube en métabolites primaires.

Le résultat concernant la teneur en cendres = 2,8 % est proche du résultat de (**Kamal et al., 2013**) TC = 3,16 %. Ceci s’explique par la similarité entre la variété **Iferhounene** et les variétés Egyptiennes en termes de la teneur en cendre. Les gousses algériennes affichent des taux en cendres comparables avec ceux observés chez les gousses espagnoles, avec une teneur minimale de 2,25 %, coïncidant avec le résultat présent, et une moyenne de 3,27 % (**Albanell et al., 1991**) ; ainsi qu’une légère différence avec les variétés marocaines ayant une moyenne de 3,00 % ± 0,05 % (**Khlifa et al., 2013**). Ce résultat s’explique par le fait que les variétés algériennes sont similaires avec les variétés espagnoles et une légère différence avec les variétés marocaines en termes de la teneur en cendres.

Les résultats concernant la teneur en sucres totaux dans la poudre de caroube sont de 40,14 % et ils sont conformes avec les résultats rapportés dans la littérature ST = [30,5 - 49,20] par (**Kyratzis et al., 2021**) et ils se situent entre la valeur minimale des variétés espagnoles ST = 25,70% et la valeur maximale des variétés libanaises ST = 89,46% (**Albanell et al.,1991 ; Haddarah et al.,2013**). Cependant, ils sont en désaccord avec les résultats de (**Ayaz et al.,2009 ; Carbas et al., 2019 ; Özcan et al.,2009 ; Petkova et al.,2017**) qui ont trouvé une ST = [42 -86] %. Ces résultats montrent qu’il y a une similarité entre les variétés algériennes, marocaines et espagnoles en termes de taux de sucres totaux (**El Batal et al., 2011 ; Albanell et al., 1991**).

De plus, nos variétés (**Iferhounene**) ont une teneur en sucres est supérieure à celles des variétés Portugaises **Mulata** avec TS = 25 % ; **Hermaphrodite** avec 30 % et la variété

Espagnole **Sayalonga** avec 31,2 % et nettement inférieure à celle des variétés **Turques** avec $53,1 \pm 9,3$ % (**Correia et Pestana, 2024**).

Selon (**Boublenza, 2020**), la richesse en sucres totaux de la caroube algérienne est parmi la plus faible dans le bassin méditerranéen. Ce constat peut être appliqué d'une part, par le fait que la majorité du caroubier se trouve dans des zones de garrigue, caractérisées par des sols hétérogènes et pauvres dû à leur nature de type calcaire rocailleux, les dégradations anthropiques liées aux surpâturages et les incendies ; et d'autres part, au fait que la plupart des pieds de caroubier présents dans ces zones sont de type sauvage, disséminés via les graines et qui se caractérisent par une plus faible teneur en sucre total par rapport aux caroubiers greffés.

De plus, la composition chimique de la pulpe de caroube varie selon les facteurs génétiques, environnementaux, les facteurs climatiques et la saison de récolte. Le type de plante (mâle, femelle ou hermaphrodite) et le cultivar influencent de manière significative la composition chimique et les activités biologiques de la pulpe de caroube (**Brassesco et al., 2021**).

Les résultats de l'analyse des taux de fibres alimentaires dans la poudre de caroube indiquent une teneur de 45,5%, cette valeur concorde avec les résultats rapportés par (**Ayaz et al.,2009 ; Carbas et al., 2019 ; Özcan et al.,2009 ; Petkova et al.,2017**) qui ont obtenu [11,7- 47] %. D'après (**Albanell et al., 1991 ; Iipumbu et al., 2008**) la teneur en fibres alimentaires dans la poudre de caroube varier entre [24,13 - 49,47] % et elle varie selon le type de caroube. Les fibres alimentaires sont bénéfiques pour la santé humaine, sachant que la consommation des fibres de caroube réduit les taux de cholestérol et de triglycérides dans le sang, donc ils contribuent à la prévention et au traitement de l'hyperlipidémie (**Zunft et al.,2001 ; Ruiz-Roso et al., 2010**).

Nos résultats concernant la teneur en lipides TL = 4 % concordent avec les résultats de (**Ayaz et al.,2009 ; Carbas et al., 2019 ; Özcan et al.,2009 ; Petkova et al.,2017**) TL = [0,2 - 4,4] %. Ces résultats s'expliquent par la similarité entre les variétés Algériennes, les variétés Portugaises, les variétés Roumaines. Néanmoins, nos résultats sont en discordance avec les résultats de (**Avallone et al., 1997**) TL = [0,4-0,8] % et de (**Kamal et al., 2013**) TL = 1,99 %. Ces résultats s'expliquent par la différence entre les variétés Algériennes, les variétés Italiennes et les variétés Egyptiennes en termes de la teneur en lipides, sachant que les facteurs génétiques climatiques et environnementaux influence la composition chimique de la poudre de caroube (**Ayaz et al.,2009 ; Carbas et al., 2019 ; Özcan et al.,2009 ; Petkova et al.,2017**).

Quant à la teneur en protéines de nos échantillons, elle est estimée à 7,8 %, cette valeur est nettement supérieure aux résultats trouvés par (Brascresco et al., 2021) TP = [1 - 5] % et (Ayaz et al., 2009 ; Carbas et al., 2019 ; Özcan et al., 2009 ; Petkova et al., 2017) qui ont obtenu TP = [1,7 - 5,9] % et en accord avec les résultats de (Kyratzis et al., 2021) TP = [2,179 - 7,868].

Il est important de souligner qu'il y a une similarité entre les variétés Algériennes (Iferhounene) et les variétés Chypriotes en termes de la teneur en protéines et une différence entre les variétés Algériennes et Portugaises. Cette différence est due à l'effet variétal, l'origine géographique, les conditions édaphoclimatiques et aux pratiques agricoles (Iipumbu et al., 2008). Les variétés sauvages TP = 9,08 % ont une teneur en protéines supérieure aux variétés cultivées (TP = 6,09%) (Brascresco et al., 2021).

