



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

*Université Blida 1*

*Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie*

*Département de Biologie des Populations et des Organismes*

*Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention*

*Du diplôme de Master en biologie*

*Option : « Biodiversité et Physiologie Végétale »*

***Thème :***

**Caractérisation morphologique, anatomique et biochimique  
de l'espèce *Ceratonia siliqua* L. (Caroubier) provenant des  
régions Blida et Tipaza**

***Présentées par :***

*KHOUAS Asma*

*HAMAMOU Mallek*

***Soutenu le :***

*20/09/2020*

***Devant le jury composé de :***

*Mme M.TOUIBIA MCA*

*UDB1*

*Présidente*

*Mme N.BENASSEL MAA*

*UDB1*

*Examinatrice*

*Mme H.S CHERIF MCA*

*UDB1*

*Promotrice*

***Année universitaire : 2019 /2020***



# *Remerciements*

Au terme de ce travail, On tient à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à Notre promotrice Madame H.CHERIF maitre de conférences classe A à l'Université de Blida 1, pour sa précieuse aide, ses orientations et le temps qu'elle nous a accordé pour notre encadrement.

Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury en l'occurrence, Mme TOUABIA M, MCA à l'Université de Blida 1, de nous avoir fait l'honneur de présider le jury, et Mme BENASSEL N. pour avoir examiné ce travail.

Nous voudrions remercier également tout(e)les enseignants(es) de département de biologie des populations et des organismes qui ont contribués à l'enrichissement de nos connaissances pour pouvoir finalement réaliser ce modeste travail.

Toute notre gratitude va à nos familles, et spécialement à nos parents qui nous ont soutenus tout au long de nos études.

Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.



# DEDICACE

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes utilisés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

*Ma précieuse offre du Dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **HACENE**.*

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère **NAIMA**.*

*A ma chère sœur **YASMINE** et mon frère **ZINE EDDINE** qui n'ont pas cessé de me conseiller encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.*

*A mon adorable petite sœur **DINA** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

*A mes grands pères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.*

*A toutes les cousines, les voisines et les amies (**FATIMA**, **NARIMENE**, **WISSEM** et **LINA**) Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

*Sans oublier mon binôme **ASMA** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet de fin d'études.*

**Mallek**



# DEDICACE

*Au nom de Dieu, le Très Miséricordieux, le Tous Miséricordieux Louange à Allah,  
Seigneur des univers de nous avoir donné la faculté de penser, de raisonner, et d'étudier.*

*La mémoire de mon grand-père maternelle **ABD-EL KADER** que dieu le accueille dans son  
vaste paradis et leur accorde sa miséricorde.*

*Aux deux êtres qui me sont plus précieux que tout le reste dans ce monde afin de les  
Remercier pour toute leur bonté, leur générosité, leur soutien et leur patience ainsi que leur  
grand amour à l'égard de leurs enfants. Ces deux êtres ma mère **CHAHRA-ZED** et mon  
père **BELKACEM** pour lesquels aucun mot ne saurait exprimer mes profonds sentiments ont  
leur égard.*

*A mes très chères sœurs **IMENE** et **AYA** et mon frère **YOUNES** je leurs souhaite une vie  
pleine du bonheur et de succès.*

*A mon soutien moral mon fiancée **MOHAMED AMINE ALOUANI** pour l'encouragement et  
l'aide qu'il m'a toujours accordé et à toute sa famille.*

*A mes grands- mères ; **KHIRA** et **OUM EL KHIR***

*A ma tante **NAIMA** et mon oncle **MOHAMED***

*A mes cousines **MIMO, AMINA, SARAH, IKREM, SAMIRA, KHIRA, ICHERAK** et  
**SOUMIA***

*A mes copines **RAHMA, BOUCHERA, SALIMA, SERINE, HIZIA, MANEL, LYDIA,**  
**NAILA** et **ABIR***

*A ma très chère promotrice Mme **CHERIF H.S***

*A toute la famille **KHOUAS** et la famille **KHERROUR***

*Sans oublier mon binôme **MELLEK** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension  
tout au long de ce projet de fin d'études.*

**ASMA**

# Liste des tableaux

Tableau I : Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie 2009.....	09
Tableau II : Superficie occupée par le caroubier.....	10
Tableau III : Composition chimique de la caroube.....	12
Tableau IV : Constituants de caroubier et leurs domaines d'application.....	13
Tableau V : Caractéristiques physiques de quelque huile.....	19
Tableau VI : Présentation de la nature des données de l'étude .....	24
Tableau VII : Les teneurs de chaque article avec ces chercheurs.....	32
Tableau IX : Pourcentage détectés d es composés phénoliques des graines et des pulpes du caroubier.....	annexe I
Tableau X : Composition en acide aminé de la gousse de caroube ( <i>Ceratonia siliqua L.</i> ) et autres fruits.....	annexe II
Tableau XI : Composition en sucre et acide organique des gousses de caroube (mg/g) et autres fruits.....	annexe II
Tableau XII : Composition en acide phénolique (mg/g poids secs) des les gousses de caroube .....	annexe II
Tableau XIII : La concentration (mg/100g poids secs) de plusieurs minéraux dans les gousses et autres fruits.....	annexe II
Tableau XIV : Efficacité d'extraction des polyphénols totaux et flavonols des gousses de caroube .....	annexe III
Tableau XV : Teneurs en minéraux (mg/kg de matière sèche) des feuilles et des écorces du caroubier.....	annexe VI
Tableau XVI : Teneurs en minéraux (mg/kg de matière sèche) de la pulpe et des téguments du caroubier.....	annexe VI

# Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1	Illustration des feuilles du caroubier et ses gousses	03
Figure 2	Arbre de caroubier	03
Figure 3	Feuille de caroubier	03
Figure 4	Inflorescences mâles de la fleur du caroubier	04
Figure 5	Inflorescence hermaphrodite à fleur du caroubier	04
Figure 6	Inflorescence de fleurs femelles sur un pied femelle	05
Figure 7	Fleurs femelles se développant en fruits	05
Figure 8	Fruits de caroubier	05
Figure 9	Stade de développement du fruit du caroubier	05
Figure 10	Les graines de ( <i>Ceratonia siliqua L.</i> )	06
Figure 11	Coupe transversale d'une graine de caroube	06
Figure 12	Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde	08
Figure 13	Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques	09
Figure 14	Les différentes formes et produits dérivés de caroubier ( <i>Ceratonia siliqua L.</i> )	11
Figure 15	Schéma récapitulatif sur la composition chimique d'huile végétale	16
Figure 16	Vue interne d'une presse à barreaux	21
Figure 17	Vue interne d'une presse à vis	21
Figure 18	Préparation du matériel végétal	25
Figure 19	Etapes de l'extraction de sucre et d'acide organique	27
Figure 20	Etapes de préparation de l'extrait de caroube	29
Figure 21	Profil chromatographique des composés phénoliques extraits des pulpes du caroubier d'Izouika	Annexe I
Figure 22	Profil chromatographique des composés phénoliques extraits des pulpes du caroubier de Reggada	Annexe I
Figure 23	Profil chromatographique des composés phénoliques extraits des graines du caroubier d'Izouika	Annexe I
Figure 24	Profil chromatographique des composés phénoliques extraits des graines du caroubier de Reggada	Annexe I
Figure 25	Diagramme comparatif montrant l'activité anti radicalaire	Annexe III
Figure 26	Schéma comparatif illustrant le pouvoir réducteur ferrique valeur de l'extrait de Caroube	Annexe III
Figure 27	Présentation graphique des macro nutriments des feuilles	Annexe IV

<b>Figure 28</b>	Présentation graphique des macro nutriments des écorces	Annexe IV
<b>Figure 29</b>	Présentation graphique des micronutriments des feuilles	Annexe IV
<b>Figure 30</b>	Présentation graphique des micronutriments des feuilles	Annexe IV
<b>Figure 31</b>	Présentation graphique des micronutriments des téguments	Annexe IV
<b>Figure 32</b>	Présentation graphique des micronutriments des pulpes	Annexe IV
<b>Figure 33</b>	Présentation graphique des populations sur les première, deuxième et troisième composantes	Annexe V
<b>Figure 34</b>	Appareil de HPLC	Annexe V

# Liste des abréviations

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

**FAOSTAT** : Food and Agriculture Organization Of the United Nations

**FAO** : organisation alimentaire et agricole

**MAPA** : Ministère de l'agriculture de la pêche et de l'alimentation

**HPLC** : Chromatographie Liquide Haute Performance

**UV** : ultra violet



## Résumé

---

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), appartenant à la grande famille des Césalpiniacées, est un arbre des parties les plus chaudes de la méditerranée. On le trouve dans les villes, villages et même les régions défavorisées, a usages multiples: thérapeutique, socio-économiques et agro-alimentaire.

La présente étude rétrospective porte sur la variation morphologique et biochimique des extraits des graines et des pulpes de l'espèce (*Ceratonia siliqua* L.) récoltée au Maroc, Tunisie, Turquie et la Grèce.

Les constituants biochimiques de cette espèce ont été analysés par Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC) laquelle a permis d'identifier les constituants biochimiques de cette espèce.

Les extraits de la pulpe de (*Ceratonia Siliqua* L.) récoltées au Maroc (Izouika et Reggada) ont montré une richesse qualitative et quantitative, en composés phénoliques par rapport à ceux de la graine, Le profil phénolique de la pulpe est dominé par l'acide coumarique (20,52% à Izouika contre 17,05% à Reggada) et l'acide gallique (17,8% à Izouika contre 12,57% à Reggada). Dans les extraits des graines, l'acide coumarique et l'acide gallique sont également les acides phénoliques majoritaires, l'acide coumarique représente 8,07% à Izouika et 8,18% à Reggada alors que l'acide gallique représente 5,01% à Izouika et 3,95% à Reggada.

Les gousses de caroube obtenues à partir d'une usine de transformation de caroube (Grèce) se sont révélées une source d'antioxydants polyphénoliques. Des extractions avec divers solvants systèmes ont été effectuées afin d'évaluer et d'optimiser les conditions de récupération des polyphénols. Des quantités maximales de composants polyphénoliques ont été trouvées dans 80% d'extraits d'acétone.

Les gousses échantillonnées en Turquie ont montré que le saccharose (437,3 mg/g), glucose (395,8 mg /g) et le fructose (42,3 mg /g) étaient les principaux sucres identifiés et quantifié dans le fruit. L'acide gallique (3,27 mg/g) était le phénol le plus abondant, et l'acide aspartique (18,25 mg/g) était le principal acide aminé dans la fraction protéique de la gousse. Parmi les principaux minéraux analysés, K (9,70 mg/g) était l'élément le plus abondant.

L'analyse de la composition minérale (potassium, calcium, magnésium, cuivre, zinc, sélénium, fer, sodium, chlorures et phosphore) des feuilles, des écorces, des téguments et des pulpes de (*Ceratonia siliqua* L.) collectés dans la province de Chefchaouen au Maroca montré une teneur élevée en Ca et en K, qui singularise tous les organes étudiés.

Enfin, les populations de caroube tunisiennes récoltées dans différents sites ont été étudiées pour évaluer leur polymorphisme par les mesures des gousses et des noyaux. La moyenne des principales valeurs morphologiques descriptives des gousses étaient poids (16,39g), longueur (168,9mm), largeur (20,5mm), épaisseur (5,8mm), nombre de grains viables (12,26), nombre de grains avortés (1,38), poids des grains (0,2g), longueur du grain (9,1mm), largeur du grain (6,9mm), épaisseur du grain (4,1mm) et rendement du grain (17,2%).

La richesse de (*Ceratonia siliqua* L.) en composés phénoliques et sa diversité morphologique suscitent l'intérêt aussi bien pour des études nutritionnelles que pour son utilisation en thérapeutique, ce qui pourrait donner au caroubier un essor dans le contexte socio-économique.

**Mots clé :** (*Ceratonia siliqua* L.), pulpes, gousses, composés phénoliques, composition minérale, diversité morphologique.

## Abstract

---

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.), belonging to the large Caesalpiniaceae family, is a tree found in the warmer parts of the Mediterranean. It is found in towns, villages and even disadvantaged regions, with multiple uses: therapeutic, socio-economic and agro-food.

The present retrospective study focuses on the morphological and biochemical variation of extracts of seeds and pulps of the species (*Ceratonia siliqua* L.) collected in Morocco, Tunisia, Turkey and Greece.

The biochemical constituents of this species were analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) which made it possible to identify the biochemical constituents of this species.

Extracts from the pulp of (*Ceratonia Siliqua* L.) harvested in Morocco (Izouika and Reggada) showed a qualitative and quantitative richness, in phenolic compounds compared to those of the seed, The phenolic profile of the pulp is dominated by coumaric acid (20.52% in Izouika against 17.05% in Reggada) and gallic acid (17.8% in Izouika against 12.57% in Reggada). In the extracts of the seeds, coumaric acid and gallic acid are also the majority phenolic acids, coumaric acid represents 8.07% in Izouika and 8.18% in Reggada while gallic acid represents 5.01 % in Izouika and 3.95% in Reggada.

Carob pods obtained from a carob processing plant (Greece) have been shown to be a source of polyphenolic antioxidants. Extractions with various system solvents were carried out in order to evaluate and optimize the conditions for recovering the polyphenols. Maximum amounts of polyphenolic components were found in 80% acetone extracts.

Pods sampled in Turkey showed that sucrose (437.3 mg / g), glucose (395.8 mg / g) and fructose (42.3 mg / g) were the main sugars identified and quantified in the fruit. Gallic acid (3.27 mg / g) was the most abundant phenol, and aspartic acid (18.25 mg / g) was the major amino acid in the protein fraction of the pod. Among the main minerals analyzed, K (9.70 mg / g) was the most abundant element.

Analysis of the mineral composition (potassium, calcium, magnesium, copper, zinc, selenium, iron, sodium, chlorides and phosphorus) of the leaves, barks, teguments and pulps of (*Ceratonia siliqua* L.) collected in the province of Chefchaouen in Morocco showed a high content of Ca and K, which singles out all the organs studied.

Finally, the Tunisian carob populations harvested in different sites were studied to assess their polymorphism by measuring pods and kernels. The mean of the main descriptive morphological values of the pods were 'weight (16.39g), length (168.9mm), width (20.5mm), thickness (5.8mm), number of viable seeds (12.26), number grain size (1.38), grain weight (0.2g), grain length (9.1mm), grain width (6.9mm), grain thickness (4.1mm) and grain yield (17 , 2%).

The richness of (*Ceratonia siliqua* L.) in phenolic compounds and its morphological diversity arouse interest both for nutritional studies and for its use in therapy, which could give the carob tree a boom in the socio-economic context.

**Key words:** (*Ceratonia siliqua* L.), pulps, pods, phenolic compounds, mineral composition, morphological diversity.

شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L.) إلى عائلة Caesalpiniaceae الكبيرة، وهي شجرة توجد في الأجزاء الأكثر دفئاً تركز من البحر الأبيض المتوسط. توجد في المدن والقرى وحتى المناطق المحرومة، ولها استخدامات متعددة: علاجية واجتماعية واقتصادية وأغذية زراعية.

الدراسة الحالية بتأثر رجعي على الاختلاف المورفولوجي الكيمائي الحيوي لمستخلصات البذور و اللب الأنواع (*Ceratonia siliqua* L) التي تم جمعها في المغرب و تونس وتركيا و اليونان.

تم تحليل المكونات الكيميائية الحيوية لهذا النوع من خلال تحليل كروماتوجرافي سائل عالي الأداء (HPLC) مما جعل إمكانية تحديد المكونات الكيميائية الحيوية لهذا النوع.

أظهرت مستخلصات لب (*Ceratonia Siliqua* L.) التي تم حصدتها في المغرب (Izouika و Reggada) ثراءً نوعياً وكمياً في المركبات الفينولية مقارنة بتلك الموجودة في البذور. حمض الكوماريك (20.52%) في إزويقة مقابل (17.05%) في الرقادة وحمض الغاليك (17.8%) في إزويقة مقابل (12.57%) في الرقادة. في مستخلصات البذور، يمثل حمض الكوماريك وحمض الغاليك أيضاً غالبية الأحماض الفينولية، ويمثل حمض الكوماريك (8.07%) في إزويقة و (8.18%) في الرقادة بينما يمثل حمض الغاليك (5.0%) في إزويقة و (3.95%) في الرقادة.

ثبت أن قرون الخروب التي تم الحصول عليها من مصنع معالجة الخروب (اليونان) مصدر لمضادات الأكسدة متعددة الفينول. تم إجراء عمليات الاستخلاص بمذيبات النظام المختلفة من أجل تقييم وتحسين الظروف لاستعادة البوليفينول. تم العثور على كميات قصوى من مكونات البوليفينول في 80% مستخلصات الأسيتون .

أظهرت القرون التي تم أخذ عينات منها في تركيا أن السكروز (437.3 مجم/جم) والجلوكوز (395.8 مجم/جم) و الفركتوز (42.3مجم/جم) كانت السكريات الرئيسية التي تم تحديدها و كميتها في الفاكهة. كان حمض الجاليك (3.27 مجم/جم) أكثر الفينول وفرة، وكان حمض الأسبارتيك (18.25مجم/جم) هو الحمض الأميني الرئيسي في جزء البروتين في الكبسولة. متبين المعادن الرئيسية التي تم تحليلها، كان (9.70 مجم/جم) العنصر الأكثر وفرة.

تحليل التركيب المعدني البوتاسيوم و الكالسيوم و المغنيسيوم و النحاس و الزنك و السيلينيوم و الحديد و الصوديوم و الكلوريدات و الفوسفور (لأوراق و قشور و لب). (*Ceratonia siliqua* L.) المجمعة في محافظة شفشاون في المغرب، أظهرت نسبة عالية من الكالسيوم و البوتاسيوم، و التي تتميز جميع الأعضاء المدروسة.

أخيراً، تمت دراسة عشائر الخروب التونسية التي تم حصادها في مواقع مختلفة لتقييم تنوعها الوراثي عن طريق قياس القرون و الحبوب. كان متوسط القيم المورفولوجية الوصفية الرئيسية للقرون هي الوزن (16.39 جم) (الطول 168.9 مم، العرض 20.5 مم (السماكة 5.8 مم) (عدد البذور الصالحة (12.26)، العدد حجم الحبوب (1.38)، وزن الحبوب (0.2) جرام (طول الحبوب 9.1) ملم (عرض الحبوب 6.9) ملم (سماكة الحبوب 4.1) ملم (ومحصول الحبوب 17.2%) .

يثير ثراء *Ceratonia siliqua* L في المركبات الفينولية وتنوعه المورفولوجيا لاهتمام بدراسات التغذية واستخدامه في العلاج، مما قد يمنح شجرة الخروب طفرة في السياق الاجتماعي والاقتصادي.

الكلمات الدالة : *Ceratonia siliqua* L، اللب، القرون، المركبات الفينولية، التركيب المعدني، التنوع المورفولوجي.

## Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Abstract

صخلم

Introduction.....01

### **Partie bibliographique**

#### *Chapitre I: Généralité sur le caroubier*

I.1.	Description botanique .....	03
I.1.1.	Aspect général.....	03
I.1.2.	Feuille.....	03
I.1.3.	Fleur.....	04
I.1.4.	Fruit.....	05
I.1.5.	Graine.....	06
I.2.	Systématique :.....	06
I.3.	Reproduction biologique.....	07
I.4.	Ecologie du caroubier.....	07
I.5.	Origine et répartition géographique.....	07
I.5.1.	Origine.....	07
I.5.2.	Répartition géographique.....	07
I.6.	Production de caroube.....	09
I.7.	Différentes formes et produits de caroube.....	10
I.8.	Composition chimique de la caroube.....	12
I.9.	l'intérêt et utilisation de caroube.....	12
I.10.	Effets indésirables des produits de caroube.....	14

#### *Chapitre II : Huile végétale de caroube*

I.1.	Historique.....	15
------	-----------------	----

II.2.Définition .....	15
II.3.Localisation des huiles végétales.....	16
II.3.1.Composition chimique du caroubier ( <i>Ceratonia siliqua L.</i> ) et de certaines plantes de la même famille (légumineuses).....	17
II.4.Caractéristiques des huiles végétales.....	19
II.4.1.Propriétés physiques.....	19
II.4.2.propriétés chimiques.....	20
II.5.Méthodes d'extraction des huiles végétales.....	21
II.5.1.Extraction par presse mécanique.....	21
II.5.2.Extraction par solvant.....	21
II.6. Les différentes applications des huiles végétales.....	21
II.7. Importance des huiles végétales.....	22
II.8. Les facteurs qui influent sur l'huile végétale.....	23

## **Partie expérimentales**

### ***Chapitre III : Matériels et Méthodes***

Présentation de l'étude.....	24
III.1.Nature des données de l'étude .....	24
III.2.Matériels .....	24
III.2.1.Préparation de matériel végétale.....	24
III.3.Méthodes .....	26
III.3.1. Méthodes d'extractions et d'analyses utilisées.....	26

## *Chapitre VI : Résultats et Discussion*

IV.1. Résultats et discussion de la variabilité morphologique et biochimique de l'espèce ( <i>Ceratonia siliqua L.</i> ).....	32
IV.1.1. Les composés phénoliques des graines et des pulpes du caroubier.....	32
IV.1.2. La teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes .....	33
IV.1.3. Résultats des teneurs en protéines, en sucres du caroubie .....	34
IV.1.4. la teneur en eau.....	35
IV.1.5. la variabilité morphologique des gousses et de noyau.....	35
Conclusion .....	36
Références bibliographique	
Annexes	

Depuis des millénaires, les ressources phylogénétiques ont joué un rôle important dans le développement agricole, économique et socioculturel des populations, en tant que biens de consommation et de service.

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) espèce sclérophylle typiquement thermophile, est un arbre à usage multiple (agronomique, sylvicole et pastoral) qui présente des vertus aromatiques et médicinales. De part sa répartition géographique, il occupe à l'état naturel les différents pays de la méditerranée de caroubier (diversité morphologique des graines des différents écotypes de caroubier au Maroc) (**Foughali et al, 2014**).

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), appartenant à la grande famille des légumineuses (**Fadel et al, 2011**). On le trouve à l'état naturel principalement dans les pays suivants : Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Égypte, et Chypre. Il est capable de développer différentes stratégies pour limiter les contraintes hydriques. C'est une essence qui s'installe avantagusement dans les zones semi-arides et arides.

En Algérie, 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 retombées socio-économiques que cette plante peut avoir à l'échelle nationale et surtout régionale (**Benmahioul et al, 2011**).

Toutes les composantes de l'arbre (feuillage, fleur, fruit, bois, écorce, racine) sont salutaires. Ainsi, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers qui représente le plus grand potentiel dévalorisation grâce à sa richesse en éléments nutritifs qui a suscité l'attention de plusieurs chercheurs Battle et Tous, Quezel et Santa, Ait Chitt...ect, mais surtout pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (**Biner et al, 2007**). Ainsi, les gousses entières, la pulpe, les graines et la gomme font l'objet d'un commerce important en direction de l'Europe et sont largement utilisées dans l'industrie agro-alimentaire (**Biner et al, 2007**).

L'objectif général de cette étude est de décrire :

D'une part, dans le cadre d'une étude rétrospective de la variabilité morphologique, anatomique et biochimique de l'espèce de (*Ceratonia siliqua L.*) basée sur l'analyse de quatre travaux scientifiques antérieurs de (**Fadel et al, 2011**), (**El Hajaji et al, 2013**) et (**Ayaz et al, 2007**), (**Makris et Kefalas, 2004**) et (**Neghmouchi et al, 2009**).

# ***Introduction***

---

Dans ce contexte, nous avons entrepris la caractérisation de (*Ceratonia siliqua L.*) de 4 pays notamment le Maroc, Tunisie, la Turquie et la Grèce à travers la composition chimique des gousses de caroube.

Notre document sera donc composé de quatre chapitres, initié par une recherche bibliographique sur un abrégé de l'étymologie de caroubier et ces produits, localisation géographique ainsi que son utilisation au cours des siècles et ses activités biologiques. Le deuxième chapitre élucide des généralités sur huile végétale, son procédé d'extraction, sa composition, ainsi que ses caractéristiques physico-chimiques.

La partie expérimentale qui consiste en une étude sur les critères morphologiques, anatomique et de composition chimique de la plante qui se rapportant à la mise en évidence des composés phénoliques, les teneurs en (protéines, sucre, éléments minéraux), ainsi l'extraction et son analyse par chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC) afin d'atteindre notre but. En dernier lieu, nous exposerons les résultats afin de les comparer à d'autres travaux cités dans la bibliographie et on termine par la conclusion et perspective.



# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

## I.1. Description botanique

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L. dérive du grec Keras (=corne) et du latin siliqua désignant une siliqua ou gousse et faisant allusion à la dureté et à la forme du fruit, il est aussi appelé Carouge, pain de saint Jean-Baptist, figuier d’Egypte, fève de Pythagore (Battle et Tous, 1997).



Figure 1 : Illustration des feuilles du caroubier et ses gousses (www.123rf.com, 2005).

### I.1.1. Aspect général

Le caroubier est un arbre à feuillage abondant, persistant et très dense. Il peut atteindre dans des conditions propices une hauteur de 7 à 10 m et même 15 à 20 m en Orient, et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3 m. C’est un arbre xérophytique, sa longévité est considérable jusqu’à 200 ans avec une croissance très lente (Figure 2). Le caroubier a des racines fortes qui pénètrent dans le sol pour atteindre une profondeur de 18 m ou même plus (Ministère de l’agriculture et de la pêche Maritime, 2007). Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune et brune et rugueuse à l’âge adulte. Son bois de couleur rougeâtre est très dur (Aitchitt et al, 2007).



Figure 2 : Arbre de caroubier

(https://ecologie.ma, 2012)

### I.1.2. Feuille

Les feuilles persistantes, de 10 à 20cm de long, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant 8 à 15 folioles, opposées, de 3 à 7 cm (Figure 3), elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées de couleur verte (Aitchitt et al, 2007). Les feuilles sclérophylles, ont un épiderme supérieur très épais, dont les cellules contiennent dans les grandes vacuoles des composés phénoliques, et les stomates sont présents seulement dans l’épiderme inférieure (Mitrakos, 1988).



Figure 3 : Feuille de caroubier (Benmahioul et al, 2011).

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

## I.1.3.Fleurs :

Les fleurs du caroubier sont regroupées en grappes latérales, habituellement dressées ou ascendantes brièvement pédonculées. Initialement, les fleurs sont bisexuée il y a suppression d'un axe durant le développement et le fonctionnement des cellules pour aboutir à des fleurs mâles ou femelles.

La morphologie florale est complexe et varié, il existe des :

- Inflorescence mâles à fleur caractérisées par des étamines à long ou court filament et à pistil non développé (**Ministère de l'agriculture et de la pêche Maritime, 2007**).



Figure 4 : Inflorescence mâles réunies en chaton, portant 5 étamines  
(<https://sites.google.com/site/societenantaisedhorticulture>, 2019).

- Inflorescence hermaphrodite à fleur avec des étamines et un pistil bien développé, cette forme reste rare dans la partie côtière méditerranéenne de l'Espagne (**Ministère de l'agriculture et de la pêche Maritime, 2007**).



Figure 5 : Inflorescence hermaphrodite à fleur  
(<http://www.google.com>).

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

→ Inflorescence femelle avec un pistil bien développé et des étamines rudimentaires

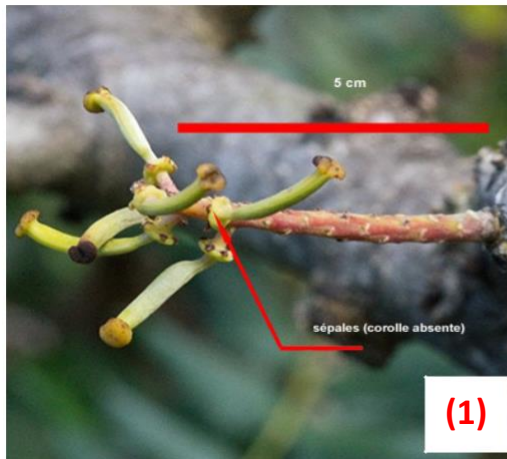


Figure 6 : Inflorescence de fleurs femelles sur un pied femelle (1) (<http://www.snv.jussieu.fr>, 2012).



Figure 7 : Fleurs femelles se développant en fruits(2) (<https://www.lepeupledacote.com>, 2019).

→ Inflorescence polygame comportant des fleurs femelles, des fleurs mâles et des fleurs hermaphrodites (**Ministère de l'agriculture et de la pêche Maritime, 2007**).

## I.1.4.Fruits

La gousse du caroubier, nommée caroube, est une gousse indéhiscente de 10 à 30 cm de longueur sur quelques centimètres de largeur. A maturité, la caroube change de couleur et devient brune (Figure 8). Ses composants majeurs sont la pulpe et les graines contenues dans les logettes de la gousse (**Simon, 2010**).

Le fruit du caroubier croît très lentement à ses débuts durant l'automne. Sa croissance s'accélère au printemps et croît d'une manière visible jusqu'au début de l'été où il atteint sa taille maximale. La maturité est atteinte à partir du début septembre. Entre la nouaison et la maturité peut s'écouler une période de 11 mois (Figure 9).



Fruits de caroubier (wikipedia, 2017).

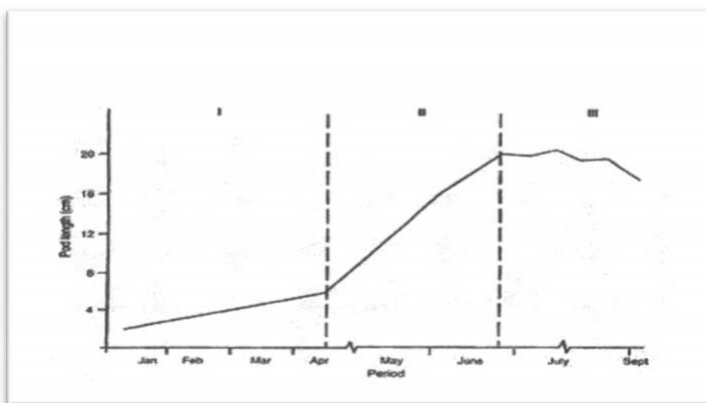


Figure 9 : Stade de développement du fruit du caroubier (Ilahi et Vardar, 1976).

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

## I.1.5.graines :

Les graines de caroube sont brunes, de forme ovoïde aplatie, biconvexes et très dures. Elles sont séparées les unes des autres par des cloisons pulpeuses (Figure 10). On en compte de quinze à vingt par gousse.

La pulpe jaune pâle contenue dans les gousses est farineuse et sucrée à maturité. Comestible, au goût chocolaté, elle est parfois consommée dans les pays pauvres. La taille et le poids de ces graines étant assez réguliers (Dakia et al, 2008).



Figure 10 : les graines de *Ceratonia siliqua L.* (<https://sites.google.com/site/societenantaisedhorticulture>, 2019).

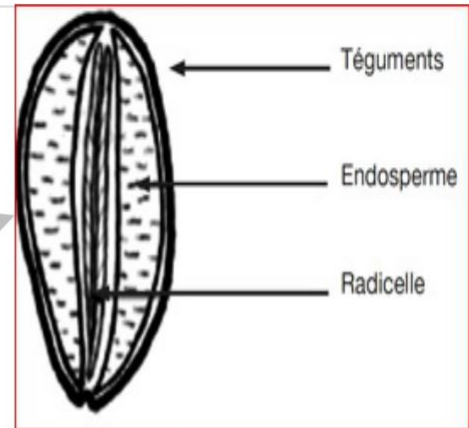


Figure 11: Coupe transversale d'une graine de caroube (Dakia et al, 2008).

## I.2.Systématique :

Le Caroube (*Ceratonia siliqua L* ;  $2n = 24$ ) est une espèce subtropicale appartenant à la famille des légumineuse, la sous-famille des Caesalpinioidea, le genre *Ceratonia L*, et sur le plan taxonomique, *Ceratonia* est considérée comme l'une des plus archaïques des genres de légumineuses, complètement isolé de tous les autres genres de sa famille (Barracosa et al, 2007).

- Selon (Quezel et Santa, 1962), cette espèce appartient :

classification scientifique	
Règne	Plantae
Embranchement	<u>spermatophyta</u>
Sous- embranchement	Angiosperme
Classe	<u>magnoliopsida</u>
sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales (rosales)
Famille	Fabaceae (lègumineuse)
sous-famille	Caesalpinioideae
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<u><i>Ceratonia siliqua L.</i></u>

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

---

## I.3.Reproduction biologique

Le caroubier est dioïque, parfois hermaphrodite. Les pieds mâles sont stériles et improductifs. Cet aspect a été bien étudié par (Schroeder, 1959), il est considéré comme le seul arbre méditerranéen qui fleurisse en été : « d'août à octobre » ou en automne : « de septembre à novembre » (Aafi, 1996). Cependant, le temps et la durée de la période de floraison dépendent des conditions climatiques, ce qui est le cas pour la plupart des arbres fruitiers (Battle et Tous, 1997). La fructification, chez le caroubier, se situe entre juillet et décembre de l'année qui suit la floraison, selon les régions et les cultivars (Aafi, 1996).

Les fleurs sécrètent des substances nectarifères dont la quantité et la contenance en sucre sont élevées dans la fleur femelle par rapport à son homologue mâle (Ortiz et al, 1996). La pollinisation des fleurs du caroubier est, en grande partie, assurée par les insectes mais aussi par le vent (Tous et Battle, 1990).

## I.4.Ecologie du caroubier

Le caroubier est une espèce typique de la flore méditerranéenne, bien définie dans l'étage humide, subhumide et semi-aride. Il croit généralement à l'état disséminé dans l'étage du thuya et du genévrier de Phénicie (Boudy, 1950) et (Rejeb et al, 1991).

Les études de (Rejeb, 1995) confirment que le caroubier se comporte comme une véritable espèce résistante à la sécheresse en s'adaptant morphologiquement et physiologiquement au manque d'eau. De par ses aptitudes d'adaptation aux stress du sol et du climat, le caroubier pourrait contribuer au développement des zones défavorisées. Il joue un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion et dans la lutte contre la désertification (Zouhair, 1996).

## I.5.Origine et répartition géographique

### I.5.1.Origine :

Le lieu d'origine du caroubier demeure un sujet à plusieurs suppositions. Toutefois, (Candolle, 1883) et (Vavilov, 1951) ont rapporté qu'il serait native de la région Est méditerranéenne « Turquie et Syrie ». Par contre, (Schweinfuth, 1894) a insinué qu'il est originaire des pays montagneux du sud d'Arabie « Yémen ». Tardivement, il a été considéré par (Zohary, 1973), comme originaire de « la flore d'Indo-Malaisie », groupé avec *Olea europea* et *Pistacia lentiscus* et d'autres plantes.

### I.5.2.Répartition géographique :

➔ **Dans le monde:** Le caroubier est distribué dans toute la région du bassin méditerranéen. On le rencontre actuellement dans une zone allant de l'Espagne et du Portugal jusqu'en Turquie, en Syrie, en passant par le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Lybie, l'Égypte, le Liban, la Grèce, l'Italie et la France (Figure 12).

## Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

Plus récemment, Le caroubier a été introduit en succès dans de nombreux autres pays à climats chauds et semi-arides principalement aux Etats-Unis « **Florida et Californie** », l'Australie et l'Argentine, l'Arizona, le Chili, le Mexique et l'Afrique du Sud [ (**Aafi, 1996**) et (**Battle et Tous, 1997**) ]. En général, la distribution des espèces arboricoles telles que *Ceratonia siliqua L.* est limitée par le stress lié au froid (**Mitrakos, 1981**).



Figure 12 : Centre-d'origine- t-distribution-du-caroubier-dans-le-monde ( Battle et Tous, 1997).

### → Dans le bassin méditerranéen :

- **Au Maroc**, le caroubier est localisé dans les plaines et les montagnes du Rif, du Moyen Atlas, du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas et dans des bioclimats de type humide, subhumide, semi-aride et aride côtier à variantes chaude et tempérée.

La principale population spontanée de caroubier est localisée dans les régions situées entre 600 et 1000 m d'altitude, en association avec d'autres espèces forestières et abritées des vents et du froid (**Aitchitt et al, 2007**).

- **En Tunisie**, La culture du caroubier en Tunisie présente actuellement que peu d'importance, on le rencontre souvent, le long des côtes, de Tabarka à Sfax, là où la pluviosité dépasse 200 mm et où les hivers ne sont pas froids (**Rejeb et al, 1991**).
- **En Algérie**, on le trouve un peu partout dans le nord du pays, et même au nord du Sahara dans des altitudes de moins de 1700 m (**Arban, 2015**).

l'aire de répartition du caroubier en Algérie (Figure 13) Ses lieux de prédilection sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales : Sahel algérois, Dahra, Grande-Kabylie et Petite-Kabylie, vallée de la Soummam (1074ha) et de l'Oued-Isser, collines D'Oran et des coteaux de Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaines de Bône, Mitidja et les vallées intérieures (1054). Il descend jusqu'à Bou-Saada, mais n'y porte pas de fruit, et dans la zone de Traras au Nord de Tlemcen (276ha). (**Zitouni, 2010**) et (**Lavalée, 1962**).

