

Popular Democratic Republic of Algeria  
Ministry Of High Education and Scientific Research  
Abbes Laghrour University, Khenchela  
Faculty of Natural and Life Sciences  
Department Of Cellular and Molecular Biology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم البيولوجيا الخلوية و الجزيئية

## Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté par : GOUALA Zohra, HANI Roufaïda, SELMI Madjeda

### Thème

# Evaluation de la qualité biologique des extraits de fruits de caroubier (*Ceratonia Siliqua* L.)

Devant le jury :

Président : Dr. TAKOUACHET Radhwane	M.C.A	Université de Khenchela
Encadrant : Dr. BADIS Zakaria	M.C.B	Université de Khenchela
Examinatrice : Dr. DJEMIL Randa	M.C.B	Université de Khenchela

Année 2023/2024

## ***Remerciements***

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrant Ms BADIS Zakaria pour l'orientation, la confiance, la patience et ses bonnes explications qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury Dr. DJEMIL Randa et Dr. TAKOUACHET Radhwane pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études, et surtout Dr. BOUCHEMAA Nadir pour leurs précieux conseils et pour leur aide au cours de ce travail.

Nous adressons nos profond remerciement aussi à l'équipe du laboratoire de biochimie et microbiologie au niveau des laboratoires pédagogiques à l'université de Khenchela surtout Mme Bahia et Mme Sara et Mme Lilia et Mr Aouaidjia pour l'aide qu'ils nous ont donnée et les efforts déployés pour faciliter notre travail.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

***Merci à tous***



## ***Dédicace***

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier ce travail à :

Les deux personnes les plus chères à mon cœur, ma Mère et mon Père, qui m'ont soutenue dans mes études, et pour leurs encouragements et leurs amours et leurs prière tout au long de mon parcours du savoir.

A mes très chers frères : Bilal, Mohhamed, Salah, Zakaria, Jakoub, Abd el nour

A mes très chères sœurs : Hadjer et Nour el houda

A mon encadrant Ms. BADIS Zakaria pour précieuse aide, conseils et orientation pendant la réalisation de ce travail.

A mes collègues de travail Roufaida, Madjeda, Rima , Raouia

A tous mes amies et mes collègues qui m'ont toujours encouragé, Boutheina, Ilham, Salima, Hana, Nour, Romeissa, Nesrine à qui je souhaite plus de succès.

Et à tous ceux que j'aime.

***Gouala Zohra***





## ***Dédicace***

Je dédie ce travail :

À Dieu qui m'a aidé et ma guidé vers le droit chemin.

À mon père Soufiane et ma mère Fatiha, qui sont la lumière de mes yeux l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie. Qui m'ont apportés la tendresse la confiance, le courage et la sécurité durant toutes mes années.

Je dédie le fruit de ma réussite à ma chère et précieuse unique sœur Djihane, et à mes frères Islam et Abd Allah, que Dieu les préserve et leur accorde santé et bien-être.

À ma deuxième maman Nassira qui m'a toujours soutenue et encouragé à aller de l'avant et de ne jamais baisser les bras.

À mon encadrant Ms. BADIS Zakaria pour précieuse aide, conseils et orientation pendant la réalisation de ce travail.

À mes chers collègues Zohra, Madjeda, Rima et Raouia, En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de Tous les moments que nous avons passé ensemble,

Je vous dédié Ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

À tous mes amies

À tous qui me sont chers

À ma famille et tous ce qui me connaissent de près ou de loin et je n'ai pas pu citer.

***Hani roufaida***





## ***Dédicace***

Tout d'abord je tiens à remercier le Dieu le tout puissant de m'avoir donnée la santé, la patience, la volonté et de m'avoir fournie sa bénédiction.

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

A mon très cher père Nadji, qui a toujours rependu présent dans les moments les plus difficiles son soutien son encouragement m'ont toujours donné la force pour poursuivre mes études.

A ma chère maman Fatima, qui m'a comblé de son soutien et qui a beaucoup sacrifié pour Ma réussite.

À mon cher frère Mohammed et sœur Amina, a qui je souhaite tous le bonheur.

A mon encadreur Ms. BADIS Zakaria que je tiens a remercié infiniment pour son soutien, motivation et sa patience et son accompagnement durant la réalisation de ce travail.

A mes chères amies et binômes Roufaida et Zohra, avec qui j'ai partagé les meilleurs instants durant la réalisation de ce travail, sons oublier mes amis : Rouia et Rima, de qui j'ai reçu tout le soutien et un bon accompagnement

A ceux et celles qui ont contribuées de près ou de loin, par leur suggestions et leur encouragements à la réalisation de ce travail.

***Selmi Madjeda***



## Abstract

---

---

Evaluation de la qualité biologique des extraits de fruits de caroubier (*Ceratonia Siliqua* L.)

### Résumé

*Ceratonia Siliqua* L.(caroube), est un arbre à feuilles persistantes originaire de la région méditerranéenne, dont le fruit a une valeur nutritionnelle et médicinale potentielle. La présente étude a été réalisée pour la caractérisation phytochimique et biologiques de l'extrait éthanolique des fruits de caroube, afin de fabriquer un savon à base d'huile de caroube. Le screening phytochimique de cet extrait a révélé sa richesse en composés phénolique, les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes, les saponosides, les quinones libres, les composés réducteurs et l'absence totale des stérols. Quantitativement, le dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu et des flavonoïdes par la méthode d'AlCl<sub>3</sub> avec l'extrait éthanolique a donné des valeurs plus élevées qui estimaient : (108 ± 1.11 ug EAG/mg Ext) et (9.24± 0.069 ug EQ /mg Ext) respectivement. L'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du piégeage du radical libre DPPH a révélé que l'extrait éthanolique des fruits est doté d'un potentiel antiradicalaire élevé avec une valeur d'IC<sub>50</sub> de 1.76 mg /ml. L'évaluation in vitro de l'activité antimicrobienne de l'extrait de *Ceratonia siliqua* L. contre les quatre souches bactériennes (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*) indiquent que la plante a une activité antimicrobienne significative et que ces souches testées sont des espèces sensibles, où le plus grand diamètre de la zone d'inhibition était de 17 mm contre *Pseudomonas aeruginosa*. La qualité des savons dépend de leurs propriétés physico-chimiques. Le pH du savon est basique de 9,61 qui est dans les normes tandis que l'alcali total est de 2,33 % qui est élevés par rapport à celui des savons de toilettes commercialisés, les résultats montre que le pouvoir moussant du savon obtenu est de 0% dans un milieu acide, est de 22,22% dans un milieu salin. Alors que, les deux tests d'irritation cutanée et de la langue , indiquent que le savon synthétisé n'est pas irritant et non caustique respectivement.