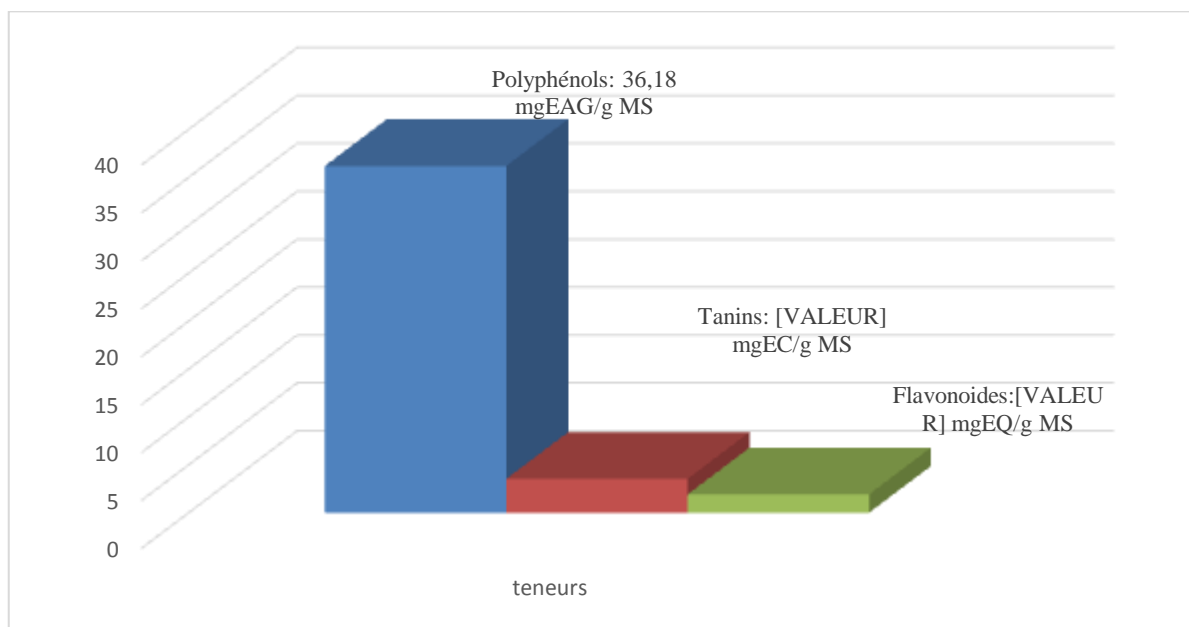


Figure 21 : La composition chimique de la poudre de caroube en métabolites secondaires.

Nos résultats concernant la teneur en polyphénols totaux TPT = 36,18 mg EAG/g MS, sont en concordance avec les résultats de (Ben Othmen et al., 2019) qui ont obtenu TPT = [20,72-40,92] mg EAG/g MS et les résultats de (Correia et Pestana, 2024) qui ont trouvé TPT = [11,07-53,07] mg EAG/g MS et de (Gaouar, 2011) qui a obtenue TPT = [5,67-50,9] mg EAG/g MS et de (Kyratzis et al., 2021) qui ont trouvé TPT = [7,5-85,4] mg EAG/g MS. Ces

valeurs s'expliquent par le fait que les variétés Algériennes sont similaires aux variétés Portugaises et Tunisiennes et Chypriotes en termes de la teneur en polyphénols totaux.

Par ailleurs, nos résultats sont nettement supérieurs aux résultats de (**Avallone et al., 1997**) et de (**Ayad et al., 2022**) qui ont trouvé respectivement les valeurs suivantes : TPT = [15,8-24,4] ; TPT = $23,375 \pm 0,83$ mg EAG/g MS. Ces résultats s'expliquent par la différence entre les variétés Algériennes et les variétés Italiennes.

Nos résultats concernant la teneur en tanins condensés TTC = 3,525 mg EC/g MS, sont en accord avec les résultats de (**Avallone et al., 1997**) qui ont obtenu TTC = [2,09-3,89] mg EC/g MS et ceux de **Kyrazis et al., (2021)** TTC = [0 - 97,8] mg EC/g MS et de (**El Bouzdoudi et al., 2016**) qui ont trouvé TTC = [1,47-7,36] mg EC/g « MS ». Ces résultats s'expliquent par la similarité entre les variétés Algériennes, Italiennes, Marocaines et Chypriotes en termes de la teneur en tanins condensés.

Nos résultats concernant la teneur en flavonoïdes totaux TFT = 1,91 mg EQ/g MS, concorde avec les valeurs de (**El Bouzdoudi et al., 2016**) qui ont obtenu TFT = [1,41- 4,83] mg EQ/g MS. Ces résultats s'expliquent par la similarité entre les variétés Algériennes et les variétés Marocaines.

Cependant, nos résultats sont en discordance avec les résultats de (**Fadel et al., 2020**) qui ont trouvé TFT = [0,17-0,6] mg EQ/g MS. Ces résultats montrent qu'il y a une différence entre les variétés Algériennes et Marocaines en termes de la teneur en flavonoïdes totaux car l'origine géographique, les facteurs génétiques, environnementaux, climatiques et la saison de la récolte influence la composition chimique de la pulpe de caroube.

Les résultats concernant le potentiel hydrogène pH = 5,32 est très proche de celui de (**Boublenza et al., 2017**) qui ont rapporté une valeur de $5,5 \pm 0,1$ et celui de (**Ayad et al., 2024**) pH = $5,23 \pm 0,02$. Ce résultat révèle qu'il y a une similarité entre la variété Iferhounene et les variétés de Boumerdès et de Sétif.

L'acidité titrable de la solution de farine de caroube AT = 2,5 mol/L est nettement supérieur à 0, ce qui indique la présence des acides phénoliques et des acides organiques qui confèrent de l'acidité à la solution de la poudre de caroube comme le révèle (**Papagiannopoulos et al., 2004 ; Cavdarova et al., 2014**).

3. Résultats des paramètres photochimiques de la poudre du *Ceratonia siliqua* L

Le screening phytochimique nous a permis de mettre en évidence la présence de métabolites secondaires au niveau de la poudre de caroube. En effet, selon leur intensité de couleur, comme illustre le tableau **XIII**. Ce dernier montre que la poudre de caroube contient les métabolites secondaires suivantes : les tanins, les polyphénols et les flavonoïdes

Tableau XIII : Résultats du screening phytochimique effectué sur la poudre de fruits de *Ceratonia siliqua* L.

Paramètres phytochimiques	Résultat du test
Tanins	(+++)
Polyphénols	(+++)
Flavonoïdes	(+++)

L'analyse phytochimique de *Ceratonia siliqua* L est une étape très importante, puisqu'elle détecte la présence des constituants bioactifs responsables des vertus thérapeutiques.

Selon **Catarzina et al., (2018)**, la caroube est riche en polyphénols, flavonoïdes et en tanins, ils sont responsables de la modulation de l'expression génique et de la protection des cellules du colon. La présence de ces molécules phytochimiques dans la plante *Ceratonia siliqua* L indique qu'elle possède plusieurs activités biologiques importantes, notamment des propriétés antiseptiques, antifongiques, anti-inflammatoires, bactéricides et antibiotiques (**Belboukhari et al., 2013**).

Conclusion

Le caroubier est originaire des pays méditerranéens, actuellement répandu dans de nombreux pays subtropicaux. Le caroubier reste très négligé et n'a pas encore eu la place qu'il mérite dans les programmes de reboisement et ce, malgré les différentes études et résultats qui ont montré que cette espèce est très intéressante aussi bien du point de vue écologique (plasticité, rusticité, résistance à la sécheresse, etc.), qu'économique (production de fruits ; de bois, création d'emploi, rôle anti-érosif, conservation des sols). Les gousses du caroubier font l'objet de transactions commerciales à l'échelle régionale et internationale.

Ceci a un impact positif sur l'économie des pays producteurs, mais surtout comme source de revenus pour les populations rurales. On tire des gousses de caroube deux produits très différents, utilisés abondamment par l'industrie alimentaire : la farine de caroube utilisée comme substitut du cacao et la gomme de caroube.