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

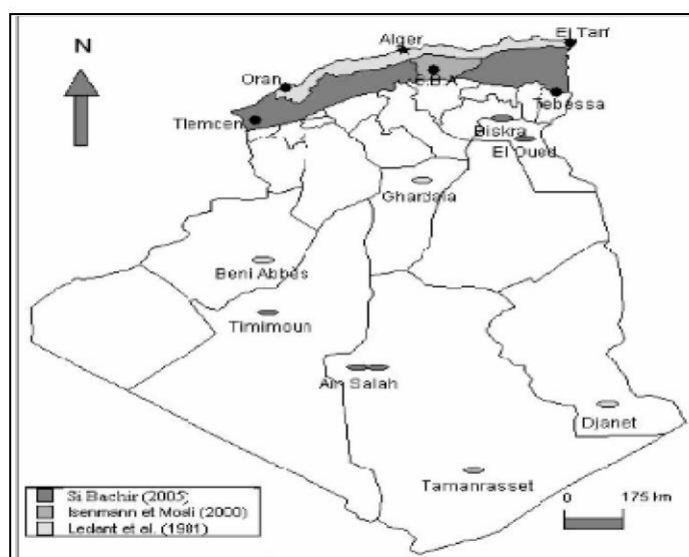


Figure13: Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H, 2004)

## I.6. Production de caroube :

Selon les statistiques fournies par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), en 2000 la surface de caroubier cultivé en Algérie était de l'ordre de 1210 ha. 12 ans plus tard, la surface s'est rétrécie à 821 ha seulement. La production, quant à elle, est passée de 3952 tonnes en 2000 à 3136 en 2012. Malgré son vaste territoire et ses capacités, l'Algérie est à la traîne parmi les pays méditerranéens producteurs de caroube, loin derrière l'Espagne, le Maroc, l'Italie et les autres pays. Le tableau ci-dessous représente la production et le rendement du caroubier en Algérie.

**Tableau I :** Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009.

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

## Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

L'aire totale de la production mondiale du caroubier est estimée à 102939ha, la plus grande superficie, 83574ha, est celle de l'Europe, contre une superficie estimée à 1000ha pour l'Algérie et 13460ha pour les pays d'Afrique du Nord (Tableau II).

La production mondiale de caroube est estimée à 191355.64 tonnes. Elle est essentiellement Concentrée en Espagne, Italie, Maroc, Portugal, Grèce, Turquie, suivie de Chypre, Algérie, Liban, et en dernier la Tunisie (FAOSTAT, 2010).

**Tableau II :**

Pays	Superficie (ha) en 2004	Superficie (ha) en 2008
Algérie	1066	1000
Afrique du Nord	13526	13460
Europe	92218	83574
Monde	112711	102939

Durant le siècle dernier, la production mondiale de caroube a connu une chute dramatique, Elle est passée de 650.000t en 1945 (Orphanos et Papaconstantinou, 1969).

à 310.000t en 1997. La grande perte a été enregistrée en Espagne où la production a chuté de 400.000t en 1930 à 150.000t en 1990 (MAPA, 1994).

Selon (Battle, 1997), la régression accusée dans la production du caroubier a été principalement liée à la baisse des prix et aux programmes du développement des zones côtières au dépend des plantations de caroubier.

On remarque qu'en Algérie la production de caroube ainsi que la surface cultivée ont baissé par rapport aux données enregistrées en 2004, car il n'est plus utilisé comme plante fourragère comme aliment de bétails au profit de l'orge et c'est dû à son coût élevé et son rendement lent (10 à 15 ans après sa plantation).

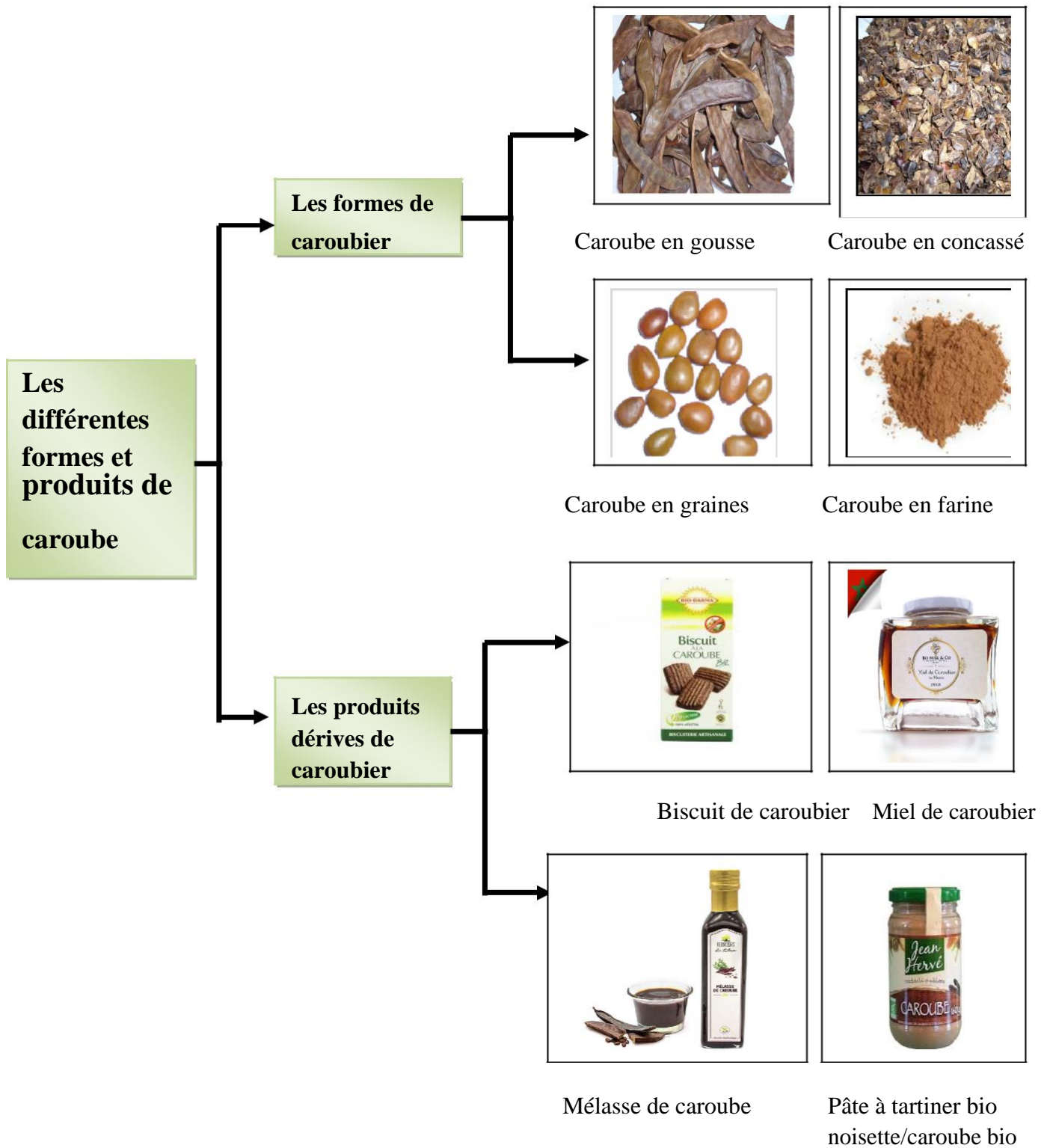
### I.7. Différentes formes et produits de caroube :

Le Caroube et les aliments traditionnels produits à partir des fruits, la farine de caroube et le sirop de caroube (Figure 13) contiennent des niveaux élevés de glucides, de protéines, minéraux de calcium, de sodium, de potassium et de fer et faibles niveaux de graisse.

En outre, les produits à base de caroube contiennent des éléments essentiels importants dans le métabolisme humain qui sont nécessaires pour une croissance et une prévention plus saines et la guérison des maladies. Ce sont des sources importantes des nutriments et des éléments essentiels (Özcan et al, 2007).



# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier



(<http://www.google.com>).

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

## I.8. Composition chimique de la caroube :

La pulpe et les graines sont les deux principaux constituants de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total (tableau III) Selon plusieurs auteurs, la composition chimique de la pulpe dépend en général, du cultivar, de l'origine et parfois de la période de récolte [ (Orphanos et Papaconstantinou, 1969) ; (Vardar et al, 1972) ; (Calixto et Canellas, 1982); (Albanell et al, 1991)].

Tableau III :

La pulpe 90%		La graine 10%	
Les constituants	%	Les constituants	%
<b>Glucides</b>	48-72%	L'enveloppe tégumentaire (cuticule)	30-33%
<b>Protéines</b>	1-2%		
<b>Matières grasses</b>	0.5-0.7%		42-46 %
<b>Cellulose et hémicellulose</b>	18 %	L'endosperme (albumen)	
<b>Minéraux</b>	(Ca, Mg, K, P)		
<b>Pectines et fibres</b>	4.2 à 9.6%		23-25%
<b>Cendres</b>	1.5-2.4%	L'embryon (germe)	
<b>Poly phénols</b>	16 –20%		

## I.9. l'intérêt et utilisation de caroube :

Le caroubier est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines Les principaux domaines d'applications sont présentés dans (le tableau IV).

# Chapitre I : Étude bibliographique sur le caroubier

Tableau IV: Constituants de caroubier et leurs domaines d'applications

Domaine d'utilisation	Usage
Alimentaire	Les principales applications de la farine et de la pulpe de caroube sont l'alimentation animale et humaine ( <b>Biner et al, 2007</b> ). Le fruit du caroubier ou la caroube est employé depuis longtemps, comme nourriture de bétail à côté d'autres aliment comme la farine d'orge ( <b>Aitchitt et al, 2007</b> ). la farine et de la pulpe de caroube elle est très utilisée soit comme aliment diététique, soit comme substitution de cacao dans la production de chocolat car il est moins calorifique, il ne contient ni caféine ni théobromine ( <b>craig et nguyen, 1984</b> ). La gomme reste le produit le plus important utilisée en industrie alimentaire pour la fabrication d'un grand nombre de denrées alimentaires: crème glacée, soupe, sauce, biscuit, tourte, confiserie, produits de boulangerie, fromage, mayonnaise, salades....) ( <b>Johnson et al, 1988</b> ) ; ( <b>Neukom, 1988</b> ).
Médicale	En pharmacopée traditionnelle, la pulpe est utilisée contre la diarrhée et pour le traitement de certaines maladies la gastrite, l'entérite, les angines, les rhumes, le cancer... ( <b>Aitchitt et al, 2007</b> ). mais la graine (endosperme) reste la plus importante, puisqu'elle est utilisée, comme agent stabilisateur, gélifiant, fixateur dans l'industrie pharmaceutique (médicaments, sirop...) ( <b>Battle et Tous, 1997</b> ).
Cosmétique	Dans l'une des applications industrielles, la gomme de caroube est utilisée en cosmétique (crèmes, dentifrices...) ( <b>Battle et Tous, 1997</b> ), pour sa capacité à former une solution très visqueuse.
Chimique	Certains travaux ont déjà montré l'application de la farine de caroube (gousses broyées) pour l'extraction du sucre ( <b>Petit et Pinilla, 1995</b> ), la fermentation de l'éthanol ( <b>Roukas, 1993</b> ) ; ( <b>Roukas, 1996</b> ), et la production d'acide citrique ( <b>Roukas, 1998</b> ) ; ( <b>Roukas T, 1999</b> ).
Ecologie	Le caroubier est une espèce qui résiste mieux à la sécheresse et souvent utilisé pour lutter contre l'érosion des sols, comme brise vent et comme arbre ornemental en bordure des routes et dans les jardins compte tenu de sa couronne sphérique, et de son feuillage persistant dense et brillant. Son bois est très apprécié en ébénisterie et utilisé pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage ( <b>Battle et Tous, 1997</b> ).
Industriel	La graine de caroube est très recherchée par son intérêt économique et industriel. Elle est utilisée en imprimerie, photographie, textile, matière plastique, encre, cirage, matière adhésive ( <b>Johnson et al, 1988</b> ) ; ( <b>Neukom, 1988</b> ).

### **I.10.Effets indésirables des produits de caroube**

La consommation de caroube présente certaines contre-indications. Selon (**Filioglou et Alexis, 1989**), Le germe de graine de caroube contient également des tanins qui pourraient créer des problèmes de palatabilité en raison de leur goût astringent, et pourrait également réduire la digestibilité des aliments. Il a été suggéré que la digestibilité des protéines est réduite par des tannins, soit par liaison directe à certaines parties de la molécule ou par l'inhibition non compétitive des enzymes digestives.

# Chapitre II : Huile végétale

## II.1.Historique

L'huile végétale est utilisée depuis des siècles, bien que les premières matières grasses utilisées par l'homme proviennent de la graisse fondue des animaux. La première utilisation de l'huile n'avait pas de vocations alimentaires, il s'agissait bien souvent de combustible servant à l'éclairage (**Debruynne, 2001**).

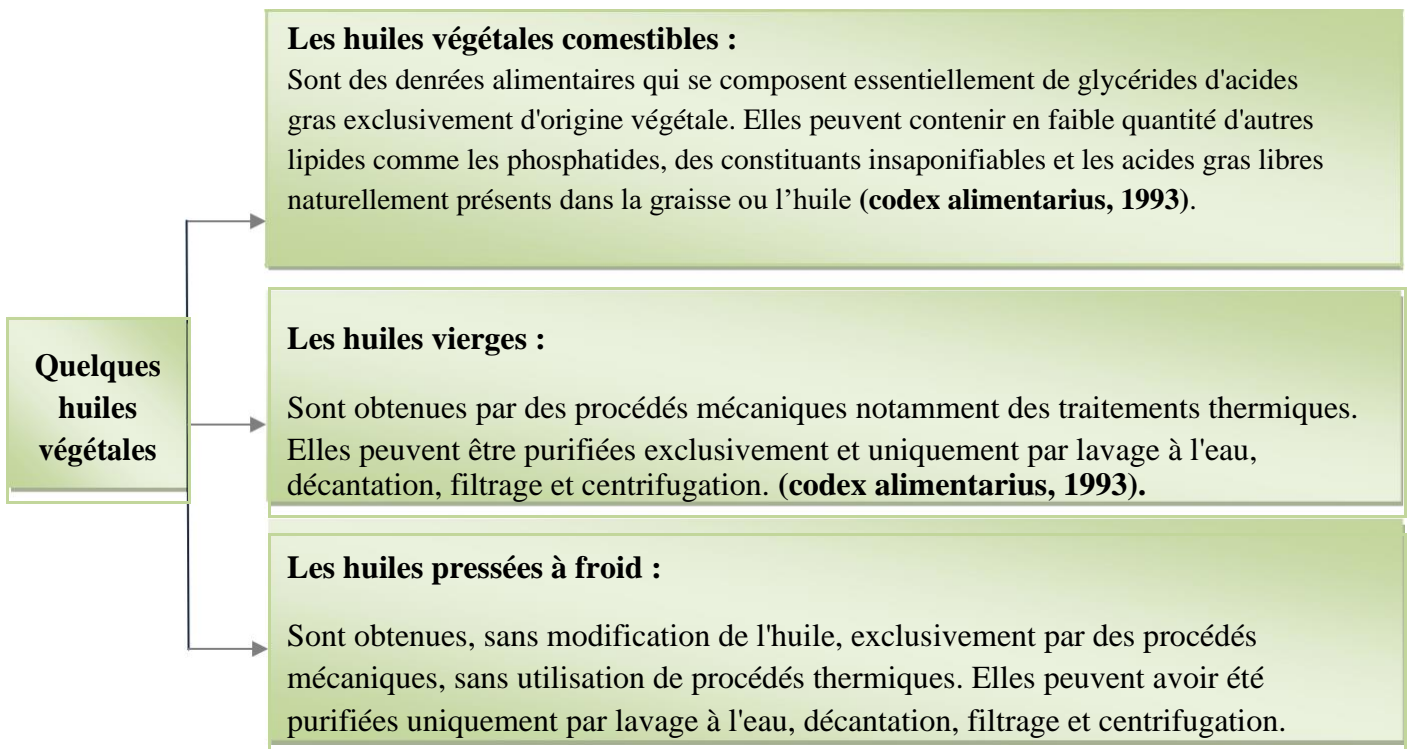
L'huile est une matière grasse, onctueuse et épaisse, souvent liquide à température ambiante. Une huile végétale renferme en général plus de 99 % de lipides, ni glucides, ni protides et très peu ou pas de cholestérol. Quelques vitamines et antioxydants liposolubles complètent le pourcentage restant (1%).

Elles sont indispensables pour les papilles mais également pour la santé car elles apportent les acides gras nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme. Les huiles végétales diffèrent par leur composition, d'où l'importance de bien choisir ses produits, surtout pour un usage quotidien (**Chekroun, 2013**).

## II.2.Définition des huiles végétales

Les huiles végétales sont des substances naturelles issues des graines et des fruits oléagineux. Ce sont des composés organiques non-volatiles, hydrophobes et parfois amphiphiles, insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques non-polaires. Elles font partie de la constitution naturelle de certaines plantes cultivées ou non. Une huile végétale est extraite de la plante et elle est obtenue par première pression à froid. Les plantes riches en huile sont appelées des oléagineux ou plantes oléagineuses (**Rakotoarimanana, 2010**). Les plus connues sont : l'arachide, le colza, le ricin, le soja et le tournesol (**Vaitilingom, 2007**).

-Définition de quelques huiles de consommation humaine



## Chapitre II : Huile végétale

### II.3. Composition chimique d'une huile végétale

La composition chimique des huiles végétales correspond dans la plupart des cas à un mélange de 95 % de triglycérides et 5 % d'acides gras libres, de stérols, cires, et autres composants minoritaires (Figure15).

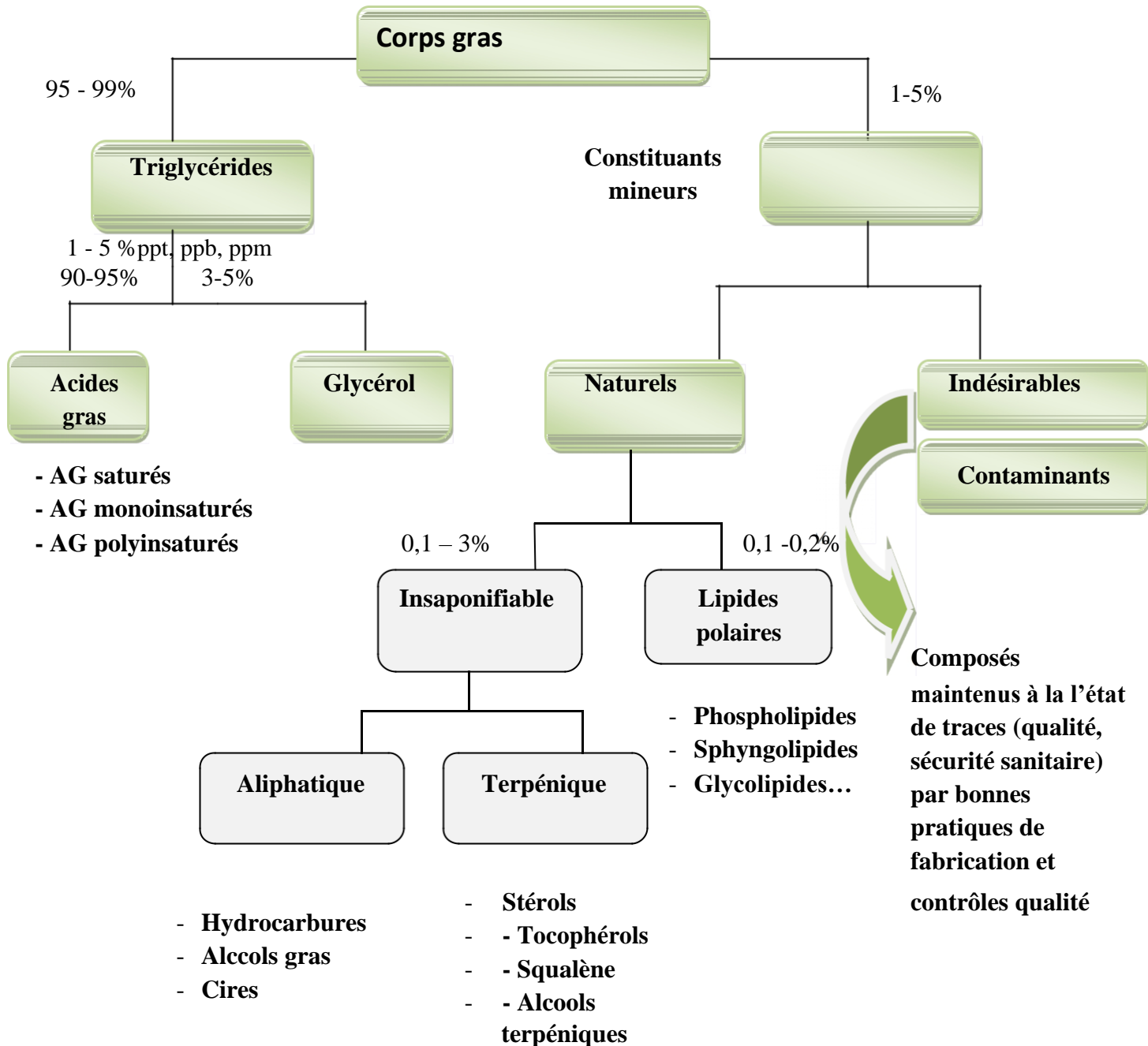


Figure 15 : Schéma récapitulatif sur composition chimiques d'huile végétale (Morin et Pagès, 2012).