Au total, les fruits de caroube pourraient être considérés comme une source intéressante de préparation antioxydante et antibactérienne biologiquement active pour une application potentielle dans les domaines pharmaceutiques et des compléments alimentaires.

**Mots clés :** *Ceratonia Siliqua* L, caroube, screening phytochimique, activité antioxydante, activité antibactérienne.

## Abstract

---

---

Evaluation of the biologic quality of carob fruit extracts (*Ceratonia Siliqua* L.)

### **Abstract**

*Ceratonia Siliqua* L. (carob) is an evergreen native to the Mediterranean, tree whose fruit has potential nutritional and medicinal value. The present study was carried out for the phytochemical and biological characterization of the ethanolic extract of the fruits of carob, in order to make a soap from carob oil . Phytochemical screening of this extract revealed its richness in phenolic compounds, flavonoids, tannins, alkaloids, saponins, free quinones, reducing compounds, and the total absence of sterols. Quantitatively, the dosage of total polyphenols by the Folin-Ciocalteu method and of flavonoids by the AlCl<sub>3</sub> method with ethanolic extract gave higher values which estimated: (108 ± 1.11 ug EAG/mg Ext) and (9.24± 0.069 ug EQ /mg Ext) respectively. The evaluation of the antioxidant activity by the DPPH free radical trapping method revealed that the ethanolic extract of the fruits has a high anti-radical potential with an IC<sub>50</sub> value of 1.76 mg/ml. The evaluation in vitro of the antimicrobial activity of extract of *Ceratonia siliqua* L. against the four bacterial strains (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*) indicate that the plant has a significant antimicrobial activity and these strains tested are sensitive species, where the largest diameter of the inhibition zone was 17mm against *Pseudomonas aeruginosa*. The quality of soaps depends on their physicochemical properties. The pH of the soap is basic 9.61 which is within the standards while the total alkali is 2.33% which is high compared to that of toilet soaps marketed , the results show that the foaming power of the soap obtained is 0% in an acidic medium , is 22,22% in a saline medium . While , both skin and tongue irritation tests, indicate that the synthesized soap is not irritating and not caustic respectively.

In total, carob fruits could be considered an interesting source of biologically active antioxidant and antibacterial preparation for potential application in the pharmaceutical and food supplement fields.

**Keywords:** *Ceratonia Siliqua* L, carob, phytochemical screening, antioxidant activity, antibacterial activity.

تقييم الجودة البيولوجية لمستخلصات الخروب (*Ceratonia Siliqua* L.)

## ملخص

*Ceratonia Siliqua* L. (الخروب) هي شجرة دائمة الخضرة موطنها منطقة البحر الأبيض المتوسط، ولثمارها قيمة غذائية و طبية محتملة. أجريت هذه الدراسة للتوصيف الكيميائي النباتي و البيولوجي للمستخلص الإيثانولي لثمار الخروب، لغرض صناعة صابون من زيت الخروب. كشف الفحص الكيميائي النباتي لهذا المستخلص عن ثرائه بالمركبات الفينولية و الفلافونويدات و التانينات و القلويدات و السابونوزيدات و الكينونات الحرة و المركبات المختزلة و الغياب التام للستيرول. كميًا، فإن معايرة البوليفينول الكلي من خلال طريقة Folin-Ciocalteu و الفلافونيدات بطريقة  $AlCl_3$  مع المستخلص الإيثانولي أعطى قيمًا أعلى تقدر:  $(108 \pm 1.11 \text{ ug EAG/mg Ext})$  و  $(9.24 \pm 0.069 \text{ ug EQ/mg Ext})$  على التوالي. كشف تقييم النشاط المضاد للأكسدة بواسطة طريقة محاصرة الجذر الحر DPPH أن المستخلص الإيثانولي للثمار له إمكانات عالية مضادة للجذور مع قيمة  $IC_{50}$  مقدرة 1.76 mg/ml. يشير التقييم في المختبر للنشاط المضاد للبكتيريا لمستخلص نبات *Ceratonia Siliqua* L. ضد السلالات البكتيرية الأربع (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*) أن النبات له نشاط مضاد مهم للبكتيريا وأن هذه السلالات المختبرة هي من الأنواع الحساسة حيث كان أكبر قطر لمنطقة التثبيط 17mm ضد *Pseudomonas aeruginosa*. تعتمد جودة الصابون على خصائصه الفيزيائية الكيميائية. درجة الحموضة الأساسية للصابون 9.61 وهي ضمن المعايير بينما يبلغ إجمالي القلويات 2.33% وهي نسبة عالية مقارنة بصابون الحمام الذي يتم تسويقه، وأظهرت النتائج ان قوة رغوة الصابون التي تم الحصول عليها هي 0% في وسط حمضي، و 22, 22% في وسط ملحي. بينما اختبارات تهيج الجلد واللسان تشير إلى أن الصابون المصنع غير مهيج وغير كاوي على التوالي.

في المجمل، يمكن اعتبار ثمار الخروب مصدرًا مثيّرًا للاهتمام لمضادات الأكسدة النشطة بيولوجيًا والتحصير المضاد للبكتيريا للتطبيق المحتمل في مجالات الأدوية والمكملات الغذائية.

**الكلمات المفتاحية:** سيرتونيا سيليقا إل، الخروب، التحليل الكيميائي لنبات، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للبكتيريا.