Nous avons entrepris une étude morphologique sur les gousses de caroube et une étude physicochimique sur la poudre de caroube d'Iferhounene. L'analyse des paramètres morphométriques des gousses de caroube a révélé que la variété d'Iferhounene a une longueur de $12,46 \pm 0,92$ cm, une largeur de $1,99 \pm 0,18$ cm, un indice de taille de $6,32 \pm 0,88$, une épaisseur de $0,6 \pm 0,1$ cm, un poids moyen des gousses $9,44 \pm 1,05$ g, la proportion de la pulpe est de $80,23 \pm 0,55$ %, la proportion de graines $19,77 \pm 1,7$ %, le nombre moyen des graines est de $11,6 \pm 1,16$, une masse volumique de $948,3 \pm 104,04$ g/l et une densité de $0,948 \pm 0,11$.

La composition de cette dernière en métabolites primaires, révèle une richesse exceptionnelle en fibres alimentaires 45,5%, en sucres totaux 40,14 %, un taux de protéines brutes estimé à 7,8%. Par ailleurs, les analyses chimiques ont montré que la poudre de caroube a une faible teneur en lipides 4% et elle est relativement riche en cendres 2.8 %. En termes de métabolites secondaires, on a remarqué que la poudre de caroube est particulièrement riche en polyphénols totaux 36,18 mg EAG/g MS, et relativement riche en tanins 3,525 mg EC/g MS et en flavonoïdes 1,91 mg EQ/ g MS.

En termes de perspectives et dans le but de compléter ce travail dans l'avenir, il serait intéressant de :

- Faire une étude comparative sur différentes variétés originaires de Tizi-Ouzou.
- Formuler des produits issus de la caroube.

- Extraire, purifier la gomme de caroube à partir des graines et l'utiliser dans les industries agroalimentaires.

Enfin, nous pensons que le développement du caroubier en Algérie, peut avec d'autres cultures, jouer un rôle majeur dans la renaissance et le développement de l'agriculture nationale et ce, dans la perspective d'orienter l'économie de rente actuelle vers une économie basée sur des ressources durables, créatrices d'emplois et qui assurent une autosuffisance alimentaire, gage de stabilité et prospérité pour le pays.

Références
bibliographiques

- ❖ **A.N.R.H. (2004).** L'atlas pratique de l'Algérie. Populaire de l'armée (EPA).
- ❖ **Aharoni, A., & Galili, G., (2011).** Metabolic engineering of the plant primary–secondary metabolism interface. *Curent opinion in Biotechnology*, 22(2), 239-244.
- ❖ **Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., (2007).** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture. N°153, IAV Rabat, pp.1-4.
- ❖ **Albanell E., Caja G. and Plaixats J. (1991),** Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kib°16, pp. 135bles, *Options Mediterranean's N-* 136.
- ❖ **Albanell, E., Caja, G., & Plaixats, J. (1996).** Characterization of carob fruits (*Ceratonia siliqua L.*), cultivated in Spain for agro Industrial use. *International Tree Crops Journal*, 9(1), 1-9.
- ❖ **ALIM, N., KHANOUS, Z. (2023).** Production et appréciation de la qualité alimentaire de poudre de la caroube (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).
- ❖ **Almanasrah, M., Roseiro, L. B., Bogle-Lukasik, R., Carvalheiro, F., Brazinha, C., Crespo, J., & Duarte, L. C. (2015).** Selective recovery of phenolic compounds and carbohydrates from carob kibbles using water-based extraction. *Industrial Crops and Products*, 70, 443-450.
- ❖ **Andersen, Q.M. and Markham, K.M. (2006).** Flavonoids Chemistry, Biochemistry and Applications. Taylor and Francis Group, LLC. CRC Press.
- ❖ **AOAC (1995).** Official Methods of Analysis. 16th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- ❖ **Audigie C.L and Dupont G., (1982).** Principes des méthodes d'analyses biochimiques, Paris, pp. 566-567.
- ❖ **Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M. et Monzan A. (1997).** Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua L.*): protein, fat, carbohydrates and tannins. *Journal of Food Composition Analysis*. 10, 166-172.
- ❖ **Ayad, R., Ayad, R., Bourekoua, H., Lefahal, M., Makhloufi, E. H., Akkal, S., ... & Nieto, G. (2022).** Process optimization of phytoantioxidant and photoprotective compounds from carob pods (*Ceratonia siliqua L.*) using ultrasonic assisted extraction method. *Molecules*, 27(24), 8802.

- ❖ **Ayad, R., Ayad, R., Zineddine, L., & Berghida, NEH (2024).** Caroube sauvage verte d'Algérie (*Ceratonia siliqua L.*) : caractéristiques physicochimiques et pouvoir antioxydant. *Bulletin de la Société chimique d'Éthiopie*, 38 (1), 187-198.
- ❖ **Ayaz F. A., Torun, H., Ayaz, S. E. M. A., Correia, P. J., Alaiz, M., Sanz, C., ... & Strnad, M. (2007).** Determination of chemical composition of Anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua L.*): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *Journal of food quality*, 30(6), 1040-1055.
- ❖ **Ayaz, Faik A., Torun, H., Glew, R. H., Bak, Z. D., Chuang, L. T., Presley, J. M., & Andrews, R. (2009).** Nutrient content of carob pod (*Ceratonia siliqua L.*) flour prepared commercially and domestically. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(4), 286–292. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0130-3>.
- ❖ **Battle I., Tous J., (1997).** Carob tree *Ceratonia siliqua L.*, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute, pp. 91-97.
- ❖ **Ben Khaldi H., (2013).** Détermination de l'activité antioxydante des polyphénols du Caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) de la région de Tlemcen, En vue de l'obtention du diplôme de master on Biologie, Université Aboubakar Belkadi, p12.
- ❖ **Ben Othmen, K., Garcia-Beltrán, J. M., Elfalleh, W., Haddad, M., & Esteban, M. Á. (2019).** Phytochemical compounds and biological properties of carob pods (*Ceratonia siliqua L.*) extracts at different ripening stages. *Waste and Biomass Valorization*, 12(9), 4975–4990. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01352-x>.
- ❖ **Benamar Benmahioul et tous. (2011).** Le caroubier une espèce méditerranéenne à usage multiple, forêt méditerranéenne.
- ❖ **Bengoechea C., Romero, A., Villanueva, A., Moreno, G., Alaiz, M., Milla´ n, F., Guerrero A., Puppo, M.C., (2008).** Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua L.*) germ proteins. *Food Chemistry* 107, 675–683.
- ❖ **Benmahioul, B., Kaïd-Harche, M., Dagun, F., (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. Forêt méditerranée, pp. 51–58 t. XXXII n°1.
- ❖ **Bessedik M. Guinet P. Suc JP., (1984).** Données paléo floristiques en Méditerranée nord-occidentale depuis l'Aquitaniens. *Revue de Paléobiologie*, spécial vol, 25-31.
- ❖ **Biner, B., Gubbuk, H. A. M. İ. D. E., Karhan, M. U. S. T. A. F. A., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean

(*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chemistry*, 100(4), 1453-1455.