## *Chapitre II : Huile végétale*

---

### **II.3.1. Composition chimique du caroubier (*Ceratonia siliqua.L*)**

La gousse de caroube est le fruit du caroubier, qui se compose principalement de la pulpe et les graines qui représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. Selon (**Youcef et Alghazawi, 2000**), la composition chimique de la pulpe dépend, en générale, du cultivar, de l'origine et parfois de la période de récolte.

Selon les travaux de (**Avallone et al, 1997**); (**Bengoechea et al, 2008**), la gousse de caroube est riche en hydrates de carbone et en fibres, elle contient une faible quantité de protéines et des teneurs négligeables en lipides ; quant à la teneur de la caroube en minéraux elle est appréciable.





## Chapitre II : Huile végétale

### II.4. Caractéristiques des huiles végétales

Les huiles végétales comme toutes les huiles extraites, possèdent des caractéristiques physicochimiques :

**II.4.1. Propriétés physiques :** La solubilité et le point de fusion sont les deux principales propriétés physiques des huiles (Tableau V) (Patrick, 2008).

Tableau VI : Caractéristiques physiques de quelques huiles (Chekroun, 2013)

Huile	Point de fusion	Densité	Viscosité (cSt)
Huile de tournesol	-15	0,94	66
Huile de maïs	-18 à -10	0,90	65 à 72
Huile de soja	-15	0,91	57 à 76
Huile de colza	< 2	98	91 à 98

- **La Solubilité :**

En règle générale, les lipides sont insolubles dans l'eau, solubles dans la plupart des solvants organiques (éther, chloroforme, alcool, acétone, sulfures de carbone, tétrachlorure de carbone ... ). Cette insolubilité dans l'eau conditionne l'existence de nombreuses émulsions alimentaires (Aguieb et Belgacem, 2015).

- **Le point de fusion :**

Il permet d'apprécier le degré de pureté d'un corps gras. Il dépend du degré d'insaturation et de la longueur de la chaîne carbonée.

Dans les acides gras insaturés, le point de fusion augmente avec la longueur de la chaîne hydrocarbonée avec un point de fusion inférieur à celui des acides gras saturés (Marakis et al, 1988).

- **La masse volumique :** La masse volumique d'une huile (ou « densité ») désigne le quotient de la masse de l'huile par son volume. Elle s'exprime en g par ml. Sa mesure est intéressante, à titre indicatif sur le plan commercial, pour se représenter en poids un volume d'huile transportée en vrac (Aguieb et Belgacem, 2015).

## Chapitre II : Huile végétale

---

- **L'indice de réfraction :**

L'indice de réfraction est particulièrement utile car il renseigne sur l'état de dégradation d'une huile. En effet, la présence d'acides gras libres abaisse fortement l'indice de réfraction (Aguieb et Belgacem, 2015).

- **La viscosité :** La viscosité des acides gras et des triglycérides est liée à leurs structures (longueur de la chaîne et saturation). Elle augmente avec le poids moléculaire et diminue avec l'augmentation du nombre d'insaturation (doubles liaisons) et de la température (Frenot et Vierling, 2001).

**II.4.2. Propriétés chimiques :** Elles résultent de la structure des acides gras qui ont un groupement carboxyle et éventuellement comporte une ou plusieurs double-liaisons (Kandji, 2001).

- **Propriétés dues à la fonction carboxylique.**

Les acides gras réagissent avec les hydroxydes métalliques pour donner des sels d'acides gras appelés « savons » (saponification). De plus, les sels de cations lourds comme le plomb, le calcium et le magnésium et d'acides gras donnent également des savons insolubles dans l'eau. Aussi, l'addition de ces sels à des savons alcalins provoque la précipitation des acides gras (Kandji, 2001).

- **Propriétés dues à la présence éventuelle d'une double-liaison**

La chaîne hydrocarbonée des acides gras est chimiquement inerte, mais la présence de double-liaisons dans un lipide permet de l'hydrogéner et entraîne souvent son oxydation. Cire  
Hydrogénation et halogénéation:

L'hydrogénation concerne les acides gras insaturés qui peuvent fixer l'hydrogène en donnant des acides gras saturés. Cette réaction est utilisée dans la technologie des corps gras pour relever le point de fusion des produits. Les acides gras insaturés peuvent fixer aussi des halogènes comme le brome et l'iode. Ainsi, pour apprécier le degré d'insaturation des acides gras d'un lipide, on détermine son indice d'iode (Kandji, 2001).

## Chapitre II : Huile végétale

### II.5. Méthodes d'extraction des huiles végétales

L'extraction est une étape nécessaire et présente dans de nombreux procédés de fabrication dans les différents domaines industriels, relevant de la pharmacie, de la cosmétique, de la parfumerie et de l'agroalimentaire (Chemat, 2011). C'est le fait d'isoler les matières naturelles ou composés de la matière première (la plante) avec l'utilisation des solvants organiques, soit par la méthode liquide-liquide ou l'extraction solide-liquide (Penchev, 2010)

#### II.5.1. Extraction par presse mécanique

Presse à barreaux : L'huile passe à travers des barreaux ou des anneaux dont l'espacement peut être réglé suivant le type de graines à presser (Débat et Cirad, 2006)(Figure 16).

Presse à vis : Le corps de la presse est percé pour permettre l'écoulement de l'huile au fur et à mesure du pressage. La vis présente un diamètre croissant pour augmenter la pression en fin de parcours des graines (Débat et Cirad, 2006)(Figure 17).

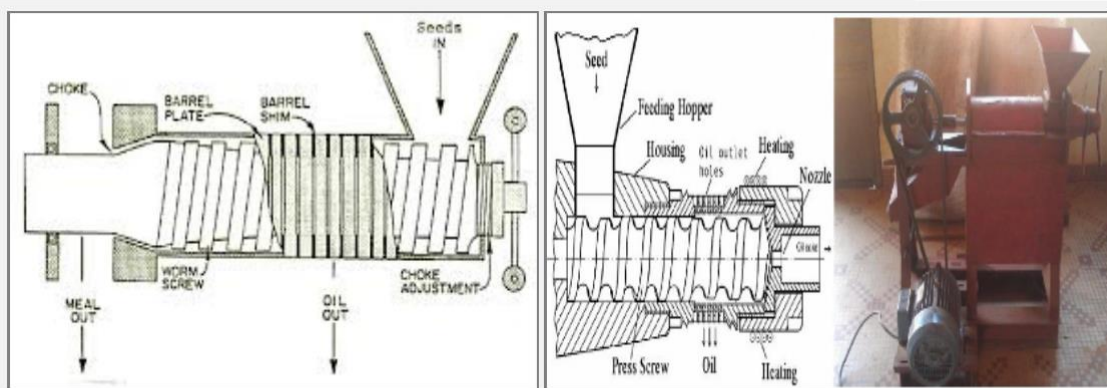


Figure 16 : Vue interne d'une presse à barreaux (Johnson et Lusan, 1983)

Figure 17 : Vue interne d'une presse à vis (Johnson et Lusan, 1983)

#### II.5.2. Extraction par solvant

Les propriétés recherchées pour les solvants sont une forte solubilité de l'huile, une faible solubilité de l'eau, une absence de toxicité pour les applications alimentaires ; Cette méthode présente un bon rendement d'extraction mais elle est coûteuse (Johnson et Lusan, 1983).

### II.6. Les différentes applications des huiles végétales

- Les biocarburants

Pour l'utilisation comme biocarburant, les huiles sont généralement estérifiées par du méthanol en présence d'un catalyseur. Après plusieurs décennies de recherches actives, plusieurs carburants d'origine végétale se sont imposés (Adam, 1941).

## Chapitre II : Huile végétale

---

Ils se répartissent en deux grandes catégories, les composés tirés :

- des huiles végétales : le Diester, utilisable dans les moteurs Diesel
- des alcools : le bioéthanol, utilisable dans les moteurs à essence.

Tous deux ne sont principalement utilisés que comme additifs aux carburants pétroliers à l'heure actuelle (**Aguieb et Belgacem, 2015**).

- **Industrie de la savonnerie**

Elle fait intervenir la réaction de saponification qui produit le savon et un glycérol à partir d'un triglycéride et d'une base forte. La production mondiale de savons est de 8 millions de tonnes en 1995 (**Aguieb et Belgacem, 2015**).

- **Les tensioactifs**

En 1994, la production mondiale s'élevait à 6,2 millions de tonnes (**Aguieb et Belgacem, 2015**). Ils sont constitués d'une partie hydrophile et d'une partie hydrophobe. Pour la partie hydrophile, les tensioactifs sont classés selon le caractère ionique du groupe hydrophile. Les produits tensioactifs majoritaires en France sont les alkylbenzène sulfonates. Pour la partie hydrophobe, les acides gras avec des chaînes carbonées plus ou moins longues sont utilisés selon l'utilisation ciblée du tensioactif (mouillants et détergents, émulsionnants, adoucissants...).

- **Les lubrifiants**

Ils sont formulés à partir d'huiles de bases auxquelles sont ajoutées des additifs pour obtenir la fonction recherchée (**Morin et al, 1995**). Les lubrifiants industriels (huile découpe, huile hydraulique...) se distinguent des lubrifiants pour moteurs et turbines d'avion.

### II.7. Importance des huiles végétales

Les huiles végétales jouent de nombreux rôles dans le monde vivant :

- Source d'énergie : l'homme tire son énergie de l'oxydation des trois éléments nutritifs essentiels : protides, les lipides et les glucides. Ce sont les lipides qui fournissent la plus forte valeur énergétique (9Kcal=37,7KJ /g), par rapport aux protides et aux glucides. Ce sont les acides gras qui confèrent cette forte quantité d'énergie lors de l'oxydation des lipides (**Kandji, 2001**).
- Source de vitamine : presque toutes les huiles alimentaires contiennent de la vitamine E et représentent sa source la plus riche dans de nombreux régimes, par exemple l'huile de palme rouge, renferment des quantités notables des caroténoïdes (vitamine A) (**Kandji, 2001**).
- L'huile végétale est utilisée pour la fabrication industrielle d'un grand nombre de produits divers, y compris les mayonnaises, les crèmes à café, la margarine, les pâtes à tartiner et les sauces à salade (**Berrim et Ben-Amar, 2013**).

## *Chapitre II : Huile végétale*

---

- Protectrice du système nerveux, elle est très riche en graisses polyinsaturées et contient des acides gras qui permettent de lutter contre le cholestérol. Anti cholestérol, anti dermatoses, anti oxydante (**Chekroun, 2013**).

### **II.8. Les facteurs qui influent sur l'huile végétale**

Les principaux facteurs impliqués dans l'oxydation des huiles au cours des procédés de transformation et de conservation des aliments sont : la température, la pression partielle en oxygène, les traces métalliques et la lumière (**Djadoun, 2012**).

- **La température :**

Une élévation de température favorise l'oxydation des huiles. Ainsi, les opérations de cuisson sont bien connues pour avoir un effet pro-oxydant marqué. Au contraire, la congélation est un bon moyen pour augmenter la durée de conservation des aliments car la vitesse d'oxydation des acides gras est notablement réduite à faible température.

- **L'oxygène :**

Son incidence est à la fois sur la durée de conservation du produit ainsi que sur la nature des odeurs perçues quand le produit est oxydé. Plus l'huile est aérée c'est à dire la surface de contact est accrue, plus la réaction d'oxydation est avancée.

- **Les traces métalliques :**

La décomposition des huiles peut être accélérée de manière significative par la présence des métaux tels que le cuivre, le fer et le cobalt.

- **La lumière :**

L'énergie lumineuse accélère le processus d'oxydation des lipides. Elle favorise la formation des radicaux libres. Les radiations visibles et ultraviolettes sont les plus actives, elles ont une action catalytique très intense sur la détermination des acides gras polyinsaturés.

## Chapitre III : Matériels et méthodes

### Présentation de l'étude

Notre travail consiste en une étude rétrospective sur l'espèce (*Ceratonia siliqua L.*) basé sur l'analyse de 5 travaux scientifiques antérieurs de (Makris et Kefalas, 2004) (Ayaz et al, 2007) (Fadel et al, 2011) et (Hajaji et al, 2013), (Naghmouchi et al, 2009) qui traitent la variabilité morphologique, et biochimique de l'espèce (*Ceratonia siliqua L.*).

Notre objectif porte sur la détermination des critères morphologiques, anatomique ainsi que la composition chimique de l'espèce (*Ceratonia siliqua L.*).

### III-1 Nature des données

La recherche en ligne nécessite des moteurs de recherche scientifique et des mots clés. Le tableau suivant présente la nature de notre documentation scientifique :

**Tableau VI** : Présentation de la nature des données de l'étude

	Nature des données
Les moteurs de recherche	Google scholar
Les mots clés	- ( <i>Ceratonia siliqua.L</i> ), Composés phénoliques, Graines, HPLC, Pulpes, feuilles, écorces, téguments, composition minérale, Diversité morphologique.
La langue	Anglais, Français
L'année de publication	2004 – 2013
Pays	Maroc, Turquie, Grèce. Tunisie
Nombre d'articles	5

### III-2 Matériels

**III.2.1. Préparation du matériel biologique végétal** : La figure ci-dessous représente le matériel utilisé par chaque équipe de chercheurs dans les 5 articles étudiés elle comporte :

- Le Matériel biologique végétal
- Les Sites et périodes de récolte
- Les méthodes utilisées pour le séchage et stockage

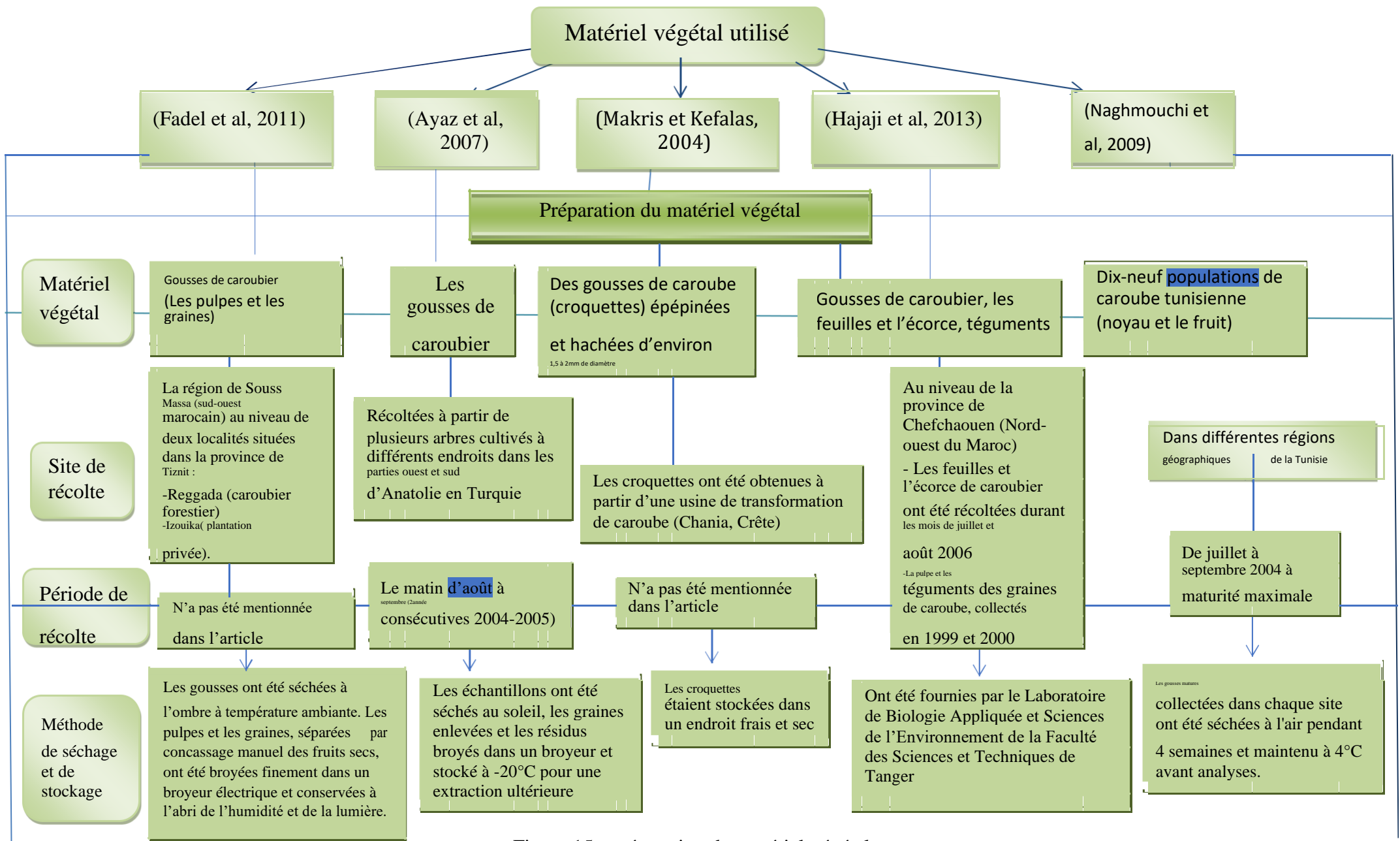


Figure 15 : préparation du matériel végétal

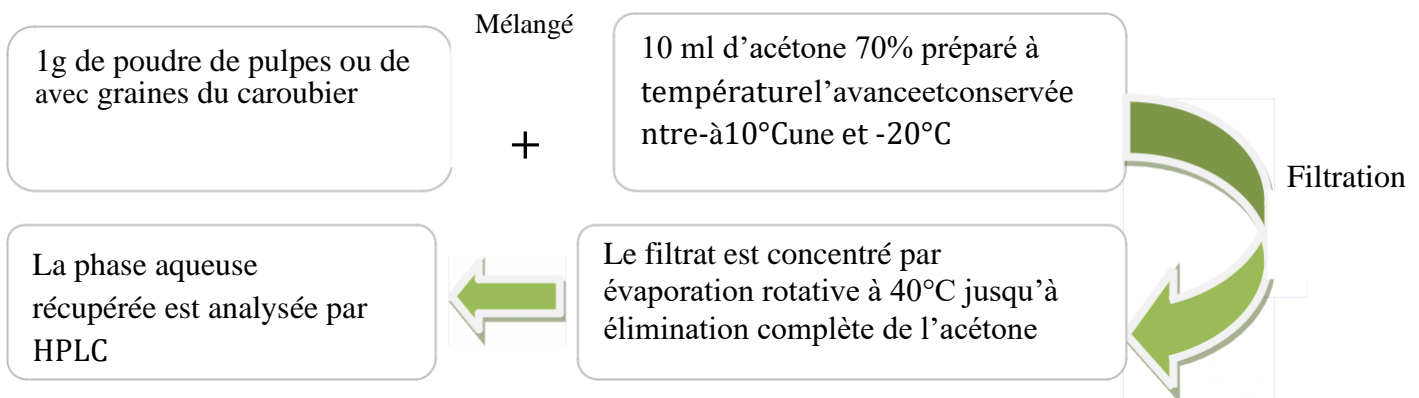
## Chapitre III : Matériels et méthodes

### III.3. Méthodes

#### III.3.1. Méthodes d'extractions et d'analyses utilisées :

#### Etude phytochimique de espèce (*Ceratonia siliqua. L*)

- Selon (Fadel et al, 2011), les composés phénoliques de (*Ceratonia Siliqua L.*) ont été extraits suivant les étapes citées ci-dessous :



(Fadel et al, 2011), analyse des composés phénoliques a été effectuée par HPLC à barrettes de diodes, en utilisant une colonne de phase inverse Discovery RP-C18. Pour l'identification et la quantification des composés phénoliques des extraits de caroube.