## Liste des tableaux

---

---

### Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Le caroubier ( <i>ceratonia siliqua</i> L.) .....	4
<b>Figure 2.</b> Centres d'origine et distribution du caroubier dans le monde .....	5
<b>Figure 3.</b> Répartition des variétés de caroubier en Algérie selon leur stade bioclimatique .	6
<b>Figure 4.</b> Allure de l'arbre du caroubier .....	7
<b>Figure 5.</b> Racines du caroubier .....	8
<b>Figure 6.</b> Les branches de caroubier .....	9
<b>Figure 7.</b> Feuillage du caroubier.....	10
<b>Figure 8.</b> Fleurs du caroubier .....	11
<b>Figure 9.</b> Gousse du caroubier. ....	12
<b>Figure 10.</b> Coupe transversale d'une graine de caroubier .....	13
<b>Figure 11.</b> Fructification du caroubier .....	15
<b>Figure 12.</b> Stades de développement du fruit de caroubier . ....	16
<b>Figure 13.</b> Germination des graines de caroubier dans le sol .....	18
<b>Figure 14.</b> Principales étapes du bouturage ligneux de caroubier .....	19
<b>Figure 15.</b> Principales étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier.....	20
<b>Figure 16.</b> Micro-propagation de caroube via culture d'apex in vitro .....	21
<b>Figure 17.</b> Fruits et graines de dix variétés de caroubiers d'Algérie.....	22
<b>Figure 18.</b> Structure des galactomannanes de la gomme de caroube et de la gomme tara..	24
<b>Figure 19.</b> Carte géographique de la provenance du matériel végétal.....	34
<b>Figure 20.</b> La poudre de fruit de <i>Ceratonia siliqua</i> L.....	35
<b>Figure 21.</b> Droite d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes totaux. ...	44
<b>Figure 22.</b> Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.....	44
<b>Figure 23.</b> Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	60
<b>Figure 24.</b> Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de l'extrait	62

## Liste des tableaux

---

---

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Classification taxonomique du <i>Ceratonia siliqua</i> L.....	3
<b>Tableau 2.</b> Composition chimique de la gousse de caroube.....	23
<b>Tableau 3.</b> Les produits alimentaires élaborés à partir du fruit du caroubier. ....	25
<b>Tableau 4.</b> Souches bactériennes testées dans l'activité antibactériennes. ....	35
<b>Tableau 5.</b> La gamme étalonnage d'acide gallique. ....	41
<b>Tableau 6.</b> Composition des savons. ....	49
<b>Tableau 7.</b> Rendement d'extrait éthanolique.....	55
<b>Tableau 8.</b> Résultats du criblage phytochimique des fruits de <i>Ceratonia siliqua</i> L.. ....	56
<b>Tableau 9.</b> Teneur en phénols totaux dans l'extrait de <i>Ceratonia siliqua</i> L. ....	61
<b>Tableau 10.</b> Teneur en flavonoïdes dans l'extrait <i>Ceratonia siliqua</i> L.....	62
<b>Tableau 11.</b> Résultats du test de l'activité antioxydante exprimant la concentration efficace 50% en mg/ml.....	63
<b>Tableau 12.</b> L'activité antibactérienne des souches bactériennes testées.....	65
<b>Tableau 13.</b> Caractéristiques morphologiques du savon de caroube.....	66
<b>Tableau 14.</b> Potentiel hydrogéné (pH) pour certains types du savon. ....	67
<b>Tableau 15.</b> Pourcentages d'alcali total dans certains types du savon. ....	68

## Liste des photographies

---

---

### Liste des photographies

<b>Photographie 1.</b> Les étapes de l'extraction solide – liquide de l'extrait éthanolique du caroube .....	38
<b>Photographie 2.</b> Extraction liquide-liquide de l'éther de pétrole à l'aide d'une ampoule à décanter.....	39
<b>Photographie 3.</b> Dosage de polyphénols totaux .....	42
<b>Photographie 4.</b> Dosage des flavonoïdes .....	43
<b>Photographie 5.</b> Etapes de l'évaluation de l'activité antibactérienne .....	47
<b>Photographie 6.</b> Mélange des huiles .....	50
<b>Photographie 7.</b> Mélange des huiles et de NaOH .....	50
<b>Photographie 8.</b> Moulage du savon de caroube .....	51
<b>Photographie 9.</b> Effet de l'extrait éthanolique sur les souches bactériennes testées .....	64
<b>Photographie 10.</b> Aspect du savon de Caroube .....	67
<b>Photographie 11.</b> Solubilité du savon. ....	69
<b>Photographie 12.</b> Solubilité du savon .....	70
<b>Photographie 13.</b> Résultats du test d'irritation.....	71
<b>Photographie 14.</b> Application du test de la langue par des volontaires .....	71

## Liste des abréviations

---

---

### Liste des abréviations

**ABTS** : Sel d'aluminium de l'acide 2,2-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)

**Abs** : Absorbance

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**AlCl<sub>3</sub>** : Trichlorure d'aluminium

**C. siliqua** : Ceratonia siliqua L.

**DPPH** : 2,2'-diphényl-1-picryl-hydrazyl

**DSS** : Sulfate de dextrane sodique

**EECL** : Extrait éthanolique de Ceratonia siliqua

**EtOH** : Éthanol

**Ext** : Extrait

**FeCl<sub>3</sub>** : Chlorure de fer (III)

**GPx** : Glutathion peroxydase

**H<sub>2</sub>O** : Eau

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide sulfurique

**H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>** : Ion hydronium

**HClO** : Acide hypochloreux

**HCl** : Chlorure d'hydrogène

**HeLa** : Lignée de cellules cancéreuses humaines

**HPLC** : Chromatographie Liquide à Haute Performance

**IC<sub>50</sub>** : Concentration inhibitrice à 50%

**IL-1 β** : Interleukine-1 bêta

**KOH** : Hydroxyde de potassium

## Liste des abréviations

---

---

**LBG** : Locust Bean Gum ou galactomannanes de graines de caroube (E410)

**m<sub>1</sub>** : Masse de la matière végétale initiale sèche

**m<sub>0</sub>** : Masse de l'extrait brut évaporé

**MICI** : Maladies inflammatoires de l'intestin

**mg EAG.g<sup>-1</sup> MS** : Milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche

**mg EAG/g E** : Milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait

**mg/ml** : Milligramme par millilitre

**mg EQ.g<sup>-1</sup> MS** : Milligramme équivalent de quercétine par gramme de matière sèche

**mg EQ/g E** : Milligramme équivalent de quercétine par gramme d'extrait

**MPO** : Myéloperoxydase

**Na<sup>+</sup>** : Ion de sodium

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : Carbonate de sodium

**NaCl** : Chlorure de sodium

**NaOH** : Hydroxyde de sodium

**n** : Nombre de chromosomes

**NH<sub>4</sub>OH** : Hydroxyde d'ammonium

**NADPH** : Nicotinamide Adénosine Dinucléotide Phosphate

**%** : Pourcentage

**PH**: Potentiel Hydrogène

**PGC-1 $\alpha$** : Peroxisome proliferator activated receptor gamma co-activator 1 $\alpha$

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de corrélation

**RGO** : Reflux gastro-œsophagien

**ROS** : Espèces réactives oxygénées

**SRO** : Solution de réhydratation orale

**SIRT1** : Sirtuine 1

## Liste des abréviations

---

---

**SOD** : Superoxyde dismutase

**TM** : Taux de mousse

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet (total)