- ❖ **Boublenza I. El Haitoum A. Ghezlaoui S. Mahdad M. Vasai F. Chemat F., (2019).** Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Scientia Horticulturae*, 256 : 108537. DOI : 10.1016/j.scienta.2019.05.064.
- ❖ **Boublenza, I. (2020).** Etude des populations spontanées et cultivées du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Algérie. PhD thèse. Univ. Tlemcen, Algérie, pp. 115.
- ❖ **Boublenza, I., Lazouni, HA, Ghaffari, L., Ruiz, K., Fabiano-Tixier, AS, & Chemat, F. (2017).** Influence de la torréfaction sur les propriétés sensorielles, antioxydantes, aromatiques et physicochimiques de la poudre de gousse de caroube (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of Food Quality*, 2017 (1), 4193672.
- ❖ **Boudy P., (1950).** Economie forestière Nord-Africain, Tome II : Monographie et traitement des essences forestières, Ed. Larose, Paris, pp.443-445.
- ❖ **Bouzouita N., A. Khaldi, S. Zgoulli, L. Chebli, R. Chekki, M.M. Chaabouni and P. Thonart, (2007).** The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia *Food Chemistry* Vol. 101, N°4. PP. 1508-1515.
- ❖ **Brassesco, M. E., Brandão, T. R., Silva, C. L., & Pintado, M. (2021).** Carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): A new perspective for functional food. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 310-322.
- ❖ **Bravo L., Grados, N. and Calixto, F.S., (1994).** Composition and Potential Uses of Mesquite Pods: comparison with Carob Pods (*Ceratonia siliqua* L.). *J. Sci Food Agric.*, 65, 303-306.
- ❖ **Bruneton J., (1999).** Pharmacologie-phytochimie-plantes médicinales, Tech.et Doc.ed. Lavoisier (3^e Edition), Paris.
- ❖ **Carbas, B., Salinas, M. V, Serrano, C., Passarinho, J. A., Puppo, M. C., Ricardo, C. P., & Brites, C. (2019).** Chemical composition and antioxidant activity of commercial flours from *Ceratonia siliqua* and *Prosopis* spp. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 305–311.
- ❖ **Catarino, F.M., Correia, O.A., Webb, E., et David, M. (1981).** Morphological and physiological responses of the Mediterranean evergreen sclerophyll, *Ceratonia siliqua*, to

different light intensities, pp. 5-15.

❖ **Cavdarova, M., & Makris, D. P. (2014).** Extraction kinetics of phenolics from carob (*Ceratonia siliqua* L.) kibbles using environmentally benign solvents. *Waste and Biomass Valorization*, 5, 773-779.

❖ **CompaorÃ, C. S., Parkouda, C., TraorÃ, E. M., Savadogo, A., & Jespersen, L. (2020).** Development of starter cultures carrier for the production of high-quality soumbala, a food condiment based on *Parkia biglobosa* seeds. *African Journal of Biotechnology*, 19(11), 820-828. (ISO 659,1998).

❖ **Correia, P. J., & Pestana, M. (2024).** Sugars and phenols in carob tree fruits from different producing countries: a short review. *Heliyon*.

❖ **Custodio, L., Escapa, A. L., Fernandes, E., Fajardo, A., Aligué, R., Alberício, F., ... & Romano, A. (2011).** Phytochemical profile, antioxidant and cytotoxic activities of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) germ flour extracts. *Plant foods for human nutrition*, 66, 78-84.

❖ **Dakia P. A., (2011).** Carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds, endosperm and germ composition, and application to health. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 293-299). Academic Press.

❖ **Dakia P. et al., (2008).** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid and water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22, 807-818.

❖ **Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006).** Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654-660.

DOI : <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2007.00176.x>.

❖ **Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.

❖ **Durazzo, A., Turfani, V., Narducci, V., Azzini, E., Maiani, G., & Carcea, M. (2014).** Nutritional characterization and bioactive components of commercial carobs flours. *Food chemistry*, 153, 109-113.

❖ **El Batal, H., Hasib, A., Ouatmane, A., Dehbi, F., Jaouad, A., & Boulli, A. (2011).**

Sugar composition and yield of syrup production from the pulp of Moroccan carob pods (*Ceratonia siliqua L.*). *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S955-S959.

❖ **El Bouzdoudi, B., El Ansari, Z. N., Mangalagiu, I., Mantu, D., Badoc, A., & Lamarti, A. (2016).** Determination of polyphenols content in carob pulp from wild and domesticated Moroccan trees. *American Journal of Plant Sciences*, 7(14), 1937-1951.

❖ **El Bouzdoudi, B. E., Saidi, R., Ansari, Z., Bouras, M., Badoc, A., & Lamarti, A. (2017).** Callus induction from carob (*Ceratonia siliqua L.*) Seedlings and leaves of mature tree. *Annual Research & Review in Biology*, 19(2), 1-13.

❖ **Evreinoff, V.A. (1947).** Le caroubier ou *Ceratonia siliqua L.* journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée, 27(299),389-401.

❖ **Fadel, F., El Mehrach, K., Chebli, B., Fahmi, F., El Hafa, M., Amri, O., Tahrouch, S. (2020).** Morphometric and physicochemical characteristics of carob pods in three geographical regions of Morocco. *SN Applied Sciences*, 2, 1-8.

❖ **Fadel, F., Fattouch, S., Tahrouch, S., Lahmar, R., Benddou, A., et Hatimi, A. (2011).** The phenolic compounds of *Ceratonia siliqua* pulps and seeds. *J. Mater. Environ. Sci*, 2(3), 285-292.

❖ **FAOSTAT, (2011).** The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United.

FAO, (2014) *Average Carob Production. 2013 – 2019.*

❖ **FAOSTAT, (2023).** <http://www.fao.org/>.

❖ **FAOSTAT, (2019).** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

❖ **Gaouar N. (2011).** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes ; Laboratoire des Produits Naturels du Département des Sciences d'Agronomie et des Forêts ; Tlemcen. Pp 47- 70.

❖ **Goulas, V., Stylos, E., Chatziathanasiadou, M. V., Mavromoustakos, T., & Tzakos, A. G. (2016).** Functional components of carob fruit: Linking the chemical and biological space. *International journal of molecular sciences*, 17(11), 1875.

❖ **Ghédira, K. (2005).** Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.

❖ **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). Th. Doc en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger.

- ❖ **Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A., Sayah F. (2006).** Importance socioéconomique du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans la Province de Chef Chaouen (nord-ouest du Maroc). *Rev. Tela Botanica*.4.02 (33): 41-48.

- ❖ **Haddarah, A., Ismail, A., Bassal, A., Hamieh, T., Ioannou, I., & Ghoul, M. (2013).** Morphological and chemical variability of Lebanese carob varieties. *European scientific journal*, 9 (18).
<https://doi.org/10.1080/09637480701395549>.