Mode d'opérateur (Fadel et al, 2011):

- Les composés phénoliques ont été séparés selon le gradient de solvants A (Eau/Acide formique) et B (Méthanol) et détectés à 280 nm avec un détecteur UV. Ensuite les chromatogrammes ont été interprétés par le logiciel Gold Analysis v1.5.
- La teneur des composés phénoliques identifiés a été calculée en corrélant les pics mesurés avec les courbes d'étalonnage obtenues par des composés de référence à savoir :

« L'acide gallique, l'acide procatéchique, le 4-hydroxy-benzoïque, le 4-hydroxy-acétique, l'acide vanillique, l'acide syringique, l'acide p-coumarique, l'acide m-coumarique, l'acide o-coumarique, l'acide férulique, l'acide benzoïque, l'oleuropéine et l'hydroxytyrosol. »

- Les résultats de l'analyse par HPLC sont traités par EXCEL et le test t.



Cette analyse vise à comparer la composition phénolique de la caroube du domaine forestier et celle issue du domaine privé.

- Les gousses de caroube utilisées pour l'extraction avaient la même maturité physiologique (brun foncé), de forme et de taille uniformes (Ayaz et al, 2007).



## *Chapitre III : Matériels et méthodes*

---

**Détermination des composés phénoliques totaux, des flavonoïdes et des tanins : (Ayaz et al, 2007),** ont été déterminés les composés phénoliques à l'aide du réactif Folin-Ciocalteu et du DMACA (4-[diméthylamino] cinnamaldéhyde) avec courbes d'étalonnage pour l'acide gallique et la (+) catéchine, respectivement et les proanthocyanidines et les gallotanins ont été déterminés en utilisant des dosages de vanilline-HCl et de rhodanine, respectivement.

- L'acide gallique a été utilisé pour calibrer la quantification des composés phénoliques totaux.
- gallotanins, et catéchine ont été utilisés comme étalon d'étalonnage pour quantifier les flavonoïdes totaux et proanthocyanidines.

Les données ont été exprimées en mg d'acide gallique équivalents (AGE) ou mg de catéchine équivalents (CE) / g de poids sec.

### **Extraction des acides phénoliques de la gousse de caroube selon (Ayaz & al, 2007).**

Ces composés sont été extraits selon un protocole comportant les étapes suivantes :

- Des échantillons de fruits de 160 g en trois exemplaires ont été traités au N<sub>2</sub> liquide puis broyés dans 80% de méthanol contenant un antioxydant 2,6-ditercbutyl-b-crésol dans un mélangeur électrique à grande vitesse.
- L'homogénat a été bouilli au reflux pendant 20 min, filtré et concentré sous vide dans un évaporateur rotatif
- Le concentré a été acidifié avec 1 mol / L de HCl jusqu'à pH = 2 puis extraite 4 fois avec 100 ml d'éther diéthylique.
- La phase organique a été évaporée à siccité sous vide à 40 ° C et le résidu a été dissous dans le méthanol, filtré (Whatman n°1) puis utilisé pour l'analyse des acides phénoliques
- Après extraction, la phase aqueuse a été divisée en deux parties. La première moitié a été hydrolysée avec 2 mol / L de NaOH, pendant 4h30 sous atmosphère d'azote à température ambiante, puis acidifié avec 6 mol / L HCl jusqu'à pH = 2, une mole par litre de HCl a été ajoutée à la seconde moitié, et le concentré (pH = 2) a été placé sous une atmosphère d'azote et hydrolysé pendant 1 h à 100 °C.

**(Makris & Kefalas, 2004)• La méthode d'extraction des polyphénols suivie par ces auteurs est illustrée par la figure 20**

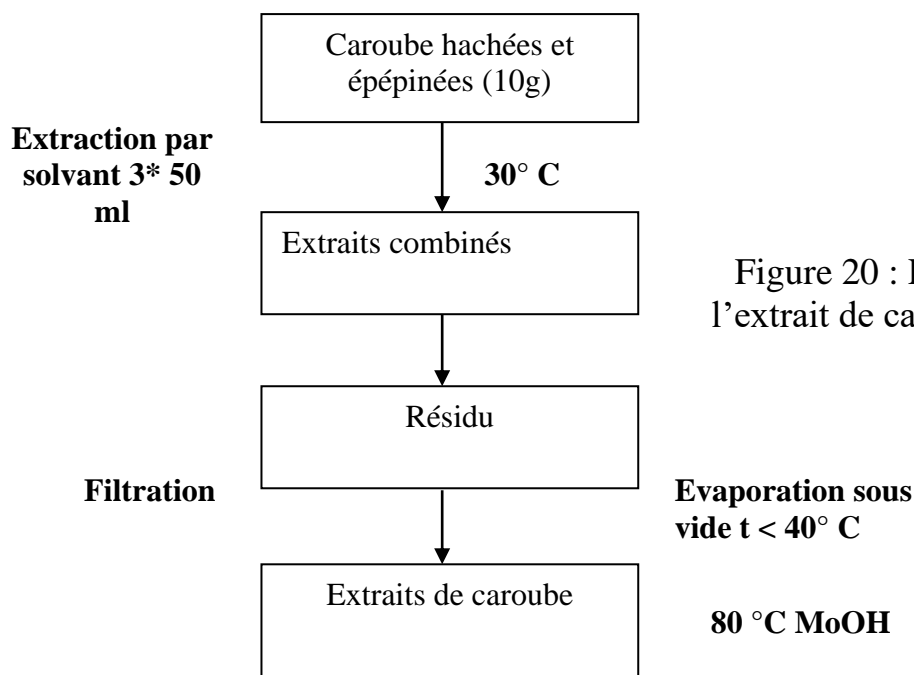


Figure 20 : Etapes de préparation de l'extrait de caroube (Makris & Kefalas, 2004)

(Makris & Kefalas, 2004), ont déterminés les polyphenols totaux et les flavonoïdes totaux en utilisant la méthode Folin-Ciocalteu et DMACA et les produits chimiques suivants :

acide gallique, acide tannique, acide caféique, acide ascorbique, Acide citrique, et Catéchine, quercétine, 2,2-diphényl-picrylhydrazyl (DPPH), EDTA (sel disodique), 2,4,6-tripirydyl-s-triazine (TPTZ). et Trolox <sup>TM</sup>.

La capacité antioxydante des extraits de gousses de caroube était évaluée à l'aide de deux tests différents, dont la mesure de l'activité antiradicalaire (AAR) et du pouvoir réducteur (PR) « Pour les tests AAR et PR, les extraits dilués en conséquence avec MeOH et de l'eau distillée respectivement »

### Détermination des protéines :

(Ayaz & al, 2007), ont déterminé la teneur des protéines par analyse élémentaire à l'aide d'un analyseur LECO CHNS-932, laquelle est calculée en % d'azote\* 6,25.

Acide aminés :

- Des échantillons contenant 2 mg de protéines ont été hydrolysés en utilisant 6 mol / L de HCL à 110°C pendant 20h sous une atmosphère d'azote inerte et dérivé avec diéthyléthoxyméthylène malonate.
- Les acides aminés ont été analysés par phase inversée en chromatographie liquide à haute performance (HPLC) utilisant le d, l-aminobutyricacide comme étalon interne.
- Le tryptophane a été analysé par HPLC après hydrolyse basique.

**Extraction de sucre et d'acide organique :** selon la figure suivante

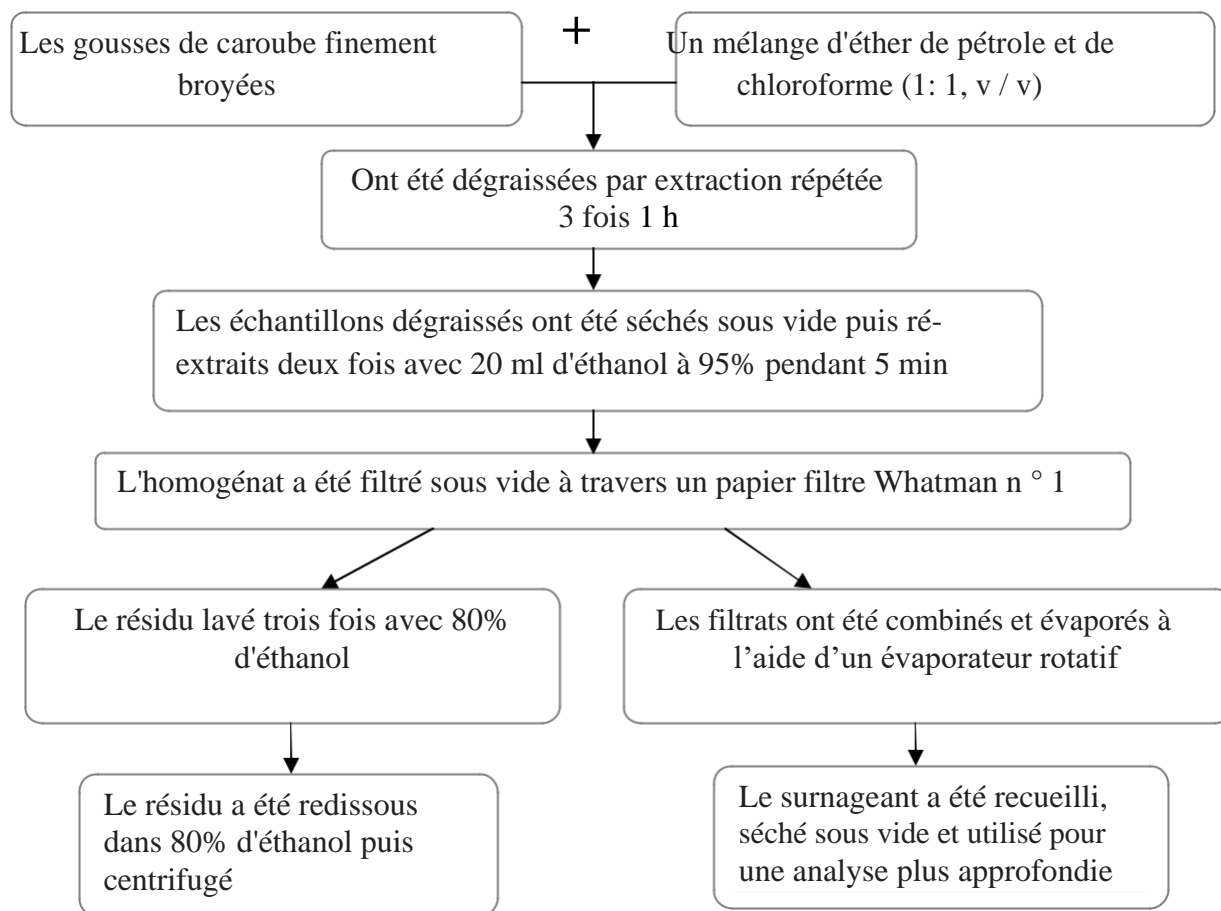


Figure 19: Etapes de l'extraction de sucre et d'acide organique (Ayaz & al, 2007)

Dans leur travail de recherche (Ayaz & al, 2007), ont effectués, trois analyses ; la première concerne les sucres et acides organiques, la seconde celle des acides phénoliques et la dernière une analyse minérale.

1- Les sucres et les acides organiques ont été analysés par un chromatographe liquide équipé d'un détecteur à barrette de photodiodes (PDA) et un réfractomètre différentiel Waters 410 connecté en série.

2- Les acides phénoliques ont été analysés par chromatographie liquide haute performance couplé à la spectrométrie de masse (HPLC-MS)





## Chapitre III : Matériels et méthodes

### Analyse minérale :

- (Ayaz & al, 2007), Les fruits ont été lavés à l'eau du robinet, puis à l'eau distillée contenant un détergent non ionique, ensuite rincés trois fois à l'eau distillée, puis séchés au four à 60 °C pendant 48 h.

Les gousses ont été broyées, chauffées à 450 °C et digérées dans 10 mL de HCl 1 mol / L.

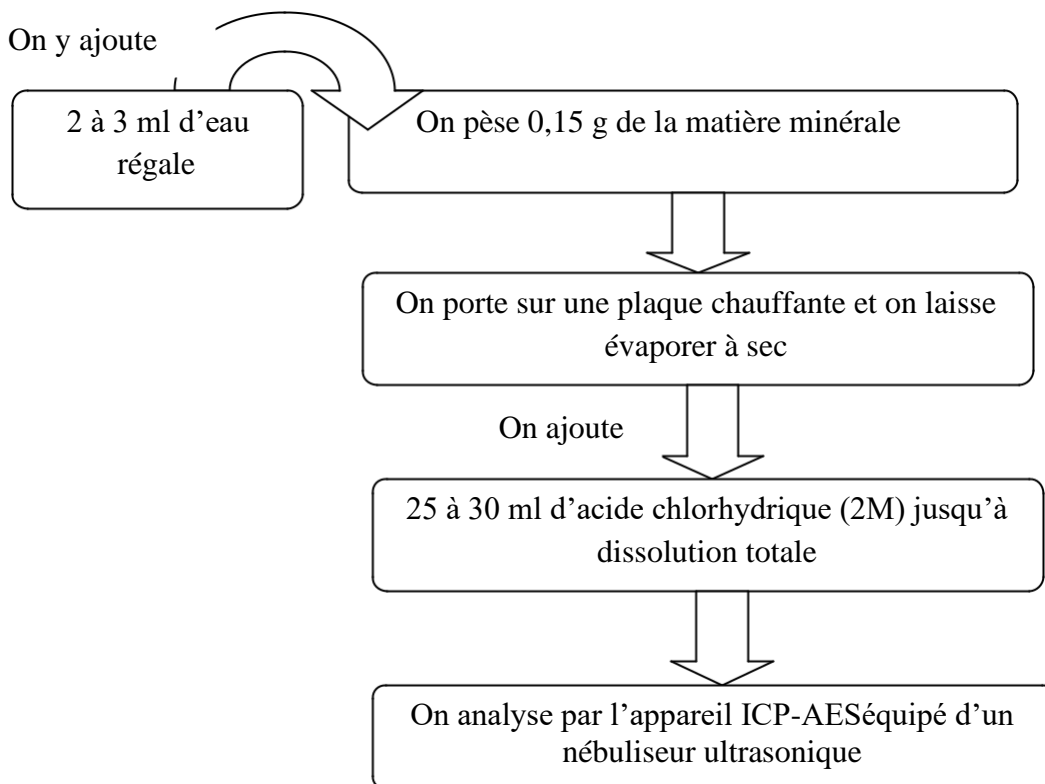
Parmi- les principaux minéraux :

K a été mesuré par photométrie à flamme et P colorimétriquement par la méthode au molybdo-vanadate.

Ca, Mg et oligo-éléments (Fe, Mn et Zn) étaient mesurés par spectrométrie d'absorption atomique (Les concentrations sont exprimées sur la base de la matière sèche).

- Les éléments minéraux étudiés ont été dosés dans le résidu de produit calciné à 500 C° pendant 5 h, avec une prise d'essai : 25 g pour les feuilles et les écorces et 30 g pour les téguments et les pulpes (Hajaji et al, 2013).

Le dosage des oligo-éléments étudiés (Ca, K, Mg, Na, P, Cl, Cu, Fe, Zn et Se) a été réalisé par la méthode de l'eau régale (a pour principe la mise en solution de l'échantillon dans un mélange d'acide chlorhydrique et nitrique) et analyse par la Spectrométrie d'Emission Atomique de Plasma d'argon à Couplage Inductif (ICP-AES) selon le mode opératoire suivant (Hajaji et al, 2013) :



## Chapitre III : Matériels et méthodes

### Etude morphologique sur (*Ceratonia siliqua L.*)

#### F- Méthodes expérimentales d'analyse morphologique :

- D'après (Naghmouchi *et al*, 2009), chaque fruit de caroube à maturité maximale était manuellement décortiqué et analysé individuellement (10 à 20 arbres / population et 25 gousses / arbre ont été échantillonnés et sélectionnés au hasard).
  - Pour les gousses de chaque population nous avons estimé le poids (g), la longueur (mm), la largeur (mm), l'épaisseur latérale et centrale (mm) et le nombre de noyaux avortés.
  - Pour 10 noyaux viables sélectionnés au hasard dans chaque arbre, le poids (g), longueur (mm), largeur (mm) et épaisseur (mm) étaient mesurés.
- La longueur des gousses a été mesurée à l'aide d'un ruban gradué,
- La largeur et l'épaisseur des gousses et des grains à l'aide d'un pied à coulisse Vernier.
- Le Poids a été mesuré à l'aide d'une balance à chargement par le haut.

#### 1- Analyses statistiques :

Pour comparer l'hétérogénéité des mesures paramètres morphologiques parmi les populations, une analyse de la variance avec un effet (effet de population) a été réalisée pour chaque échantillon en utilisant le programme SAS, procédure ANOVA. Moyennes entre les paramètres ont été comparés à l'aide de test de Duncan ( $P = 0,05$  et  $P = 0,001$ ).