**TNF- $\alpha$**  : Tumor necrosis factor-alpha

**UV**: Ultra-Violet

**$\mu\text{g/ml}$**  : Microgramme par millilitre

**$\mu\text{g EAG/mg E}$**  : Équivalent microgramme d'acide gallique par milligramme d'extrait

**$\mu\text{g EQ/mg E}$**  : Équivalent microgramme de quercétine par milligramme d'extrait

**$\mu\text{l}$**  : Microlitre

# *Table des matières*

# Table des matières

---

---

## Table des matières

**Remerciements**

**Dédicace**

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des photographies**

**Liste des abréviations**

I.Introduction générale ..... 1

### **Synthèse Bibliographique**

I.Classification systématique ..... 3

II.Nomenclature ..... 3

III.Origine et distribution géographique du caroubier ..... 4

    III.1. Origine ..... 4

    III.2. Distribution géographique du caroubier ..... 4

        III.2.1. Dans le monde ..... 4

        III.2.2. En Algérie ..... 5

IV. Morphologie et description des principales parties de l'arbre ..... 6

    IV.1. Caractères généraux ..... 6

    IV.2. Système racinaire ..... 7

    IV.3. Branche ..... 8

    IV.4. Feuille ..... 9

## Table des matières

---

---

IV.5. Fleurs .....	10
IV.6. Fruits .....	11
IV.7. Graines .....	13
V. Reproduction du caroubier .....	14
V.1. Floraison et Fécondation .....	14
V.2. Fructification .....	15
VI. Ecologie du caroubier .....	16
VII. Multiplication du caroubier .....	17
VII.1. La multiplication sexuée (semis) .....	17
VII.2. La propagation végétative .....	19
VII.2.1. Par bouturage .....	19
VII.2.2. Par greffage .....	20
VII.2.3. Par culture in vitro .....	21
VIII. Variétés de la caroube en Algérie .....	22
IX. Composition chimique du fruit .....	23
X. Valorisation des sous-produits de la caroube .....	24
X.1. La pulpe (substitut de chocolat) .....	24
X.2. Les graines .....	24
XI. Activités biologiques des fruits de <i>Ceratonia siliqua</i> L. ....	26
XI.1. Activité antioxydante .....	26
XI.2. Activité anticancéreuse .....	27
XI.3. Activité antibactérienne .....	27
XI.4. Activité antidiabétique : .....	29
XI.5. Activité antidiarrhéique .....	29
XI.6. Activité anti-reflux .....	30

## Table des matières

---

---

XI.7. Activité anti-inflammatoire et antiulcéreux.....	30
XI.8. Activité anti-hyper-lipidémie .....	30
XII. Étude toxicologique des fruits de caroube.....	31

### Étude expérimentale

#### Partie I : Matériel et méthodes

I.Extraction des fruits de caroube .....	34
I.1. Matériels .....	34
I.1.1. Matériel biologique.....	34
I.1.1.1. Matériel végétale.....	34
I.1.1.2. Souches bactériennes .....	35
I.1.2. Appareillage et produits chimiques .....	36
I.2. Méthodes .....	37
I.2.1. Préparation de l'extrait éthanolique .....	37
I.2.1.1. Extraction solide-liquide.....	37
I.2.1.2. Séparation liquide-liquide.....	39
I.2.2. Étude qualitative (Criblage phytochimique).....	39
I.2.3. Étude quantitative .....	41
I.2.3.1. Dosage des polyphénols totaux.....	41
I.2.3.2. Dosage des flavonoïdes .....	43
I.2.4. Test du piégeage du radical DPPH .....	44
I.2.5. Évaluation de l'activité antibactérienne.....	45
I.2.5.1. Protocole .....	45
I.2.5.2. Lecture des résultats.....	46
II.Nos produit (savon) .....	48
II.1. Matériels.....	48

## Table des matières

---

---

II.1.1. Matériel de préparation du savon .....	48
II.1.2. Matériel des analyses physico-chimique .....	48
II.2. Méthode.....	49
II.2.1. Composants du savon.....	49
II.2.2. Étapes de la préparation du savon .....	49
II.2.2.1.Préparation de la solution de Sodium.....	49
II.2.2.1.Préparation du mélange des huiles .....	49
II.2.2.3. Addition de NaOH au mélange .....	50
II.2.2.4.Incorporation d'huile de caroube.....	51
II.2.2.5. Moulage du savon.....	51
II.2.3. Analyse physico-chimique .....	51
II.2.3.1. Mesure du pH (potentiel Hydrogène).....	51
II.2.3.2. Détermination du pouvoir moussant du savon dans différents milieux .....	51
II.2.3.3. Détermination de la teneur en alcali libre total des savons .....	52
II.2.3.4. Test d'irritation cutanée .....	53
II.2.3.5. Test de la langue.....	53

### Partie II : Résultats et discussions

I.Extraction d'extrait éthanolique de caroube.....	55
I.1. Résultats et discussions .....	55
I.1.1. Le rendement .....	55
I.1.2. Étude qualitative (Criblage phytochimique).....	55
I.1.3. Étude quantitative .....	60
I.1.3.1. Dosage des polyphénols Totaux .....	60
I.1.3.2. Dosage des flavonoïdes .....	61
I.1.4. Évaluation de l'activité antioxydante .....	62

## Table des matières

---

---

I.1.5. Évaluation de l'activité antibactérienne .....	64
II.Nos produit (savon) .....	66
II.1. Résultats et discussions .....	66
II.1.1. Caractéristiques morphologiques du savon obtenu .....	66
II.1.2. Caractéristiques physico-chimiques du savon.....	67
II.1.2.1. PH.....	67
II.1.2.2. Alkali total .....	68
II.1.2.3. Détermination du pouvoir moussant de savon dans différents milieux .....	69
II.1.3. Test d'irritation.....	70
II.1.4. Test de la langue.....	71
II.Conclusion .....	73
Références bibliographiques.....	76

# *Introduction*

# Introduction générale

---

---

## I. Introduction générale :

La phytothérapie est devenue un centre d'attention ces dernières années, rendant encore plus populaire l'étude des propriétés d'espèces végétales moins connues. L'un d'eux est la gousse de caroube.