- ❖ **Haber, B. (2002).** Carob fiber benefits and applications. *Cereal Foods World*, 47(8), 365.

- ❖ **Iipumbu, L. (2008).** *Compositional analysis of locally cultivated carob (Ceratonia siliqua) cultivars and development of nutritional food products for a range of market sectors* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University). South Africa, pp. 107.

- ❖ **ISO 659 :2009.** Détermination de la teneur en huile (Méthode de référence). Edn. 4, 13 p. *J. Food Sci. Nutr.*, 58, 652-658.

- ❖ **Issaoui, M., Flamini, G., & Delgado, A. (2021).** Sustainability opportunities for Mediterranean food products through new formulations based on carob flour (*Ceratonia siliqua L.*). *Sustainability*, 13(14), 8026.

- ❖ **Jones, DK, (1953).** Culture de caroube à Chypre. FAO 53/2/1225. FAO, Rome.

- ❖ **Kawamura, Y. (2008).** Carob Bean Gum: Chemical and technical Assessment. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Geneva, Switzerland.

- ❖ **Kamal, M, E. Youssef, Moshera M. El-Manfaloty, Hend M. Ali. (2013).** Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua L.*). 2013, Vol. 3(6), pp. 304-308. DOI : 10.5923/j.fph.20130306.06.

- ❖ **Khanbabaee, K., & Van Ree, T. (2001).** Tannins : classification and définition. *Natural Product reports*, 18(6), 641-649.

- ❖ **Khelifa, M., Bahloul, A., & Kitane, S. (2013).** Determination of chemical composition of carob pod (*Ceratonia siliqua L*) and its morphological study. *Journal of Materials and Environmental. Sciences*, 4(3), 348-353.

- ❖ **Kicher, H et Ladjouzi, A., (2016).** Valorisation des sous-produits de la caroube

(*Ceratonia Siliqua L.*). Mémoire de fin d'étude ; Université A. Mira – Bejaïa.

- ❖ **Krokou, A.; Kokkinofta, R.; Stylianou, M.; Agapiou, A. (2019).** Decoding Carob Flavor Aroma Using HS–SPME–GC–MS and Chemometrics. *Eur. Food Res. Technol.* 246, 1419–1428.
- ❖ **Kocherane, R. (2021).** **Caractérisation morpho-écologique et phytochimique du caroubier (*Ceratonia Siliqua L.*) en Algérie** (Doctoral dissertation, Ziane Achour University of Djelfa).
- ❖ **Kyratzis, A. C., Antoniou, C., Papayiannis, L. C., Graziani, G., Roupael, Y., & Kyriacou, M. C. (2021).** Pod morphology, primary and secondary metabolite profiles in non-grafted and grafted carob germplasm are configured by agro-environmental zone, genotype, and growing season. *Front. Plant science*, 11: 612376.
- ❖ **Lapointe-Vignola, C. (2002).** *Science et technologie du lait : transformation du lait.* Presses inter Polytechnique.
- ❖ **Lowry O.H., Rosenbrough N.J., Farr A.L., Randall R.I. (1951).** Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal Biol Chem.* 193: 265-275.
- ❖ **Mahdad M. Y., Guaour S.B. (2016).** Le caroubier (*Ceratonia Siliqua L.*) dans le Nord-Ouest de l'Algérie, Situation et perspective d'amélioration. Éditions Universitaires européennes. 90 pages.
- ❖ **Makris D.P Et P. Kefalas (2004).** Carob pod as a source of polyphenols antioxydants, *Food Technol. Biothnol.* Vol. 42, N°2, pp. 105-108.
- ❖ **Manganaris, G. A., Goulas, V., Vicente, A. R., & Terry, L. A. (2014).** Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), 825-833.
- ❖ **Marfak, A. (2003).** Radiolyse gamma des flavonoïdes. Etude de leur réactivité avec les radicaux dérivés de l'alcool : formation de depsides.
- ❖ **Marakis, S., Kalaitzakis, J., & Mitrakos, K. (1988).** Criteria for recognizing carob tree varieties. In *Proceedings of the II International Carob Symposium (P. Fito and Mulet, eds.) Valencia, Spain* (pp. 558-566).
- ❖ **Melgarejo, P., & Salazar, D.M., (2003).** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- ❖ **Mohamed Amine, B. (2021).** *Etude de la reproduction et la croissance du caroubier-*

Ceratonia siliqua (Doctoral dissertation, Université larbi tebessi tébessa). (DSA de Tlemcen 2009).

❖ **Mole, S., & Waterman, PG (1987).** Une analyse critique des techniques de mesure des tannins dans les études écologiques : I. Techniques de définition chimique des tannins. *Oecologia*, 72, 137-147.

❖ **Nasar- Abbas, S. M., e- Huma, Z., Vu, T. H., Khan, M. K., Esbenshade, H., & Jayasena, V. (2016).** Carob kibble: A bioactive- rich food ingredient. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 63-72.

❖ **Naghmouchi S. Khouja ML. Romero A. Tous J. Boussaid M., (2009).** Tunisian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations: Morphological variability of pods and kernel. *Scientia Horticulturae*, 121 : 125-130. DOI : 10.1016/j.scienta.2009.02.026.

❖ **Orphanos, P. I., & Papaconstantinou, J. (1969).** The carob varieties of Cyprus. Nicosia: Cyprus Agricultural Research Institute.

❖ **Owen R.W., Haubner R., Hull W. E., Erben G., Spiegelhalder B., Bartsch H., Haber B., (2003).** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fiber. *Food Chem Toxicol.* 41, 1727-1738.

❖ **Oziyci, H. R., Tetik, N., Turhan, I., Yatmaz, E., Ucgun, K., Akgul, H., ... & Karhan, M. (2014).** Mineral composition of pods and seeds of wild and grafted carob (*Ceratonia siliqua* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 167, 149-152.

❖ **Özcan, M. M., Arslan, D., & Gökçalik, H. (2009).** Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua* L) fruit, flour and syrup. *International Journal of food sciences and Nutrition*, 58 (8), 652-658.

❖ **Özcan, M.M., Arslan, D., & Gökçalik, H. (2007).** Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. *International journal of food sciences and nutrition*, 58(8), 652-658.

❖ **Stavrou, IJ, Christou, A., et Kapnissi-Christodoulou, CP (2018).** Polyphénols dans les caroubes : une revue de leur composition, de leurs capacité antioxydante et de leurs effets cytotoxiques, et de leur impact sur la santé. *Chimie alimentaire*, 269,355-374.

❖ **Sigge, G. O., Lipumbu, L., Britz, T. J. (2011).** Proximat composition of carob cultivars growing in South Africa. *South Afr. J. Plant Soil*, 28(1), 17-22.

DOI: <https://doi.org/10.1080/02571862.2011.10640008>.