Afin de trouver les principales tendances de variation entre les fruits et les caractères du noyau dans les populations de caroube et d'évaluer leur corrélation, les données ont été traitées selon la composante analyse principale (PCA) à l'aide du programme MVSP 3.1 (Naghmouchi *et al*, 2009).

## Chapitre IV : Résultats et discussion

### IV .1 .Résultats et discussion sur la variabilité morphologique et biochimique de l'espèce (*Ceratonia siliqua* L.) :

Le tableau VII représente les teneurs de différents composés biochimiques et physiologiques, ainsi que quelques paramètres biométriques, obtenus par les chercheurs de chaque équipe scientifique :

Tableau VII : Les teneurs de chaque article avec ces chercheurs

Les chercheurs	Les paramètres analysés
(Fadel <i>et al</i> , 2011)	*les composés phénoliques des graines et des pulpes du caroubier ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.)
(Ayaz <i>et al</i> , 2007)	*Les teneurs en protéines, en sucres, en acides phénoliques et en nutriments minéraux du caroubier.
(Makris et kefalas, 2004)	*La teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes du caroubier.
(El hadjaji <i>et al</i> , 2013)	*La teneur en eau du caroubier
(Naghmouchi <i>et al</i> , 2009)	* La variabilité morphologique des gousses et de noyau ( <i>Ceratonia siliqua</i> L.)

Les résultats de la variabilité biochimique et morphologique, obtenus par (Fadel *et al*, 2011) ;(Ayaz *et al*, 2007) ;(Makris et Kefalas, 2004);(El hadjaji *et al*, 2013);(Naghmouchi *et al*, 2009) sont mentionnés dans les tableaux(VIII,X ,XI ,XII ,XIII, XIII, XV ,XVI) (Annexe I, II, III, VI)

#### IV.1.1. Résultats des composés phénoliques des graines et des pulpes du caroubier :

(Fadel *et al*, 2011), dans leur étude ont montré que les arbres du caroubier présentent la même teneur et le même profil en acides phénoliques aussi bien dans le domaine forestier que la plantation privée. L'acide coumarique représente  $20,52 \pm 8,76\%$  des composés phénoliques détectés dans l'extrait des pulpes du caroubier d'Izouika (figure 21 ;annexe I) (plantation privée) et  $17,05 \pm 10,20\%$  dans l'extrait des pulpes de Reggada (figure 22 ;annexe I) (domaine forestier) (Tableau VIII, annexe I). Dans la localité d'Izouika, les acides *p*-coumarique et *m*-coumarique représentent respectivement  $10,78 \pm 6,27\%$  et  $9,73 \pm 5,56\%$  alors que dans la localité de Reggada, l'acide *p*-coumarique représente  $13,27 \pm 4,15\%$  et l'acide *m*-coumarique  $3,78 \pm 2,10\%$ . L'acide gallique, acide phénolique majoritaire également, représente  $17,8 \pm 9,06\%$  des composés phénoliques détectés dans les pulpes du caroubier d'Izouika et  $12,57 \pm 5,67\%$  dans celles du caroubier de Reggada.

Dans les extraits des graines du caroubier, l'acide coumarique est également l'acide phénolique majoritaire avec un pourcentage de  $8,07 \pm 5,79\%$  à Izouika (figure 23 ; annexe I) ( $6,47 \pm 3,23\%$  d'acide *p*-coumarique et  $1,6 \pm 1,37\%$  d'acide *m*-coumarique) et  $8,18 \pm 7,26\%$  à Reggada (figure 24 ;annexe I), dont  $6,55 \pm 3,86\%$  d'acide *p*-coumarique et  $1,62 \pm 1,31\%$  d'acide *m*-coumarique .



## Chapitre IV : Résultats et discussion

---

L'acide gallique représente  $5,01 \pm 3,42$  % dans l'extrait des graines d'Izouika et  $3,95 \pm 2,09$  % dans l'extrait des graines de Reggada.

La différence n'est pas significative entre la plantation privée et le domaine forestier pour l'ensemble des composés phénoliques identifiés aussi bien pour l'extrait de la graine que pour l'extrait de la pulpe du fruit de caroubier (**Fadel et al, 2011**) ; par contre les différences observées pour les résultats des différentes études peuvent s'expliquer par la provenance géographique, le cultivar, la variété et surtout le degré de maturité selon l'étude de (**Elaoufi, 2014**).

Ces résultats diffèrent de ceux trouvés par (**Sreenivasulu et al, 2000**); (**Nacz et Shahidi, 2004**) qui ont cité que la synthèse et l'accumulation des composés phénoliques dans les plantes est généralement stimulée en réponse à différents stress.

En effet, la pulpe et la graine du caroubier sont riches en acides phénoliques qui font partie des composés phénoliques en général, groupe de substances phytochimiques le plus important dans la nature (**Beta et al, 2005**) et ayant des activités anti-oxydantes, de chélation et anti-inflammatoire (**Mohammadi, 2006**).

Trois acides phénoliques (acide gallique, syringique et sinapique) ont été identifiés par HPLC-MS dans les extraits de gousse de caroube, dans l'étude de (**Ayaz et al, 2007**). L'acide gallique était l'acide phénolique le plus abondant dans la gousse de caroube et dominant dans toutes les fractions isolées.

Dans la présente étude, l'acétone a été utilisé comme solvant plutôt que le méthanol ou l'éthanol pour extraire les polyphénols, car il a l'avantage de précipiter les protéines et d'extraire faiblement les sucres (**Boizot et Charpentier, 2006**). Contrairement, dans une autre étude portant sur l'extraction de polyphénols par méthanol acidifié, une concentration de 42 g/100g (équivalent catéchine) a été obtenue (**Shahkhalili et al, 1990**).

De même, (**Avallone et al, 1997**), rapportent que l'acétone pure est inefficace pour l'extraction des polyphénols (0,2 g/100g) tandis que l'acétone à 70% (1,92 g/100g) s'avère meilleur que le méthanol 70% (1,25g/100g).

Ainsi, les différents résultats obtenus, permettent de déduire que la variation en polyphénols et composés tanniques au sein et entre les gousses de caroube, ainsi que la teneur en acide phénolique peut-être probablement due à la zone géographique, la variété de caroube utilisée, la culture, et les conditions ou degré de maturation des fruits et grains.

L'étude menée par (**Makris et Kefalas, 2004**) sur les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes.

L'évaluation des systèmes de solvants utilisés a été basée sur deux indices représentatifs, le polyphénol total et la teneur totale en flavonoïdes.

## ***Chapitre IV : Résultats et discussion***

---

Détermination des polyphénols totaux a été accompli en utilisant le bien établi et la méthode Folin-Ciocalteu largement utilisée, tandis que dans le cas des flavonoïdes, la détermination a été effectuée à la suite d'une dérivatisation avec du DMACA, qui fournit la sensibilité et la spécificité plus élevées par rapport à la vanilline essai.

Les résultats consignés dans le (tableau XIV, annexe III) indiquent que l'acétate d'éthyle, le solvant le plus apolaire utilisé ( $0.19\pm 0.04$ ), était très impropre à l'extraction de polyphénols.

Les extraits obtenus avec le solvant le plus efficace (acétone aqueux) ont été envisagés pour tester la caractéristique anti oxydante. L'étude du potentiel antioxydant des extraits de gousses de caroube reposait sur deux paramètres différents : activité anti radicalaire et le pouvoir ferrique réducteur (Figures 25 et 26, annexe III) (**Makris et Kefalas, 2004**) . La forte activité anti-radicalaire de certains extraits de caroube (EEC) pourrait être liée à leur teneur en polyphénols qui est également plus élevée par rapport à celle des autres extraits.

Ces mêmes résultats ont été constatés pour les flavonoïdes, selon l'étude de (**Elaoufi, 2014**).

### **IV.1.2. Résultats des teneurs en protéines et en sucres du caroubier :**

#### **Teneur en protéine :**

La teneur en protéines des gousses de caroube récoltées dans le sud et l'ouest de l'Anatolie et dosées par analyse élémentaire, est égale à 4,45 0,40 g protéines / 100 g de poids sec, proche de la valeur de (4,5 g / 100 g de poids secs)rapportée par (**Morton, 1987**).

Une variation de la teneur en protéines comprise entre 1 et 5% du poids sec (moyenne de 3 à 2%) a été également donnée par (**Avallone et al, 1997**).

De même, les acides aminés du fruit ont été identifiés et quantifiés dans HCl (6-mol / L). Dix-huit acides aminés ont été détectés dans les gousses échantillonnées en Anatolie (Tableau X , annexe II). Acide aspartique (acide aspartique + asparagine), alanine, l'acide glutamique (acide glutamique + glutamine), la leucine et la valine comprennent ensemble 57% de la teneur totale en acides aminés des gousses.

De nombreuses études (**Ayaz et al, 2007**) ont démontré que chaque fruit a sa propre caractéristique modèle d'acide aminé, qui peut varier selon le type de fruit et leurs produits transformés en fonction de la variété de l'espèce, de l'origine géographique, du stade de maturation et de pratique culturelle.

En revanche, aucun niveau détectable d'asparagine et de glutamine n'a été trouvé dans la gousse de caroube anatolienne (**Ayaz et al, 2007**) par contre la caroube étant riche en acide glutamique et en arginine peut constituer un excellent ingrédient dans la nourriture des sportifs, car ces deux acides aminés augmentent la masse musculaire, la synthèse de collagène ainsi que la production de glycogène selon l'étude de (**Flynn et al, 2002**).



## Chapitre IV : Résultats et discussion

---

Les recherches de (Ali et al, 2002) indiquaient que l'acide aspartique était l'acide aminé le plus abondant (4,13 mg/g poids sec) suivi par l'alanine (2,76 mg/g poids sec).

En contrepartie, la quantité de la paire cystéine-méthionine était notablement faible, et la lysine (0,26 mg/g poids sec) l'acide aminé le moins abondant.

### Teneur en sucre :

Selon l'étude de (Ayaz et al, 2007) les extraits éthanœiques des gousses de caroube obtenues à partir de (*Ceratonia siliqua L.*) prélevées en Anatolie, contiennent trois sucres majeurs (saccharose, glucose, fructose).

Les extraits éthanœiques des gousses de caroube, contenaient trois principaux sucres : le saccharose (437,3 mg / g poids sec), glucose (395,3 mg / g poids sec) et fructose (42,3 mg / g poids sec). Ensemble, ces trois sucres représentaient 87,54% du total des poids des extraits, le saccharose étant prédominant. L'acide malique (2,4 mg / g de poids sec) a été détecté dans les gousses mais l'acide citrique et les acides ascorbiques n'étaient pas présents en quantités détectables (Tableau XI, annexe II).

Les études effectuées par (Biner et al, 2007) ont montré que les sucres sont représentés majoritairement par le sucrose avec 384 mg/g de matière sèche, le glucose avec 33 mg/g de matière sèche et le fructose avec 115 mg/g de matière sèche.

Dans une autre étude sur la composition des graines en sucres , menée par (Dakia et al, 2008), a mis en évidence la présence du mannose avec 64,9%, le galactose 17,9%, le glucose 2,5%, l'arabinose 1,2%, le xylose 0,7%, le rhamnose 0,1% et 82,8% de galactomannanes.

Ainsi, il semblerait que la composition et les teneurs en sucres des fruits peuvent varier considérablement selon les espèces, variété, maturité physiologique, saison de récolte, climat et conditions de stockage.

### IV.1.3. Teneur en nutriments minéraux :

(Ayaz et al, 2007) ont également déterminé les niveaux de quatre principaux minéraux (Ca ,P ,K et Mg) et quatre autres traces de minéraux dans les échantillons de gousses de caroube d'Anatolie. Les résultats sont rassemblés dans le (tableau XIII ; annexe II).

Parmi les minéraux majeurs mesurés dans la caroube, K prédomine (970±0 mg/100g), mais des niveaux élevés de Ca (300±0 mg/100g) ont également été trouvés. Les niveaux de P (71±0 mg/100g) et de Mg étaient considérablement plus faibles, mais dans la fourchette générale des concentrations trouvées pour ces minéraux dans d'autres espèces de fruits.

Les gousses de caroube contiennent également des acides aminés importants sur le plan nutritionnel (aspartique et acides glutamiques, alanine, valine, etc.) et minéraux (K et Ca) qui jouent un rôle important dans la santé humaine.

## ***Chapitre IV : Résultats et discussion***

---

### **IV.2.4. La teneur en eau :**

(El hadjaji et al, 2013) au terme de leur étude, portant sur l'analyse nutritionnelle des constituants de différentes parties (feuilles, écorces, téguments et pulpes) de trois variétés du caroubier (femelle spontanée, mâle spontanée et femelle greffée) ont montré que cette plante constitue une ressource importante de minéraux (Tableau XV; annexe IV), surtout le calcium dans les feuilles (femelle spontanée 191949.256 mg/kg de matière sèche) (figure 27 ;annexe IV), le fer dans l'écorce (femelle greffée 9180.598 mg/kg de matière sèche) (figure 30 ;annexe IV) et le potassium dans les téguments (femelle spontanée 2429.514 mg/kg de matière sèche) (figure 31 ;annexe IV).

Le dépouillement des résultats obtenus leur a permis d'identifier la présence de liens entre la composition minérale (variables quantitatives) et différentes variables qualitatives qu'ils ont fixés en particulier : l'organe analysé, l'année de collecte et le génotype. En comparant leurs résultats à des travaux effectués sur la caroube de la Turquie par (Ozcan et al, 2007), (El hadjaji et al, 2013) ont remarqué que cette dernière contenait beaucoup moins d'eau (6,26%) que celle utilisée dans leur étude.

### **IV.2.5. Résultats de la variabilité morphologique des gousses et de noyaux :**

D'après l'étude de (Naghmouchi et al, 2009) sur les caractéristiques morphologiques des gousses et grains du caroubier, les valeurs moyennes pour tous les principaux fruits et grains étaient statistiquement différentes au niveau de 1% sauf en rendement.

La moyenne la plus élevée des gousses a été observée pour la population de Hammamet avec 28,88 g. par contre, les populations de Sayada, Zbid, Ghar El melh, Slouguia et Jradou n'ont pas présentés des différences significatives.

Les caractères morphologiques et physiologiques sont importants et ont été traditionnellement utilisés pour l'identification des variétés de caroube (Battle et Tous, 1990), cependant, l'identification basée sur les traits morphologiques et physiologiques, nécessite un grand nombre de données phénotypiques souvent difficiles à évaluer et fréquemment sujettes à de grandes variations induites par l'environnement,

Les présentes données ont été obtenues à partir de caroubiers tunisiens sauvages et cultivés, elles montrent des variations des gousses de caroubes tunisiennes, avec des différences significatives ( $P < 0,05$  à  $P < 0,001$ ) en raison de la situation géographique. Les valeurs obtenues ont été comparées à celles d'autres pays du bassin méditerranéen. Les cultivars d'Espagne (Battle et Tous, 1990) et de Jordanie (Shawakfeh et Ereifj, 2005) ont présenté une forte similitude des caractéristiques morphologiques du fruit avec les Caroubes tunisiennes.



## Conclusion

---

Dans le cadre de l'étude de la variabilité de la composition chimique et la biodiversité morphologique des espèces végétales, nous nous sommes intéressées à l'étude du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) originaire des pays méditerranéens, et actuellement répandu dans de nombreux pays subtropicaux.

Dans la présente étude rétrospective, nous avons entrepris la caractérisation de (*Ceratonia siliqua L.*) de 4 pays notamment le Maroc, Tunisie, la Turquie et la Grèce, à travers la synthèse de quatre travaux scientifiques antérieurs de (**Fadel et al, 2011**), (**Ayaz et al, 2007**), (**Makris et Kefalas, 2004**), (**Hajaji et al, 2013**), (**Naghmouchi et al, 2009**), qui se sont intéressés à la diversité morphologique et la composition chimique de caroube.

Les extraits de la pulpe de (*Ceratonia Siliqua L.*) montrent une richesse qualitative et quantitative, en composés phénoliques par rapport à ceux de la graine, Le profil phénolique de la pulpe est dominé par l'acide coumarique (17,05% à 20,52%) et l'acide gallique (12,57% à 17,8%) Dans les extraits des graines, l'acide coumarique et l'acide gallique sont également les acides phénoliques majoritaires, l'acide coumarique représente 8,18% à 8,07% à alors que l'acide gallique représente 3,95 à % 5,01% (**Fadel et al, 2011**).

Sur le plan phytochimique, les recherches scientifiques sur l'espèce de (*Ceratonia siliqua L.*) ont démontré que cette plante est riche en antioxydants (**Makris et Kefalas, 2004**).

Le saccharose (437,3 mg/g), glucose (395,8 mg/g) et le fructose (42,3 mg/g) étaient les principaux sucres identifiés et quantifié dans le fruit de caroube. L'acide gallique (3,27 mg/g) était le phénol le plus abondant, et l'acide aspartique (18,25 mg/g) était le principal acide aminé dans la fraction protéique de la gousse (**Ayaz et al, 2007**). Parmi les principaux minéraux (potassium, calcium, magnésium, cuivre, zinc, sélénium, fer, sodium, chlorures et phosphore) de caroube, k et Ca étaient les éléments les plus abondants qui singularisent tous les organes étudiés (feuille, écorce, tégument et la pulpe) (**Hajaji et al, 2013**).

Enfin, l'évaluation de variation génétique de (*Ceratonia siliqua L.*) basée sur les mesures des gousses et des noyaux. La moyenne des principales valeurs morphologiques descriptives des gousses étaient « poids (16,39g), longueur (168,9mm), largeur (20,5mm), épaisseur (5,8mm), nombre de grains viables(12,26), nombre de grains avortés(1,38), poids des grains (0,2g), longueur du grain (9,1mm), largeur du grain (6,9mm), épaisseur du grain (4,1mm) et rendement du grain (17,2%) (**Naghmouchi et al, 2009**).

## Références bibliographiques

---

- A.N.R.H. (2004).** L'atlas pratique de l'Algérie. Populaire de l'armée (EPA).
- Aafi. (1996).** Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). Rabat, Maroc: Centre nationale de la recherche forestière. S. d. Coloniales (Éd.), Généralités : composition et caractères des corps gras végétaux : botanique : extraction : usages : production : commerce. (Vol. 1). Paris.
- Adrian, et Jacquot. (1968).** Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés. Paris : G.P.MAISONEUVE & LAROSE.
- Aguiab, & Belgacem. (2015).** Valorisation des arachides (*Arachis hypogea* L.) cultivées à la Wilaya D'El-Oued.
- Ah-Leung, et al. (2003).** Influence des procédés thermiques sur l'allergénicité de l'arachide. Bernard, Drumare , Mondoulet , Paty, W. Scheinmann, Cheinmann, & Wal. Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique.
- Aitchitt, et al, e. (2007).** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Dans Belmir, & Lazrak, Transfert de technologie en Agriculture (pp. 1-4). Rabat, Maroc.
- Albanell, et al, e. (1991).** Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles. Dans Caja, & Plaixats, Options Méditerranéennes (pp. 135- 136).
- Ali, K., et al, e. (2002).** Processing and characterization of carob powder. Dans K. Ali, H. M. Yousif, & Alghzawi, Food Chemistry (pp. 283-287).
- Arban. (2015).** le caroubier, arbre aux multiples vertus, sous exploité.
- Avallone, et al, e. (1997).** Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua*). Plessi, Baraldi, & Monzani, Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins (Vol. 10, pp. 166–172). Journal of food composition and analysis.
- Ayaz, et al, e. (2007).** Détermination de la composition chimique des gousse de caroube (*Ceratonia siliqua* L.). f. a. Ayaz, H. Torun, S. Ayaz, P. J. Correia, M. Alaiz, C. Sanz, . . . M. Strnad. Turquie.
- Barracosa, et al, e. (2007).** Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratonia siliqua* L.) cultivars in Algarve region. Dans Osorio, & Cravador.
- Battle. (1997).** Current situation and possibilities of development of the carob tree (*Ceratoniasiliqua*L.) in the Mediterranean region. Rome, Italy: Unpublished FAO Report.
- Battle, et Tous. (1997).** Caroub tree. *Ceratoniasiliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.17 (Vol. 5). Maghreb Canada Express: Institut of plant Genetic and crops Plant Resarch. Médicinales.