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) appartient à la famille des Légumineuses de l'ordre des Rosales. C'est une espèce sclérophylle, xérophile, thermophile, héliophile et calcicole, originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique (**Gadoum *et al.*, 2021**).

L'Algérie est considérée comme l'un des pays les plus producteurs de caroube avec un rendement d'environ 3000 tonnes par an (**Chait *et al.*, 2020**).

La caroube a plus récemment gagné en popularité en raison de la redécouverte de sa valeur en tant que ressource alimentaire, pharmaceutique, cosmétique et biocarburant et des avantages écologiques associés de la culture (**Castello *et al.*, 2023**).

En termes d'utilisations médicinales, il a été révélé que les gousses de caroube exercent des activités anti-inflammatoires, antimicrobiennes, anti diarrhéiques, antiulcéreuses, anti-constipation (**Mansouri *et al.*, 2022**).

Le caroubier est disponible en grande quantité en Algérie, mais cette plante n'a pas été très étudiée, nous l'avons alors choisie comme sujet d'étude et d'expérimentation.

Notre manuscrit est organisé de la manière suivante :

- Une synthèse bibliographique concerne une généralité sur le caroubier et ses fruits , c'est-à- dire la classification systématique, la description botanique de la plante *Ceratonia siliqua* L., la composition chimique des fruits , et ensuite leurs différentes activités biologiques .
- Une étude expérimentale dont son premier partie décrit le matériel et les méthodes utilisées dans ce travail, et le deuxième partie on sera présenté les résultats obtenus et la discussion.

Le manuscrit est achevé par une conclusion générale et les perspectives.

# *Synthèse Bibliographique*

## I. Classification systématique

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une espèce diploïde ( $2n = 48$ ) appartient au genre *Ceratonia* de la sous-famille des Caesalpinioïdae, de la famille des Fabaceae (Légumineuses) qui fait partie de l'ordre des Fabales (Rosales), classe des Magnoliopsida (Dahmani *et al.*, 2023 ; Giovino *et al.*, 2024 ). La classification de l'espèce est la suivante :

**Tableau 1.** Classification taxonomique du *Ceratonia siliqua* L. (Ait Ouahioune., 2022).

<b>Règne</b>	<b>Plantae</b>
<b>Sous-règne</b>	Tracheobionta
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Sous-classe</b>	Rosidae
<b>Ordre</b>	Fabales
<b>Famille</b>	Fabaceae
<b>Sous-famille</b>	Caesalpinioideae
<b>Genre</b>	<i>Ceratonia</i>
<b>Espèce</b>	<i>Ceratonia siliqua</i> L.

## II. Nomenclature

L'étymologie scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* vient du mot grec « Kera » qui signifie « corne » en référence à la forme du fruit, et du mot latin *siliqua*, qui faisant allusion à la dureté et à la forme des gousses (Palaioianni *et al.*, 2022). Sa popularité lui a valu d'autres appellations comme : Carouge, Pain de Saint Jean Baptiste, Figuier d'Égypte et Fève de Pythagore (Kocherane *et al.*, 2021).

Par ailleurs, l'espèce *Ceratonia siliqua* dans différents pays et langues tire son nom commun à partir du nom hébreu «kharuv» tels que : «kharroub» en arabe, «algarrobo» ou «garrofero» en espagnol, «carroubo» en italien, «caroubier» en français, «carob» en anglais, «karubenbaum» en allemand, «alfarrobeira» en portugais, «charaoupi» en grec et «charnup» en turc...etc (Yatmaz et Turhan., 2018 ; Gezer *et al.*, 2019). En outre, il est connu en Algérie sous les noms de « Kharroub », « Karrûba », «Taslighoua», «Tikharroubt» et «Tikida» (Rima Ayadet *et al.*, 2023).



Figure 1. Le caroubier (*ceratonia siliqua* L.) (Site web 1).

### III. Origine et distribution géographique du caroubier

#### III.1. Origine

Le caroubier est cultivé depuis l'antiquité dans la plupart des pays du bassin méditerranéen. L'origine de *C. siliqua* n'est pas claire. Toutefois, De Candolle (1883) et Vavilov (1951) ont rapporté qu'il serait natif de la région Méditerranée orientale (Turquie et Syrie). Cependant, Schweinfurth (1894) a insinué qu'il est originaire du Sud d'Arabie (Yémen). Récemment, Zohary (1973) suggère que le caroubier, avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus* et *Chamaerops*, est une relique d'une espèce florale indo-malaise d'origine xérotropicale. Par ailleurs, la seule espèce connue apparentée au caroubier est *Ceratonia oreothauma*, qui est considérée comme originaire du sud-est de l'Arabie (Oman) et de la corne de l'Afrique (au nord de la Somalie) (Essahibi *et al.*, 2021 ; Martins-Loução *et al.*, 2024).