- ❖ **Palamarev E. (1989).** Paleobotanical evidences of the Tertiary history and origin of the Mediterranean sclerophyll dendroflora. *Plant Systematics and Evolution*, 162 : 93-107. DOI :10.1007/BF00936912.
- ❖ **Papaefstathiou, E., Agapiou, A., Giannopoulos, S., & Kokkinofta, R. (2018).** Nutritional characterization of carobs and traditional carob products. *Food science & nutrition*, 6, 2151-2161.
- ❖ **Papagiannopoulos, M., Wollseifen, H. R., Mellenthin, A., Haber, B., & Galensa, R. (2004).** Identification and quantification of polyphenols in Carob Fruits (*Ceratonia siliqua L.*) and derived products by HPLC-UV-ESI/MS n. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(12), 3784-3791.
- ❖ **Petite M.D. Pinilla J.M., (1995).** Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from Carob Pods *Lebensm. Wiss. U.- Technol.* 28, 145-152.
- ❖ **Petkova, N., Petrova, I., Ivanov, I., Mihov, R., & Hadjikinova, R. (2017).** Nutritional and antioxidant potential of carob (*Ceratonia siliqua L.*) flour and evaluation of functional properties of its polysaccharide fraction. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(11), 2189–2195.
- ❖ **Quezel, P et Santa, S., (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques (tome1). Editions du centre national de la recherche scientifique. pp. 557.
- ❖ **Rababah, T. M., Al- Mahasneh, M. A., Kilani, I., Yang, W., Alhamad, M. N., Ereifej, K., & Al- u'datt, M. (2011).** Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(6), 1096-1102.
- ❖ **Rishani et Rice, (1988).** Use of carob as a potting medium component. *HortScience* 23 (2) : 334-336.
- ❖ **Rivière CH. & Leco H., (1900).** Manuel pratique de l'agriculteur algérien. Editor: Augustin CHALLAMEL. Paris, pp. 349-353.
- ❖ **Roseiro, L. B., Tavares, C. S., Roseiro, J. C., & Rauter, A. P. (2013).** Antioxidants from aqueous decoction of carob pods biomass (*Ceratonia siliqua L.*): Optimisation using response surface methodology and phenolic profile by capillary electrophoresis. *Industrial crops and products*, 44, 119-126.

- ❖ **Roukas T, (1998).** Citric acid production from carob pod extract by cell recycle of *Aspergillus Niger*, *Food Biotechnology* 12, 91–104.
- ❖ **Ruiz-Roso, B., Quintela, J. C., de la Fuente, E., Haya, J., & Pérez-Olleros, L. (2010).** Insoluble carob fiber rich in polyphenols lowers total and LDL cholesterol in hypercholesterolemic subjects. *Plant foods for human nutrition*, 65, 50-56.
- ❖ **Singleton, Collin S. and Couzet J. (2011).** *Polyphénols et procédés*. Lavoisier. *Tec et doc, Paris*, 336.
- ❖ **Stavrou, I. J., Christou, A., and Kapnissi-Christodoulou, C. P. (2018).** Polyphenols in carobs: review on their composition, antioxidant capacity and cytotoxic effects, and health impact. *Food Chem.* 269, 355-374. Doi: 10. 1016/j. foodchem. 2018.06.152.
- ❖ **Tsatsaragkou, K., Gounaropoulos, G., & Mandala, I. (2014).** Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. *LWT-Food Science and Technology*, 58(1), 124-129.
- ❖ **Tzatzani, T. T., & Ouzounidou, G. (2023).** Carob as an agri-food chain product of cultural, agricultural and economic importance in the Mediterranean region. *Journal of Innovation Economics & Management.*,3(42) 1-22.
- ❖ **Van Leth, F., Phanuphak, P., Ruxrungtham, K., Baraldi, E., Miller, S., Gazzard, B., ... & Lange, J. M. A. (2004).** Comparison of first-line antiretroviral therapy with regimens including nevirapine, efavirenz, or both drugs, plus stavudine and lamivudine: a randomized open-label trial, the 2NN Study. *The Lancet*, 363(9417), 1253-1263.
- ❖ **Vardar, Y., Seçmen, Ö., & Ahmed, M. (1972).** Preliminary results on the chemical composition of the Turkish carob beans. *Qualitas Plantarum et Materiae Vegetabiles*, 21, 367-379.
- ❖ **Viruel J. Le Galliot N. Pironon S. Nieto-Feliner G. Suc JP. Lakhali-Mirleau F. Juin M. Selva1 M. Bou Dagher Kharrat M. Ouahmane L. La Malfa S. Diadema K. Sanguin H. Médail F. Baumel A. (2020).** A strong east–west Mediterranean divergence supports a new phylogeographic history of the carob tree (*Ceratonia siliqua*, Leguminosae) and multiple domestications from native populations. *Journal of Biogeography*, 47 : 460-471. DOI :10.1111/jbi.13726.

- ❖ **Wang, Y., Belton, S. B., Bridon, H., Garanger, E., Wellner, N., Parker, M. L., Grant, A., Feillet, P., and Noel, T, (2001).** Physicochemical Studies of Caroubin: A gluten like Protein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 3414- 3419.
- ❖ **Yousif, A. K., Alghzawi, H. M. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food Chemistry*, 69 (3), 283–287.
- ❖ **Youssef, M. K. E., El-Manfaloty, M. M., Ali, H. M. (2013).** Assessment of proximate chemical composition, nutritional status, fatty acid composition and phenolic compounds of Carob (*Ceratonia siliqua* L.).
- ❖ **Zitouni A. (2010).** Monographie et perspectives d’avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua*) en Algérie. Th. ING. Agrn, INSA, El-Harrach, pp 201.
- ❖ **Zunft, H. J. F., Lüder, W., Harde, A., Haber, B., Graubaum, H. J., & Gruenwald, J. (2001).** Carob pulp preparation for treatment of hypercholesterolemia. *Advances in therapy*, 18, 230-236.