## *Références bibliographiques*

---

- Battle, I., et Tous, J. (1990).** Cultivares autoctones d'algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.) en Cataluna.
- Bengoechea, et al, e. (2008).** Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L.) germ proteins. Dans R. ro, Villanueva, Moreno, Alaiz, & Millán. *Food Chemistry*.
- Benmahioul, et al. (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. Dans KAÏD-HARCHE, & DAGUIN, forêt méditerranéenne (pp. 51-57).
- Berrim, et Ben-Amar. (2013).** mise en valeur des huiles de soja.
- Bertoli, et Loliger. (2000).** « Les lipides ». Sciences et Techniques.
- Beta, T., et al, e. (2005).** cereal chem. Dans T. Beta, S. Nam, J. E. Dexter, & H. D. Sapistein.
- Biner, et al, e. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. Gubbuk, Karhan, Aksu, & Pekmezci, *food chemistry* (pp. 1453-1455).
- Boizot, N., et Charpentier, J. P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières. Laboratoire d'Analyses Biochimiques. Le Cahier des Techniques de l'Inra.
- Boudy. (1950).** Economie forestière Nord-africaine - Tome 2 : monographies et traitements des essences forestières (Vol. II). Paris: Larose.
- Calixto, et Canellas. (1982).** Components of nutritional interest in carob pods *Ceratonia siliqua*. *Journal of the Science of Food Agriculture*(N°33), pp. 1319–1323.
- Candolle. (1883).** L'origine des plantes cultivées. Paris: Balaire.
- Chekroun. (2013).** Détermination de la capacité antioxydante des huiles végétales : Huile Afi. 67. Master en chimie. Université ABB Tlemcen.
- Chemat. (2011).** Eco-extraction du végétal procédés innovants et solvants alternatifs. Paris.
- codex alimentarius. (1993).** annexe v. Avant-projet de norme pour les huiles végétales portant un nom scientifique compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique.
- Dakia, et al, e. (2008).** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. Blecker, Robert, Wathelet, & Paquot, *Food Hydrocolloids* (Vol. 22, pp. 107-818).

## *Références bibliographiques*

---

**Débat, et Cirad. (2006).** perspectives d'utilisation des HVP (hors carburant).

**Debruyne. (2001).** soja:transformation et aspects industriels. pp. 1-12.

**Djadoun. (2012).** influence de l'hexane acidifié sur l'extraction de l'huile de grignon d'olive assistée par microondes. Mémoire de magister en chimie de l'environnement .université de tizi-ouzou.

**El hadjaji, h., et al, e. (2013).** Étude comparative de la composition minérale des constituants de trois catégories de ceratonia siliquaL. h. El hadjaji, f. Abdellah, a. Ennabili, h. Greche, d. Bousta, b. El bali, & m. Lachkar. Maroc.

**Elaoufi, m. (2014).** Activité antioxydante des extraits phénoliques.

**Fadel, F., et al, e (2011).** les composés phénoliques des pulpes et des graines de( Ceratonia siliqua L.). F. Fadel, S. Fatouch, S. Tahrouch, R. Lahmer, A. Benddou, & A. Hatimi, International year of chemistry (pp. 285-292). Maroc.

**FAO. (2006,1218).** Consulté2020, sur <http://www.fao.org/docrep/003/Y1797E/y1797e13.htm>.

**FAOSTAT. (2010).** Récupéré sur la distribution du caroubier dans toute la région du bassin méditerranéen: [WWW.fao.org](http://WWW.fao.org)

**Filioglou, et Alexis. (1989).** Protein digestibility and enzyme activity in the digestive tract of rainbow trout fed diets containing increasing levels of carob seed germ meal In N. (E. De Pauw, H. Jaspers, Ackefors, & N. Wilk, Éd.s.) Aquaculture. A biotechnology in progress, pp. 839-843.

**Flynn, N. E., et al, e. (2002).** The metabolic basis of arginine nutrition and pharmacotherapy. M. E. Flynn, C. J. Meininger, T. E. Haynes, & G. Wu, Biomedicine Pharmacotherapy N°56 (pp. 427-438).

**Foughali, B., et al, e. (2014).** Variabilité morphologique des fruits et graines du caroubier (Ceratonia Siliqua L.). b. Foughali, R. Fghire, F. Anaya, I. Ali oudou, K. Lotfi, & s. Wahbi, 2ème congrès international de la biodiversité végétale . Maroc.

**Frenot, et Vierling. (2001).** Biochimie des aliments diétique du sujet bien portant. centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.

**Hubert. (2000).** (ING. D'Agonomie). Fiche technique d'agriculture spéciale.

**Ilahi, et Vardar. (1976).** Studies in turkish carob (Ceratonia siliqua ). Acidic auxin-like and inhibitory substance in fruits morphogenesis planta.

- J**ohnson, et al, e. (1988). Application of LBC in food and pet food systems. Dans Bruun, Okkala, Neukom, P. Fitoanf, & A. Mulet (Éds.), in Proceedings of the II International Carob Symposium (pp. 577-587). Valencia, Spain.
- Johnson, L. A., et Lusan, E. W. (1983).** comparaison of alternative solvants for oils extraction J.Am Oil chem.
- K**andji. (2001). Etude de la composition chimique et dela qualite d'huiles vegetales artisanales consommesau senegal. docteur en pharmacie.
- L**avalée. (1962). Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie.Alger.
- M**akris, et Kefalas. (2004). Carob Pods (Ceratonia siliqua L.) as a Source of Polyphenolic Antioxidants. Chania, Greece.
- MAPA. (1994).** Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación. Anuario de Estadística Agraria. Marid, Spain: Secretaría General Técnica.
- Marakis, S., & al, e. (1988).** Criteria for recognizing carob tree varieties.in Proceedings of the II International Carob Symposium. Dans S. Marakis, J. Kalaitzakis, & K. Mitrakos. Valencia.Spain: Fito and Mulet.
- Ministère de l'agriculture et de la pêche Maritime. (2007, Juin).** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier(153), p. 1 à 4.
- Mitrakos. (1981).** Temperature germination responses in three Mediterraneanevergreen sclerophylls, in Components of Productivity of Mediterranean-climate Regions-Basic and Applied Aspects. (Margaris, Mooney, Éds., & D. B. W, Trad.) Boston , London.
- Mitrakos. (1988).** in Prceedings of the II International caroub Symposium. Dans P. Fito, & A. Mulet (Éds.), The botany of Ceratonia (pp. 209-218). Valencia-Spain.
- Mohammadi, Z. (2006).** Thèse de magistere de l'université Abou Bakr Belkaid . tlemcen.
- Morin, et al. (1995).** La demande non alimentaire des huiles et graisses. Dans Dronne, & Requillard.

## Références bibliographiques

---

**Morin, et Pagès, p. x. (2012).** Huiles et corps gras végétaux : ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. France. Récupéré sur [www.iterg.com](http://www.iterg.com).

**Morton, J. F. (1987).** Carob. In *Fruits of Warm Climates*. Miami: C.F. Dowling.

**Naghmouchi, S., et al, e. (2009).** Population de caroube tunisienne (*Ceratonia siliqua* L.) variabilité morphologique de gousses et de noyau. Dans S. Naghmouchi, M. L. Khouja, J. Jous, & M. Boussaid, *scientia horticulturae* (pp. 125-130). tunisie.

**Neukom. (1988).** Carob bean gum: properties and applications. (In: P. Fito, & A. Mulet, Édts.) *Proceedings of the II International Carob Symposium*, pp. 551-555.

**Orphanos, et Papaconstantinou. (1969).** The carob varieties of Cyprus Tech, Bull 5. Cyprus Agricultural Research Institute, Cyprus Agricultural Research Institutue.

**Ortiz, et al, e. (1996).** PRODUCCIÓN DE NÉCTAR Y FRECUENCIA DE POLINIZADORES EN *CERATONIA SILIQUA* L. (CAESALPINIACEAE). Dans Arista, Telavera, J. Anales, & Bot (Éds.). Madrid.

**Özcan, et al, e. (2007).** Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. Dans Arslan, & Gökçalik. la turquie.

**Patrick. (2008).** Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales. Brasilia: Cirad.

**Penchev. (2010).** étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions.

**Petit, et Pinilla. (1995).** Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from. (Wiss, & Technol, Édts.) *Carob Pods Lebensm28* .

**Platon. (1988).** Raffinage de l'huile de soja. . *American Soybean Association*(19), pp. 3-30.

**Pouzet. (1999).** Sources et monographies des principaux corps gras. In *Manuel des corps gras* (Vol. 1992). Tec et Doc. Lavoisier.

**Quezel, et Santa. (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et de la région désertique méridionale (tomel). Edition du centre nationale de la recherche scientifique.

**Rakotoarimanana. (2010).** Contribution a l'amélioration de la comestibilité de l'huile d'arachide artisanale par raffinage. 110

## *Références bibliographiques*

---

**Rejeb. (1995).** Le caroubier en Tunisie. (J. L. Eurotext, Éd.) Situations et Perspectives d'Amélioration-Quel Avenir pour l'Amélioration des Plantes?, pp. 79-85.

**Rejeb, et al, e. (1991).** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. Dans Laffray, & Louguet. Paris, France: Group d'Etude de l'Arbre.

**Roukas. (1993).** Ethanol production from carob pods by *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Biotechnology*(7), pp. 159–176.

**Roukas. (1996).** Continuous ethanol production from nonsterilized carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* on mineral kisseris using a two-reactor system. *Applied Biochemistry and Biotechnology*(59), pp. 299–307.

**Roukas. (1998).** Citric acid production from carob pod extract by cell recycle of *Aspergillus niger*. *Food Biotechnology*(12), pp. 91–104.

**Roukas, T. (1999).** Citric acid production from carob pod by solid-state fermentation. *Enzyme and Microbial Technology*(24), pp. 54–59.

**Schroeder. (1959).** The floral situation of the Carob in California Proc.

**Schweinfuth, G. (1894).** Sammlung arabisch-aethiopischer P, flenzen Ergebnisse on Reisen in den Jahren 1881,1888-89,1891-92. (H. Bull, & B. 2, Éds.)

**Shahkhalili, T., & al, e. (1990).** Effects of Foods Rich in Polyphenols on Nitrogen Excretion in Rats. Dans T. Shahkhalili, P. A. Finot, & H. F. Richard. *Journal of Nutrition*.

**Simon. (2010).** Production enzymatique d'oligosaccharides à partir de gomme de caroube. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Belgique.

**Sreenivasulu, N., et al, e. (2000).** *physiol plant*. Dans N. Sreenivasulu, B. Grimm, U. Wobus, & W. Weschke.

**Ucciani. (1995).** Nouveau dictionnaire des huiles végétales: composition en acides.

**Vaitilingom. (2007).** Extraction, conditionnement et utilisation des Huiles Végétales Pures Carburant. Dans 1-52. Montpellier, France.

**Vardar, & al, e. (1972).** Preliminary results on the chemical composition of the Turkish carob beans. Dans Seçurenand, & Ahmed, *Qual Plant Mater* (Vol. XXI, pp. 318- 327).

**vavilov. (1951).** The origin, variation, Immunity and breeding of cultivated plantes. (S. translated from the Russian by k, Trad.) new york: The Ronald Press Co.

## *Références bibliographiques*

---

**Y**oucef, et Alghazawi. (2000). processing and characterization of carob powder. Food chem.

**Z**itouni. (2010). Monographie et perspectives d'avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua*) en Algérie. (Th, Ing, Agrn, & INA, Édts.) El-Harrach.

**Z**ohary. (1973). Geobotanical Foundations of the Middle East.

**Z**ouhair. (1996). Le caroubier: situation actuelle et perspectives d'avenir. Maroc: Eaux et forêts.

**W**ikipedia. (2017, Mars). Consulté le 2020, sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Caroubier>

**W**ww.123rf.com. (2005). Consulté le 04 12, 2020, sur [https://www.123rf.com/photo\\_24179719\\_carob-pods-of-carob-tree-ceratonia-siliqua.html](https://www.123rf.com/photo_24179719_carob-pods-of-carob-tree-ceratonia-siliqua.html)

**h**<http://www.google.com>

<http://www.jussieu.fr>

<https://microbenotes.com>

## Annexe

### Annexe I : (Fadel et al, 2011).

Tableau IX : pourcentage détectés des composés phénoliques des graines et des pulpes du caroubier d'une plantation privée et domaine forestier

Région	Acide	Pourcentage des composés phénoliques	
		Pulpe	Graine
REGGADA	Coumarique p	13,27±4,15	6,55±3,86
	Coumarique m	3,78±2,10	1,62±1,31
	Gallique	12,57±5,67	3,95±2,09
IZOUIKA	Coumarique p	10,78±6,27	6,47±3,23
	Coumarique m	9,73±5,56	1,60±1,73
	Gallique	17,80±9,06	5,01±3,42

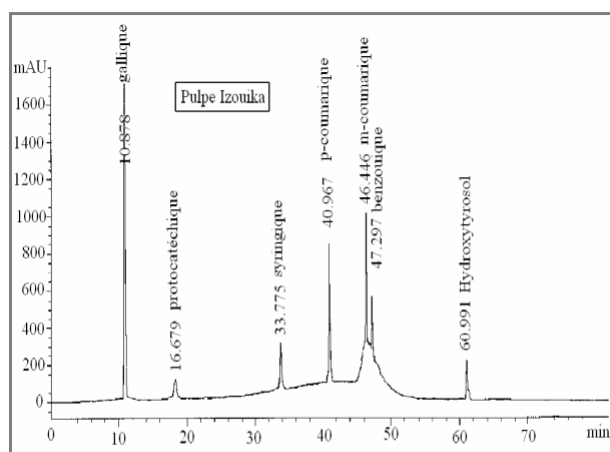


Figure 21: Profil chromatographique des composés phénoliques extraits des pulpes du caroubier d'Izoika.

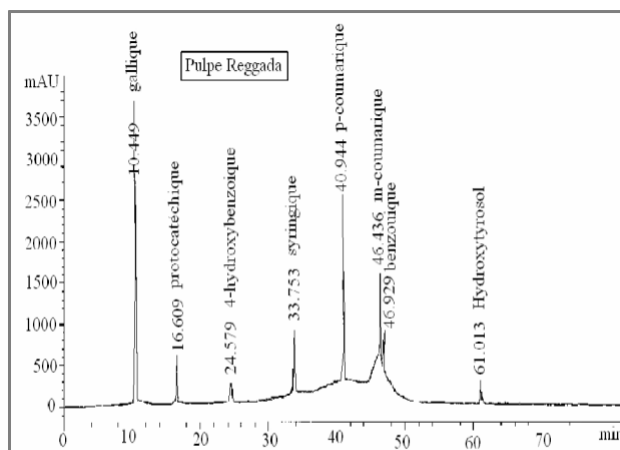


Figure 22 : Profil chromatographiques des composés phénoliques extraits des pulpes du caroubier de Reggada.

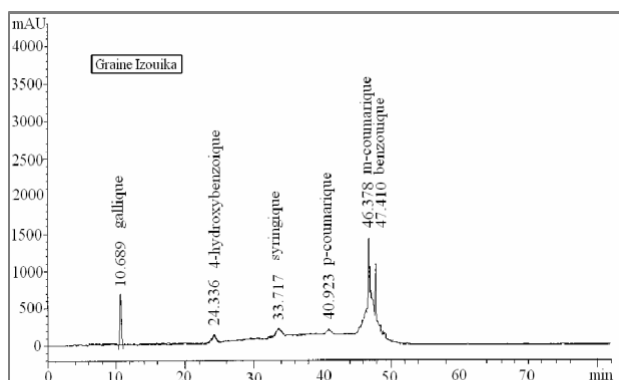


Figure 23 : Profil chromatographiques des composés phénoliques extraits des graines du caroubier d'Izoika.

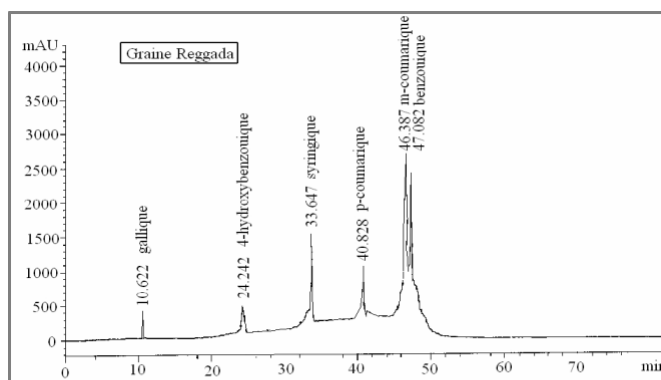


Figure 24 : Profil chromatographique des composés phénoliques extraits des graines du caroubier de Reggada.