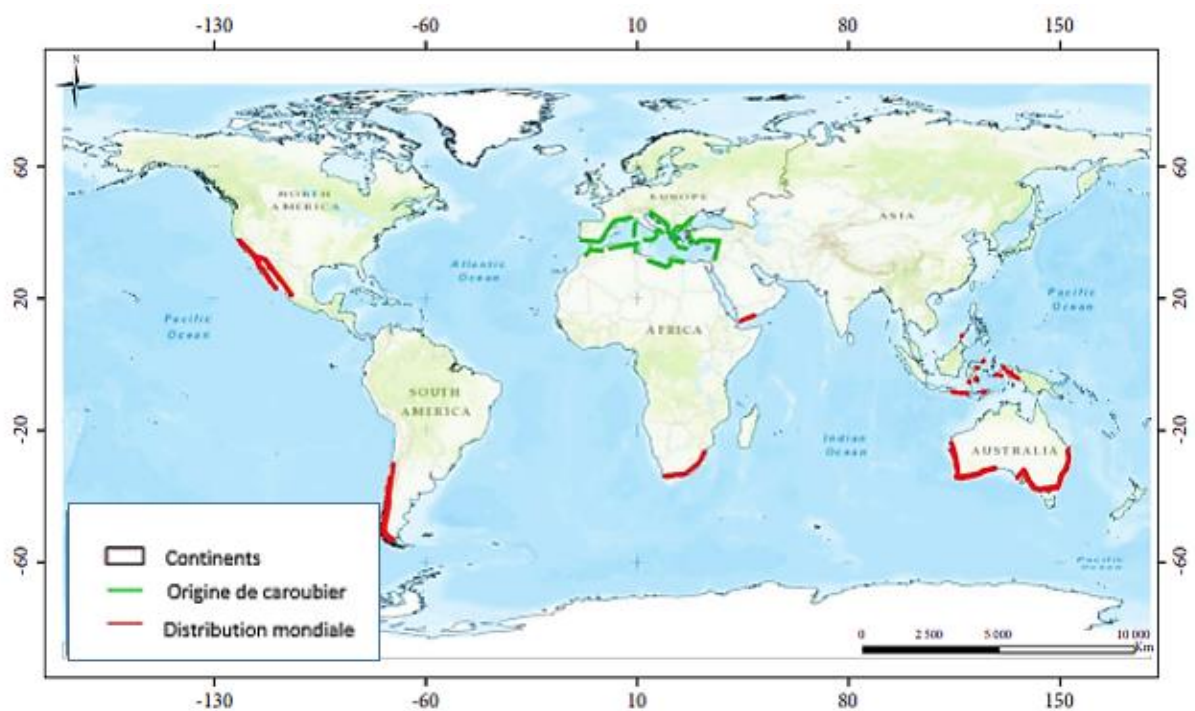
Enfin, l'origine du caroubier semble être en Méditerranée orientale, où il a été domestiqué depuis la période néolithique en 4000 avant JC, et cette culture extensive remonte à au moins 2000 avant JC (Ali *et al.*, 2019).

#### III.2. Distribution géographique du caroubier

##### III.2.1. Dans le monde

Le caroubier est un ancien arbre à feuilles persistantes, poussant dans la plupart des pays méditerranéens (Grèce, Italie, France, Malte, Espagne, Portugal, Algérie, Maroc), ainsi que dans les régions subtropicales et tropicales d'Asie du Sud (Pakistan, Inde, Indonésie), en

Afrique du Sud, en Australie, en Amérique du Nord et du Sud (États-Unis d'Amérique, Mexique, Venezuela, Argentine, Chili) (Davidian *et al.*, 2017). Les anciens Grecs l'ont introduit du Moyen-Orient en Grèce et en Italie, tandis que les Arabes l'ont répandu le long de la côte nord-africaine et vers le nord en Espagne et au Portugal (Tzatzani et Ouzounidou., 2023). Il est récemment répandu depuis l'Espagne vers d'autres régions au climat méditerranéen, comme la Californie (États-Unis), le Mexique (Tijuana), le Chili et l'Argentine, et a été disséminé dans certaines parties de l'Australie par les migrants méditerranéens et vers l'Afrique du Sud et l'Inde par les Britanniques (Mahdad et Gaouar., 2023).

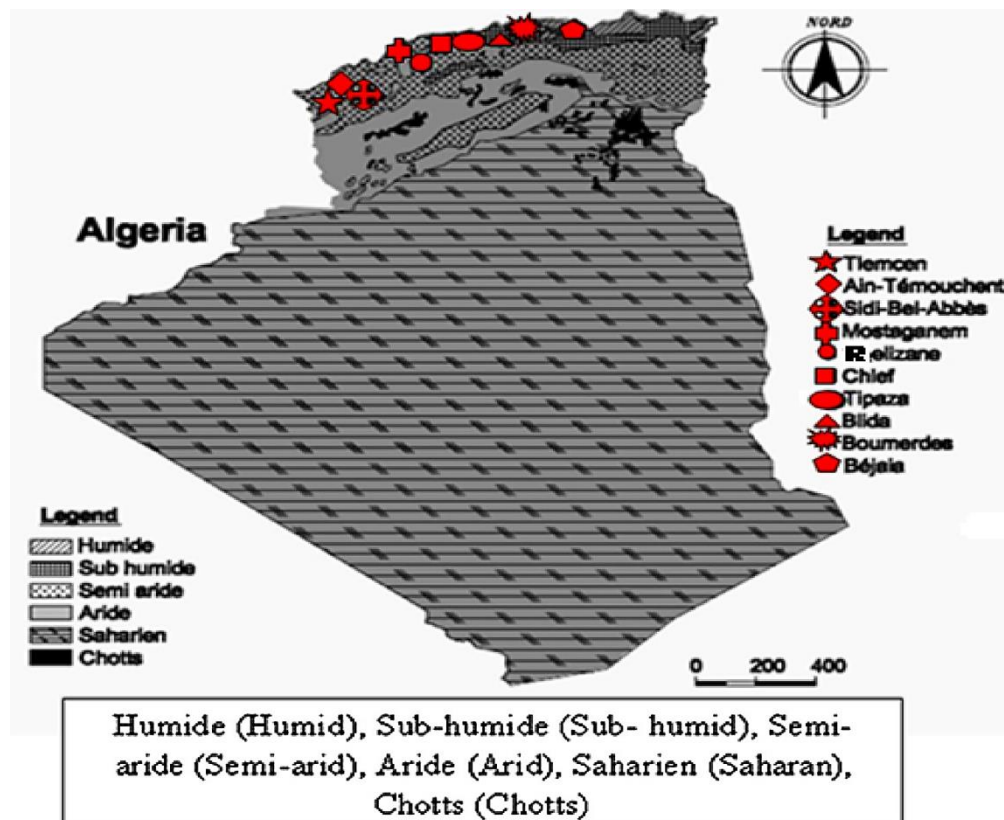


**Figure 2.** Centres d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Laaraj *et al.*, 2023).

### III.2.2. En Algérie

En Algérie, le caroubier, une composante de l'Oléo-Cératonion, est largement répandue dans toute l'Algérie, s'étend sur une vaste zone allant d'Est en Ouest englobant des altitudes basses et moyennes et des bioclimats semi-arides et humides (Rima Ayadet *et al.*, 2024). On le trouve naturellement en association avec l'olivier, l'amandier et le lentisque dans les étages semi-arides chauds, subhumides et humides, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallées fraîches qui le protègent du gel, avec une température de 5°C à 20°C et pluviométrie de 80mm à 600mm/an (Meziou- Chebouti *et al.*, 2015). Selon l'étude

de **Boublenza *et al* (2019)**, il existe dix variétés de caroube localisées dans différentes régions du nord de l'Algérie, à savoir Tlemcen, Ain-Temouchent, Sidi Bel-Abbès, Mostaganem, Relizane, Chlef, Tipaza, Blida, Boumerdes et Bejaia.