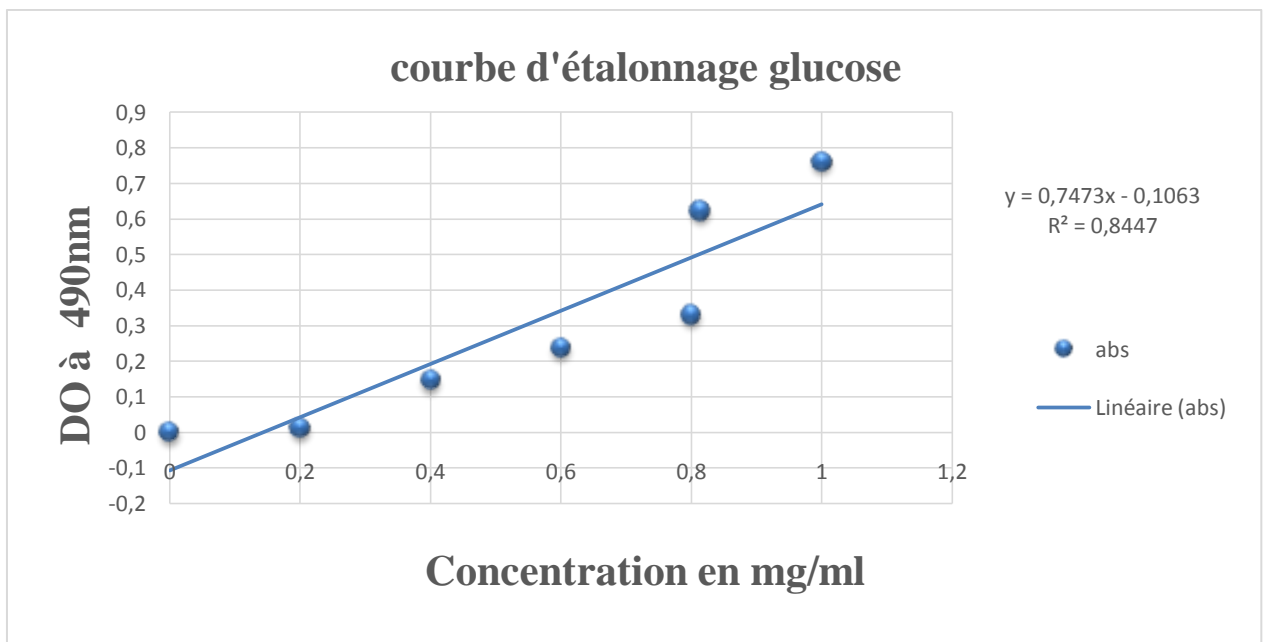
Annexes

Annexe I. Inventaire du matériel, des appareils, des produits.

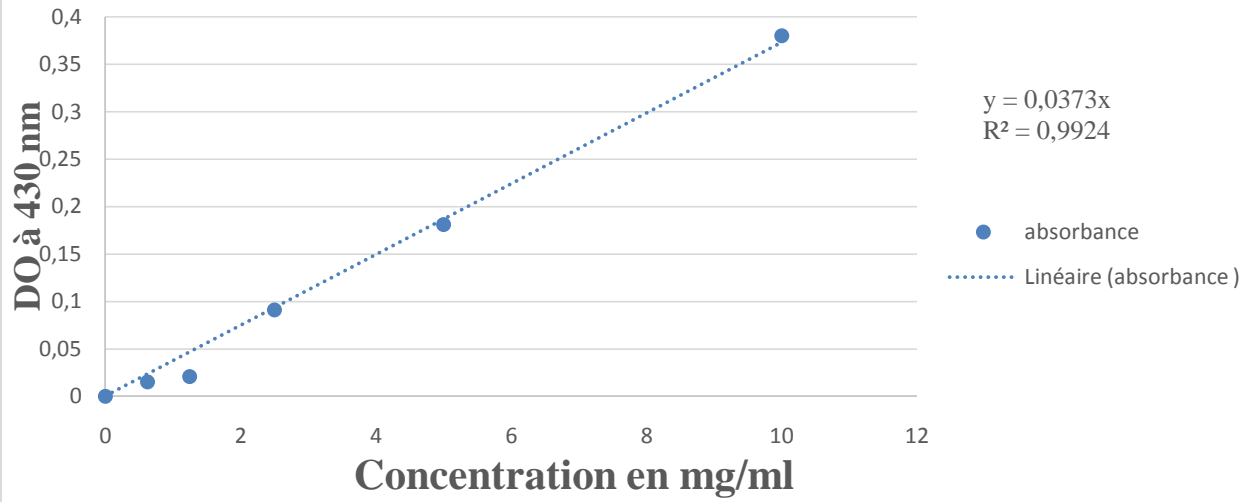
Matériels et appareils	Produits
-Spectrophotomètre.	-Phénol à 5%.
-Micropipette.	-Hexane.
- Pipette.	-Folin – Ciocalteu.
-PH-mètre.	-Acétone.
-Balance de précision.	- Eau distillée.
-plaque chauffante.	-Acide gallique.
-Agitateur magnétique.	-Méthanol.
- Barreau magnétique.	-Carbonate de sodium à 7,5%.
-Dessiccateur.	-Acide ascorbique.
-Four à moufle.	-Acide sulfurique.
-Soxhlet.	
-Etuve.	
-Creusets en porcelaine.	
-Papier filtre.	
-Portoir.	
-Spatule.	
-Fiole de 100ml.	
-Tubes à essai	
-Bécher.	
-pissette d'eau distillée.	

	12	10	11	11	11	13	13	13	11	11
Masse volumique (g/l)	1100	840	960	900	800	1020	833	1080	1050	900
Densité	1,1	0,84	0,96	0,9	0,8	1,02	0,833	1,08	1,05	0,9

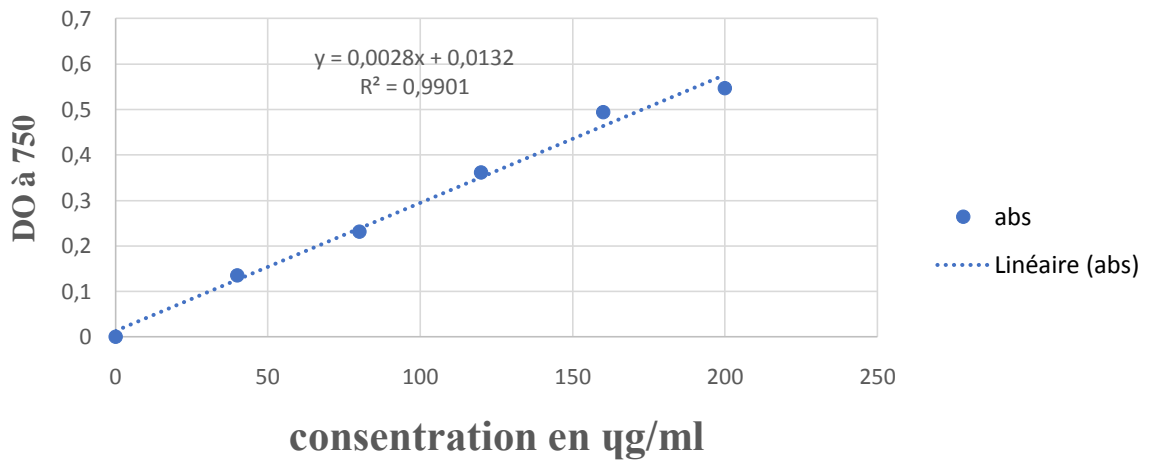
Annexe II. Les courbes d'étalonnages.