## Annexe

### Annexe II : (Ayaz et al, 2007)

Tableau X : Composition en acide aminé de la gousse de caroube  
(*Ceratonia siliqua* L.) et autres fruits

Composée	Gousse de caroube	Néflier	Pomme	Banane	Kiwi
<b>A.aspartique</b>	12,25± 0,21	0,11	111	1,2	200
<b>A.glutamique</b>	9,65± 0,35	0,12	78	1,4	144
<b>Asparagine</b>	----	-----	613	56,5	709
<b>Glutamine</b>	----	-----	68	32	956
<b>Sérine</b>	6,80 ±0,57	0,05	27	12,9	51
<b>Histidine</b>	2,80± 0,00	0,01	11,3	42,5	24
<b>Glycine</b>	3,55± 0,07	0,04	3,5	4,3	6,6
<b>Théonine</b>	5,10 ±0,14	0,05	9,7	5,0	36
<b>Arginine</b>	3,20± 0,42	0,04	1,9	-----	898
<b>Alanine</b>	10,55 ±0,07	0,04	10,3	2,8	103
<b>Proline</b>	5,80 ±0,42	0,06	----	7,5	-----
<b>Tyrosine</b>	1,70± 0,00	0,02	----	-----	-----
<b>Valine</b>	9,05 ±0,35	0,06	25,4	7,8	38
<b>Méthionine</b>	1,04 ±0,28	0,02	----	-----	-----
<b>Cystéine</b>	0,80 ±0,28	0,005	----	-----	-----
<b>Isoleucine</b>	3,80± 0,14	0,07	----	-----	-----
<b>Leucine</b>	9,30± 0,00	----	19,9	14,8	19
<b>Phénylalanine</b>	3,10 ±0,14	0,05	----	-----	-----
<b>Lysine</b>	4,20 ±0,00	0,05	----	3,1	18
<b>Tryptophane</b>	0 ,95± 0 07	0,02	----	-----	----
<b>Acide-g-aminobutyrique</b>	-----	-----	5,1	8 ,5	156

Tableau XI :la composition en sucre et en acide organique des gousses de caroube mg/g et autres fruits

Composé	Fruits			
	Gousse de caroube	Kaki	grenade	Néflier
<b>Sucre</b>				
<b>Saccharose</b>	437.3 ± 10.6	161.08	0.10	12.40
<b>Glucose</b>	395.8 ±2.9	212.44	61.40	212.30
<b>Fructose</b>	42.3 ± 2.8	191.98	65.80	347.10
<b>Glucose/fructose</b>	0.2	1.1	0.9	0.6
<b>∑sucre</b>	875.4	565.50	126.20	571.80
<b>Acide</b>				
<b>a.malitique</b>	2,4 ±0,1	5,64	1,39	25,30
<b>a. Citrique</b>	Non détecté	1.56	2.82	Non détecté
<b>a. Ascorbique</b>	Non détecté	Non détecté	Non détecté	Non détecté
<b>∑ acide</b>	2.4	7.20	4.74	25.30



## Annexe

Tableau XII : la composition en acide phénolique (mg/g poids secs) de phénolique particulière fraction des gousses de caroube

<b>Fractions phénolique</b>				
Composé	Libre	asters	glycoside	Totale
<b>A. Gallique</b>	1,249.5± 206.9	1,550.5 ±119.8	468.3 ± 40.3	3,268.4
<b>A .syringique</b>	3.6 ± 0.7	Non détecté	4.4 ±0.6	8.0
<b>A. Sinapique</b>	1.8 ± 0.1	2.0 0.2	0.7 ± 0.2	4.5
<b>∑benzoïque</b>	1,253.1	1,551	472.7	3,276.8
<b>∑cinnamique</b>	1.8	2.2	0.7	4.5
<b>∑ benzoïque%</b>	99.9	99.9	99.9	99.9
<b>∑cinnamique%</b>	0.14	0.13	0.15	0.14
<b>Totale</b>	1,254.9	1,552.5	473.4	3,280.9

Tableau XIII : la concentration (mg/100g poids secs) de plusieurs minéraux dans les gousses de caroube et d'autre fruits

<b>Principaux minéraux</b>							
	Gousse de caroube	pomme	Coing	loquât	Figue	Date	Néflier
<b>K</b>	970±0	976.6	1,189.4	2,023.1	1,212.1	814.5	737
<b>P</b>	71±1	81.6	----	175.9	161.6	71.4	10.80
<b>Ca</b>	300±0	48.3	61.0	146.2	272.7	79.0	178.0
<b>Mg</b>	60 ±0	43.5	48.5	76.9	101.0	62.7	66.1
<b>Oligo éléments</b>							
<b>Fe</b>	1.88± 0.07	3.3	3.6	2.3	3.0	2.4	1.34
<b>Mn</b>	1.29 ±0.02	0.33	0.12	----	0.22	0.19	1.02
<b>Zn</b>	0.75± 0.05	0.7	1.18	----	0.12	0.50	0.1
<b>Cu</b>	0.85±0.06	0.36	0.60	----	0.41	0.41	0.36

## Annexe

### Annexe III : (Makris et Kefalas, 2004)

Tableau XIV : efficacité d'extraction des polyphénols totaux et total flavonols des gousses de caroube utilisant divers systèmes de solvants.

Système de solvants	Totale polyphénols	Totale flavonols
<b>Acétate d'éthyle</b>	0,19±0,04	≥0,01
<b>Méthanol</b>	2,20±0,34	0,27±0,07
<b>Ethanol</b>	3,38±0,52	0,48±0,07

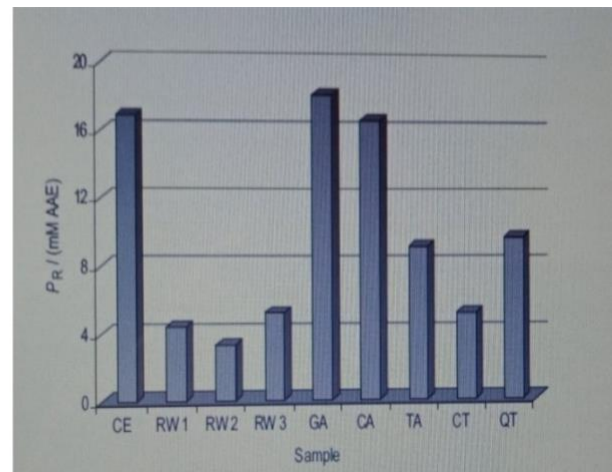
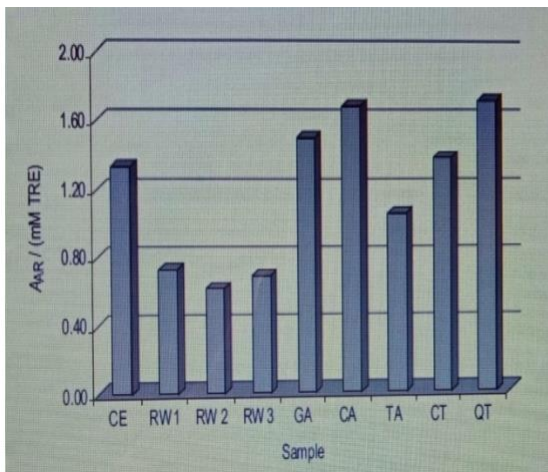


Figure 25 :Diagramme comparatif montrant l'activité antiradicalaire (AAR) valeurs d'extrait de caroube (CE) obtenu avec 80% d'acétone aqueuse, vins rouges (RW 1, 2 et 3), acide gallique (GA), acide caféique (CA), tanniqueacide (TA), catéchine (CT) et quercétine (QT). Pour la détermination de AAR et PR des extraits de gousses de caroube et des vins.

Figure 26: Schéma comparatif illustrant le pouvoir réducteur ferrique valeurs de l'extrait de gousse de caroube, des vins rouges et des polyphénols purs.

# Annexe

## Annexe IV : (El Hajaji et al, 2013).

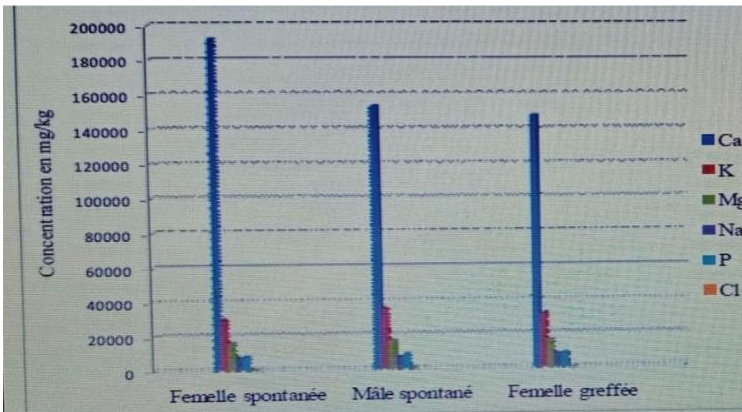


Figure27: présentation graphique des macronutriments des feuilles.

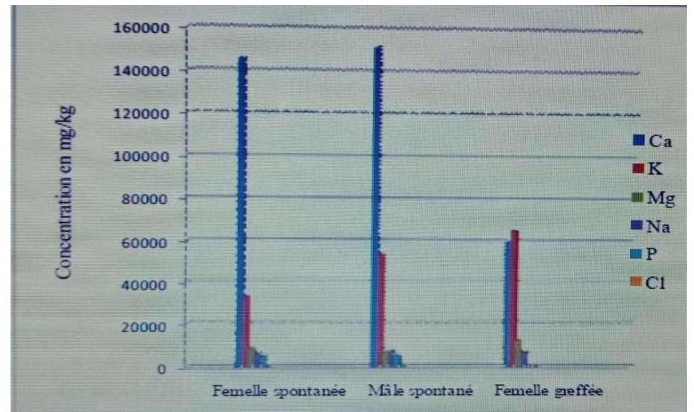


Figure 28 : présentation graphique des macronutriments des écorces.

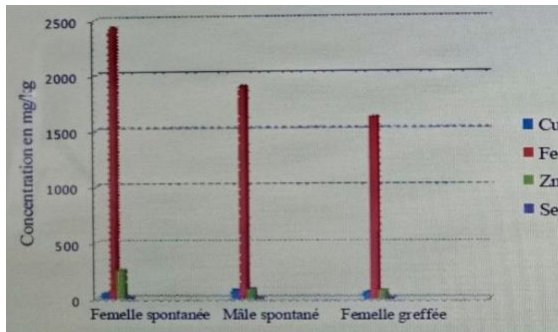


Figure 29 : présentation graphique des micronutriments des feuilles.

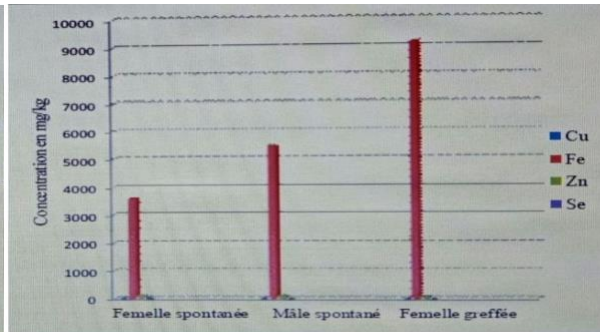


Figure 30 : présentation graphique des micronutriments des écorces.

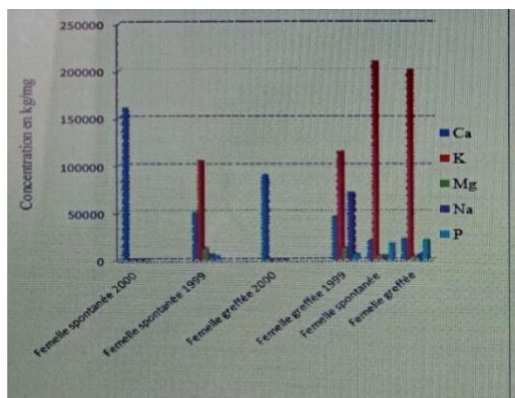


Figure31 : présentation graphique des macronutriments des téguments

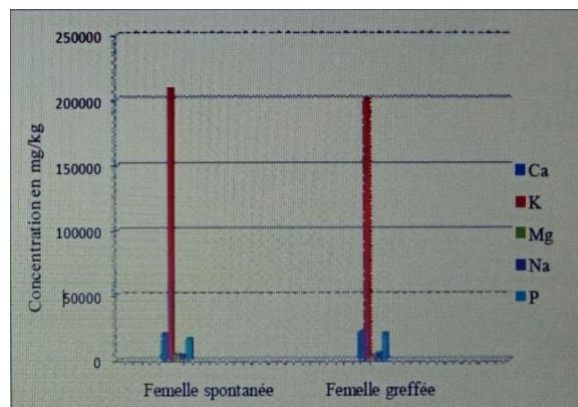


Figure32 : présentation graphique des macronutriments des pulpes

## Annexe

Tableau XV : Teneurs en minéraux (mg/kg de matière sèche) des feuilles et des écorces du caroubier.

	Feuille			Ecorces		
	Femelle spontanée	Male spontanée	Femelle greffé	Femelle spontanée	Male spontanée	Femelle greffé
<b>Ca</b>	191949,256	153282,048	148309,793	146028,931	151784,690	59764,147
<b>K</b>	30036,130	36115,193	32414,285	33441,305	53819,752	65558,510
<b>Mg</b>	16436,379	17192,032	16867,115	8271,895	6975,625	12538,050
<b>Na</b>	7985,129	7545,141	8424,476	6295,228	7637,179	6940,236
<b>P</b>	8288,887	9036,849	8888,762	4822,101	5387,424	9712,154
<b>Cl</b>	189,322	195,214	190,124	120,321	111,325	156,126
<b>Cu</b>	53,255	81,696	62,704	88,041	95,1390	91,712
<b>Fe</b>	2429,514	1892,435	1621,644	3600,600	5474,610	9180,598
<b>Zn</b>	260,709	91,685	82,740	124,8200	120,765	99,908
<b>Se</b>	1,2990	0,8945	0,432	1,278	0,147	0,155

Tableau XVI : teneurs en minéraux (mg/kg de matière sèche) de la pulpe et des téguments de caroube

	Téguments			Pulpe		
	Femelle spontanée	Male spontanée	Femelle greffé	Femelle spontanée	Male spontanée	Femelle greffé
<b>Ca</b>	161392,173	49850,000	89511,054	45900,000	20600,000	22740,000
<b>K</b>	26046,115	104400,000	19120,283	114590,000	208930,000	200470,000
<b>Mg</b>	40540,663	12650,000	23502,251	14220,000	5290,000	3960,000
<b>Na</b>	15802,176	6720,000	9414,404	71190,000	4710,000	6390,000
<b>P</b>	14387,650	4480,000	5307,81	6600,000	17430,000	21050,000
<b>Cu</b>	248,179	48,250	118,069	72,132	74,180	126,661
<b>Fe</b>	2187,349	424,925	1692,038	408,788	1390,820	144,695
<b>Zn</b>	2550,08	341,380	1361,322	383,588	358,063	267,797
<b>Se</b>	1,407	1,3280	0,609	1,542	0,967	0,495

Annexe V: (Naghmouchi et al, 2009)

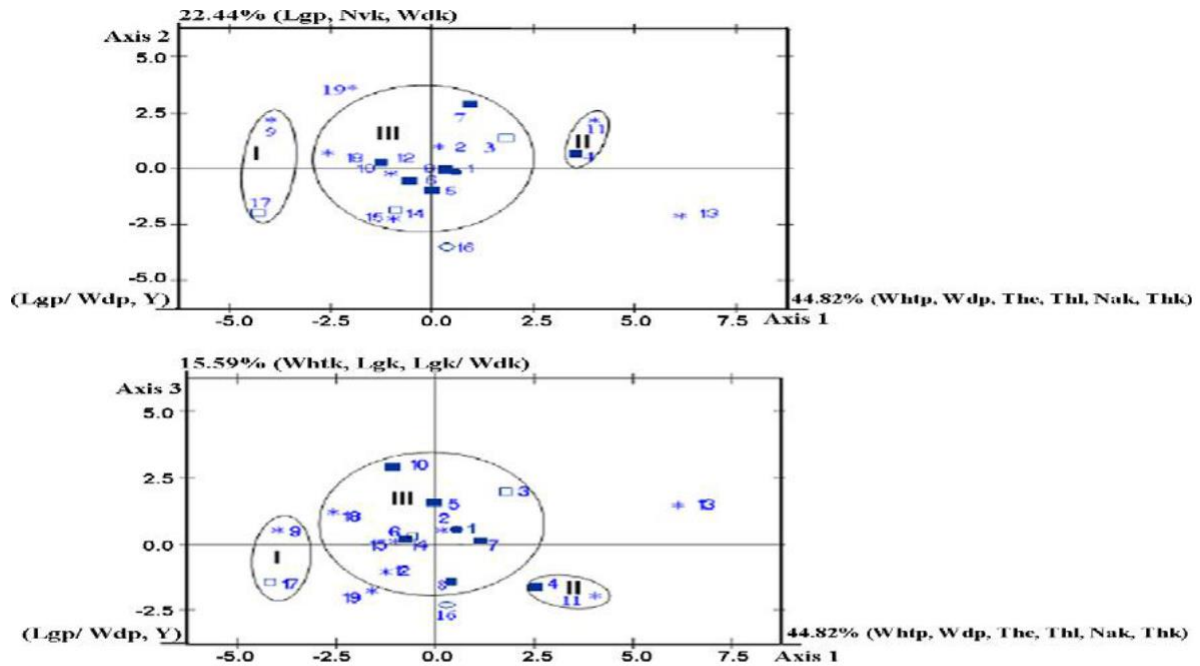


Figure 33 : Représentation graphique des populations sur les première, deuxième et troisième composantes. Les codes indiquent les populations: (1) Tabarka; (2) Menzel Bourguiba; (3) Ariana; (4) Zbid; (5) Khnis; (6)Kalaa; (7) Sayada; (8) Jradou; (9) Zaghouan; (10) Enfidha; (11) Hammamet; (12) JbalRsas; (13) Gharmel; (14) Bargou; (15) Slimen; (16) Chbika; (17) Belvédère; (18) AinTounga; (19) Slougua. (\*) Faible humidité; (\*) subhumide; (&) semi-aride supérieur à moyen; (&) bas semi -aride; (\*) supérieur aride

## High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

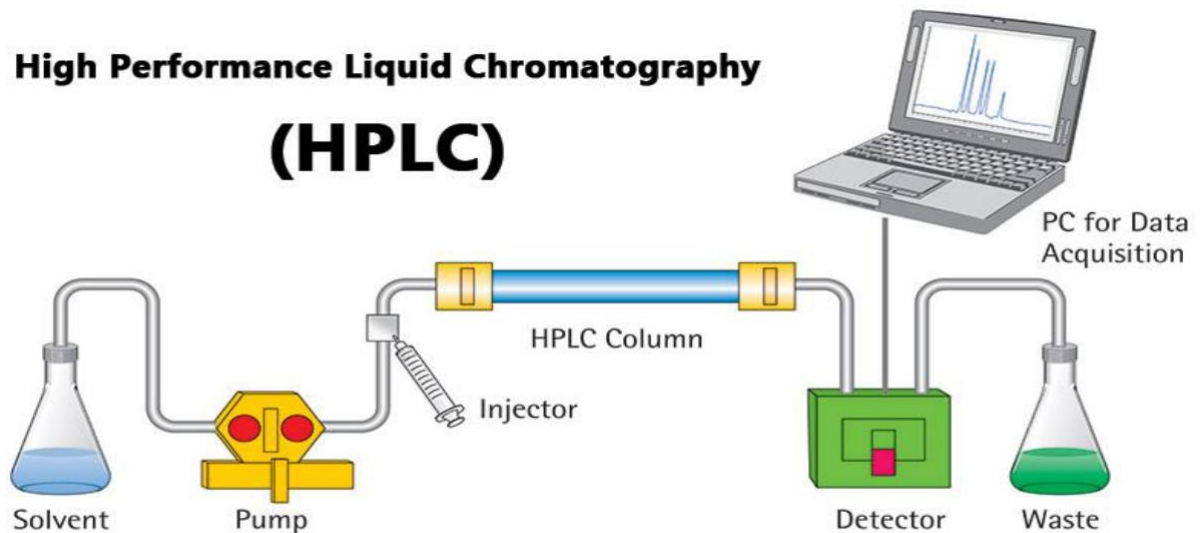


Figure34 : Appareil de HPLC (<https://microbenotes.com>)