**Figure 3.** Répartition des variétés de caroubier en Algérie selon leur stade bioclimatique (**Boublenza *et al.*, 2019**).

#### IV. Morphologie et description des principales parties de l'arbre

##### IV.1. Caractères généraux

Le caroubier est un arbre ou arbuste sclérophylle, sempervirent, xérophile, thermophile, héliophile et calcicole, qui peut atteindre dans des conditions propices une hauteur de 7 à 10 m et même 15 à 20 m en Orient (**Ait Chitt *et al.*, 2007 ; Gadoum *et al.*, 2021**). Il possède une cime très étalée et arrondie. Le tronc est épais, très crevassé, tortueux comme l'olivier, car le caroubier pousse aussi lentement et vit longtemps, jusqu'à 500 ans avec un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 mètres de circonférence (**Dahmani *et al.*, 2023**). L'écorce est lisse grise lorsqu'elle est jeune, brune et rugueuse à maturité. Son bois est blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune et devient rose veiné puis rouge foncé et dur en

vieillissant Il est très apprécié en ébénisterie, marqueterie, armurerie, charronnage et aussi pour la fabrication du charbon(Guendouz *et al.*, 2022).



**Figure 4.** Allure de l'arbre du caroubier (Site web 2).

#### **IV.2. Système racinaire**

Le caroubier a des racines fortes qui pénètrent dans le sol pour atteindre une profondeur de 18 m ou même plus (Zeaiter., 2018). Les racines se caractérisent par une croissance lente avec un développement important au niveau des extrémités, de sorte que le volume des racines dépasse rapidement le double ou le triple de celui du houppier. Cela permet de classer cette espèce parmi celles qui ont un système racinaire très étendu et spécialement distribué en surface.

La racine principale est ramifiée en plusieurs racines latérales ou secondaires de grande longueur, et avec une tendance à être superficielles, en particulier sur les sols compacts ou peu profonds. Les racines latérales très ramifiées, avec de nombreux poils absorbants sont capables de s'étendre sur une longueur de 30 à 40 m et peuvent atteindre un développement quatre fois supérieur à celui des rameaux.

En plus de fixer vigoureusement l'arbre dans le sol, ce système racinaire permet l'absorption de l'humidité et des éléments nutritifs sur une grande surface de terrain, particulièrement à partir de la couche la plus superficielle du sol, laquelle présente les

niveaux les plus élevés de fertilité, d'aération et de matière organique. C'est probablement l'une des raisons principales pour laquelle cet arbre peut croître dans un terrain rocailleux avec des sols peu profonds et dans des conditions arides qui seraient restrictifs pour d'autres cultures (Mahdad et Gaouar., 2016).



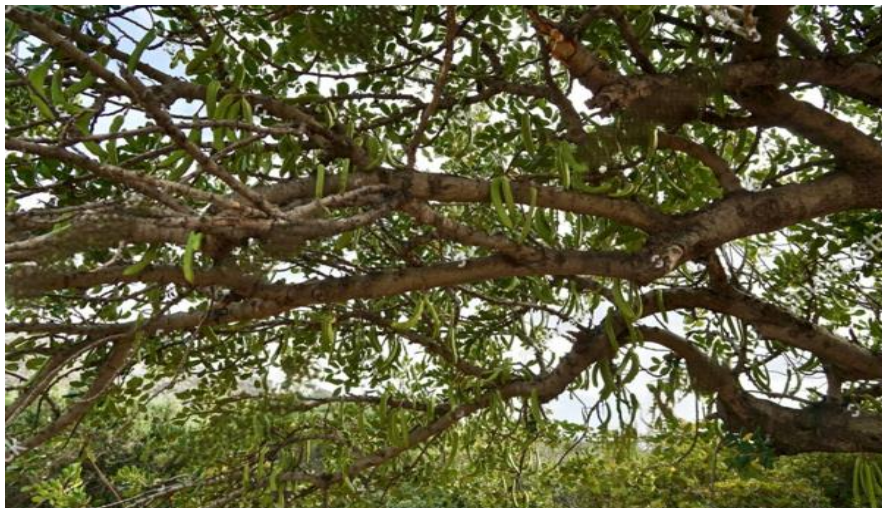
**Figure 5.** Racines du caroubier (Site web 3).

### **IV.3. Branche**

Selon **Kocherane *et al.* (2021)**, les branches présentent des différentes caractéristiques selon l'âge :

- Les branches principales d'âge avancé sont généralement épaisses, tortueuses et avec une tendance à l'horizontalité due à leur poids et aux tailles de formation. Leur rôle principal est celui de servir comme élément support à d'autres branches, même si elles peuvent occasionnellement être productives ;
- Les branches secondaires sont de taille moyenne avec une tendance à être plus au moins érigées selon leur âge, en particulier dans la partie supérieure de la couronne. Elles constituent les principales branches de production ;
- Les jeunes branches ou rameaux, de taille plus petite, sont situées dans la partie externe de la couronne ou zone de croissance. Elles sont flexibles et ont une écorce

lisse recouverte de lenticelles qui permettent les échanges gazeux avec l'atmosphère. Elles présentent généralement et selon les variétés des tons jaune-verdâtres ou rougeâtres dans la zone de bourgeonnement.



**Figure 6.** Les branches de caroubier (Site web 4) .

#### **IV.4. Feuille**

Les feuilles persistantes, de longueur de 10 à 20 cm, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant de 8 à 15 folioles, opposés, de 3 à 7 cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert noir brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (**Guendouz *et al.*, 2022**).

Occasionnellement chez les arbres cultivés et plus fréquemment chez les caroubiers sauvages, le nombre de folioles peut être impair chez quelques feuilles (**Mahdad, 2022**). Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai (**Kocherane *et al.*, 2021**).