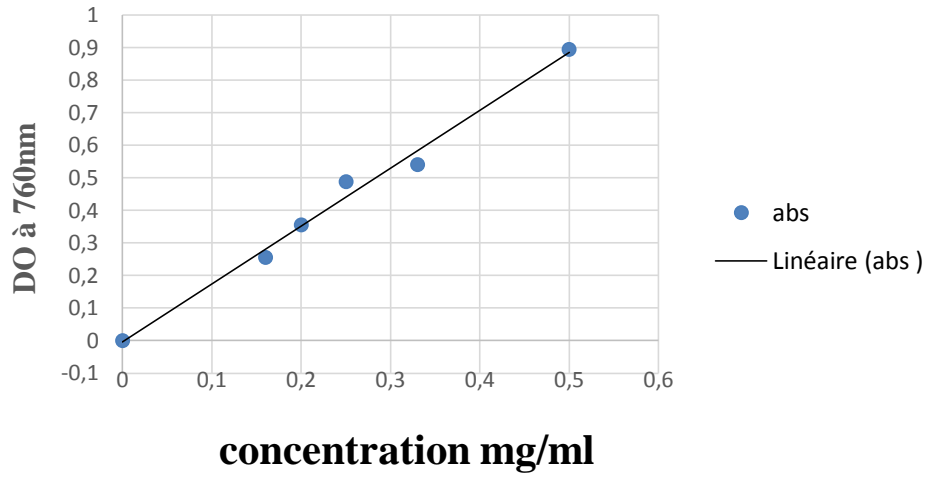
Courbe d'étalonnage flavonoïdes



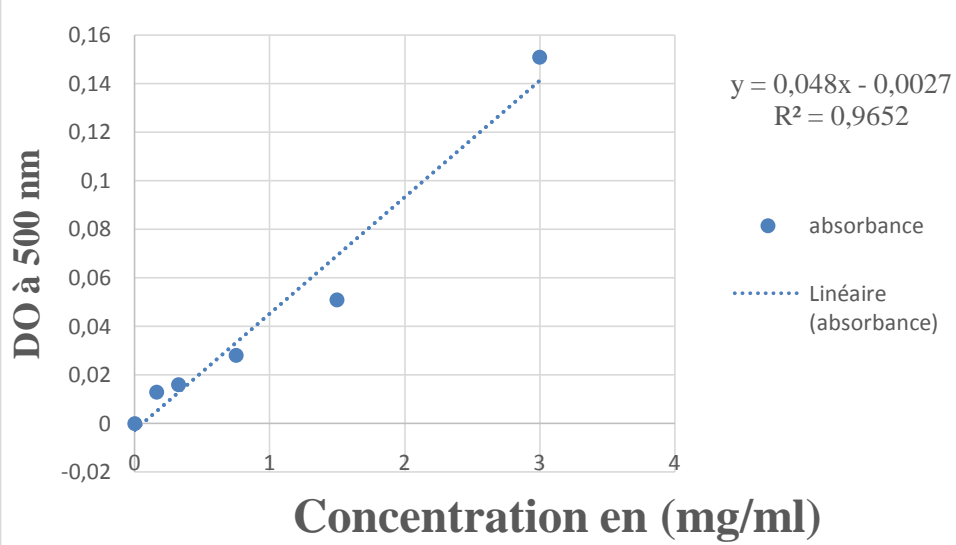
Courbe d'étalonnage protéines



Courbe d'étalonnage acide galique



Droite d'étalonnage des tanins



Résumé

Dans cette étude, une analyse morphologique et compositionnelle du fruit de caroube et de la poudre de caroube provenant d'Iferhounene a été réalisée. L'analyse des paramètres morphométriques des variétés d'Iferhounene a montré que les gousses de caroube ont une longueur de $12,77\pm 0,92$ cm, une largeur de $1,99\pm 0,18$ cm, une épaisseur de $0,6\pm 0,1$ cm, un poids de $9,44\pm 1,05$ g, une masse volumique de $948,10\pm 4,04$ g/l, la pulpe représentant $80,23\pm 0,55$ % et les graines représentant $19,77\pm 1,7$ %. Alors, la caractérisation physico-chimique de la poudre de caroube des mêmes variétés a révélé qu'elle présente une forte teneur en sucres totaux (40,14 %), une teneur élevée en fibres alimentaires (45,5 %), une faible teneur en protéines (7,8 %), en matières grasses (4 %) et en minéraux (2,8 %). En attendant, concernant la teneur en métabolites secondaires, cette étude a révélé que les variétés d'Iferhounene sont exceptionnellement riches en polyphénols (36,18 mg EAG/g MS) et relativement riches en tanins (3,525 mg EC /g MS) et en flavonoïdes (1,91 mg EQ/g MS).

Mots-clés : caroube, analyse morphologique, caractérisation physico-chimique, paramètres morphométriques, métabolites primaires et secondaires.

In this study, morphological and compositional analysis of carob fruit and carob powder coming from Iferhounene were conducted. Analysis of morphometric parameters of Iferhounene varieties showed that carob pods have a length of 12.77 ± 0.92 cm, a width of 1.99 ± 0.18 cm, a thickness of 0.6 ± 0.1 , a weight of 9.44 ± 1.05 g, a volumic mass of $948.104.04$ g/l, the pulp represents $80.23\pm 0.55\%$ and the seeds represent $19.77\pm 1.7\%$. Whereas, physicochemical characterization of carob powder of the same varieties revealed that they have high content of total sugars (40.14%), high dietary fiber content (45.5%), low content of proteins (7.8%), fat (4%) and minerals (2.8%). In the meanwhile, regarding the secondary metabolites content, this study unveiled that Iferhounene varieties are exceptionally rich in polyphenols (36.18 mg EAG/g MS) and relatively rich in Tanins (3.525 mg EC/g MS) and in Flavonoids (1.91 mg EQ/g MS).

Key-words: carob, morphological analysis, physicochemical characterization, primary and secondary metabolites.

في هذه الدراسة، تم إجراء تحليل مورفولوجي وتركيبية لثمار الخروب ومسحوق الخروب القادم من إفرحونين. أظهرت تحليل المعلمات المورفومترية لأنواع إفرحونين أن قرون الخروب لها طول يبلغ (12.77 ± 0.92) سم، وعرض (1.99 ± 0.18) سم، وسماك (0.1 ± 0.6) سم، ووزن (9.44 ± 1.05) غرام، وكثافة حجمية تبلغ $948.104.04$ غرام/لتر، حيث تمثل اللب $80.23\pm 0.55\%$ وتمثل البذور (19.77 ± 1.7)%. وفي حين أن التكرير الكيميائي الفيزيولوجي لمسحوق الكروب من نفس الأنواع كشف عن وجود محتوى مرتفع من مجموع السكر (40.14 في المائة)، والمحتوى الغذائي العالي من الألياف (45.5 في المائة)، والمحتوى المنخفض للبروتينات (7.8 في المائة)، والدهون (4 في المائة)، والمعادن (2.8 في المائة). في هذه الأثناء، فيما يتعلق بمحتوى المستقلبات الثانوية، كشفت هذه الدراسة أن أصناف إفرحونين غنية بشكل استثنائي بالبوليفينولات (36.18 ملغ EAG/g MS) وغنية نسبياً بالتانينات (3.525 ملغ EC/g MS) والفلافونويدات (1.91 ملغ EQ/g MS).

الكلمات الرئيسية: الخروب، التحليل المورفولوجي، التحليل التركيبي، التوصيف الفيزيائي الكيميائي، المستقلبات الأولية والثانوية.