**Figure 7.** Feuillage du caroubier : A) Feuille vert foncé brillant , B) Feuille vert foncé pâle (Site web 5).

#### IV.5. Fleurs

Les fleurs du caroubier sont nombreuses et petites, de 6 à 12 mm de long ; elles sont regroupées en grappes latérales, généralement érigées ou ascendantes, brièvement pétiolées, disposées le long d'un axe ou rachis d'une couleur verte jaunâtre ou rougeâtre de 4 à 10 cm de longueur sur lequel sont insérées entre 10 à 30 fleurs (Mahdad et Gaouar., 2016).

Les fleurs femelles sont constituées d'un pistil court et recourbé avec un petit ovaire (5 à 7mm) bicarpellé. Les stigmates sont bilobés et couvertes par des papilles. A la base, le disque nectarifère est entouré de 5 à 6 sépales rudimentaires. Par contre, la corolle est absente et les fleurs mâles portent 5 étamines (Chabane, 2018). 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 (Kaderiet al., 2015).

Initialement, les fleurs sont bisexuelles ; il y a suppression d'un axe durant le développement et le fonctionnement des cellules pour aboutir à des fleurs mâles ou femelles (Ait Chitt et al., 2007). La morphologie florale est complexe et varie largement d'une référence à une autre, par exemple il existe des (Guendouz et al., 2022) :

- Inflorescences mâles à fleurs caractérisées par des étamines à longs ou courtes filaments et à pistil non développé (Figure 8-A) ;

- Inflorescences femelles avec un pistil bien développé et des étamines rudimentaires (**Figure 8-B**) ;
- Inflorescences hermaphrodites à fleurs avec des étamines et un pistil bien développé ;
- Inflorescences polygames comportant des fleurs femelles, des fleurs mâles et des fleurs hermaphrodites (**Figure 8-C**).



**Figure 8.** Fleurs du caroubier : A) Mâles, B) Femelles, C) Polygames (Site web 6 ; 7 ; Mahdad et Gaouar, 2022).

#### **IV.6. Fruits**

Le fruit du caroubier connu sous le nom de kharrouba en arabe est classé habituellement, compte tenu de sa faible teneur en eau au moment de sa collecte, comme un fruit sec et cela malgré son aspect pulpeux (Mahdad et Gaouar., 2016).

Les caroubes sont réunies en grappes simples. Ce sont des gousses indéhiscentes, de grande taille : 10 à 30 cm de longueur, 1,5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2 cm d'épaisseur. Chaque caroube pèse environ 15 à 30 grammes. La gousse est séparée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et renferme 12 à 16 graines brunes dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm (Zeaiter, 2018).

La couleur de la caroube est d'abord verte, puis elle devient brune et au moment de la maturité, brune foncée à noir (Chabane, 2018).

Du fruit, on peut distinguer trois parties (Mahdad et Gaouar., 2016) :

- L'épicarpe ou peau : qui est de nature fibreuse et colorée ;
- Le mésocarpe ou pulpe : qui est de nature charnue, riche en sucres. Il représente environ 70 à 95% du fruit entier ;
- L'endocarpe : de nature fibreuse recouvre l'intérieur du fruit en le divisant en segments ou loges carpellaires où se situent les graines. Le nombre de fruits résultant de chaque inflorescence est variable selon la variété et il est généralement compris entre 1 et 6 gousses.



**Figure 9.** Gousse du caroubier : A) Immature, B) : Mature) ( Site web 8 ; Site web 9).

#### IV.7. Graines

Les graines du caroubier sont très dures, petites, aplaties, d'une forme presque ovoïde avec un pôle basal tronqué et écrasé en zone apicale. Son tégument est normalement lisse, dur, de couleur brun rougeâtre et brillant. Elles présentent des dimensions de 8 à 10 mm de long sur 6 à 8 mm de largeur avec 3 à 5 mm d'épaisseur (Kocherane *et al.*, 2021).

Les graines constituent environ 10 % de la masse de la gousse de caroube, elles sont composées de trois parties (Gadoum, 2020 ; Gioxari *et al.*, 2022 ):

- Episperme ou tégument : il recouvre la graine et est constitué principalement de cellulose, de lignine et de tanin. Il se compose de deux enveloppes distinguées, l'une externe appelée testa, colorée et dure et l'autre interne nommée tegmen qui est plus blanche et moue. Le tégument représente 30 à 33 % de la graine.
- Endosperme ou albumen : il se situe sous l'épisperme et constitue le tissu de réserve pour la germination de l'embryon. Economiquement, c'est la partie la plus intéressante de la graine grâce à sa teneur élevée en glucomannane ou gomme de caroube. L'endosperme représente 42 à 46 % de la graine.
- Germe ou embryon : représente 23 à 25 % de la graine.



**Figure 10.** Coupe transversale d'une graine de caroubier (Laaraj *et al.*, 2023).

En raison de leur uniformité, les Arabes utilisaient les graines de la caroube pendant longtemps comme unité de poids (0,2 g). Ils appelaient la graine Al-karat ou qirât, et son

poids standard est devenu l'unité pour peser l'or et d'autres pierres précieuses (**Brassesco et al., 2021**).

## **V. Reproduction du caroubier**

### **V.1. Floraison et Fécondation**

Le caroubier est dioïque, parfois hermaphrodite. Les pieds mâles sont stériles et improductifs. Il est considéré comme le seul arbre méditerranéen qui fleurisse en été : d'août à octobre ou en automne : de septembre à novembre (**Bahry et al., 2017**). Cependant, cette période de floraison dépend des conditions climatiques locales, car dans les régions côtières (climat doux), la floraison peut avoir lieu même au mois de juin, surtout chez les pieds mâles et hermaphrodites et occasionnellement chez les femelles, tandis que ce phénomène était absent chez les caroubiers des zones intérieures à climat continental où les conditions environnementales sont plus rudes (**Mahdad, 2022**).

La pollinisation des fleurs est principalement assurée par les mouches, les abeilles et les guêpes (**Varnava et al., 2023**). En effet, une intervention quasi nulle du vent dans la pollinisation a été observée. Toutefois, l'action du vent dans le transport du pollen depuis les fleurs mâles jusqu'aux fleurs femelles n'est pas à exclure (**Mahdad, 2022**).

Les fleurs mâles apparaissent d'août à septembre et la durée d'émission du pollen semble dépasser celle de la réceptivité des stigmates. Certains ont observé des anthères mûres de juillet à décembre. Concernant les sujets mâles, quatre points semblent importants à étudier (**Ait Chitt et al., 2007**) :

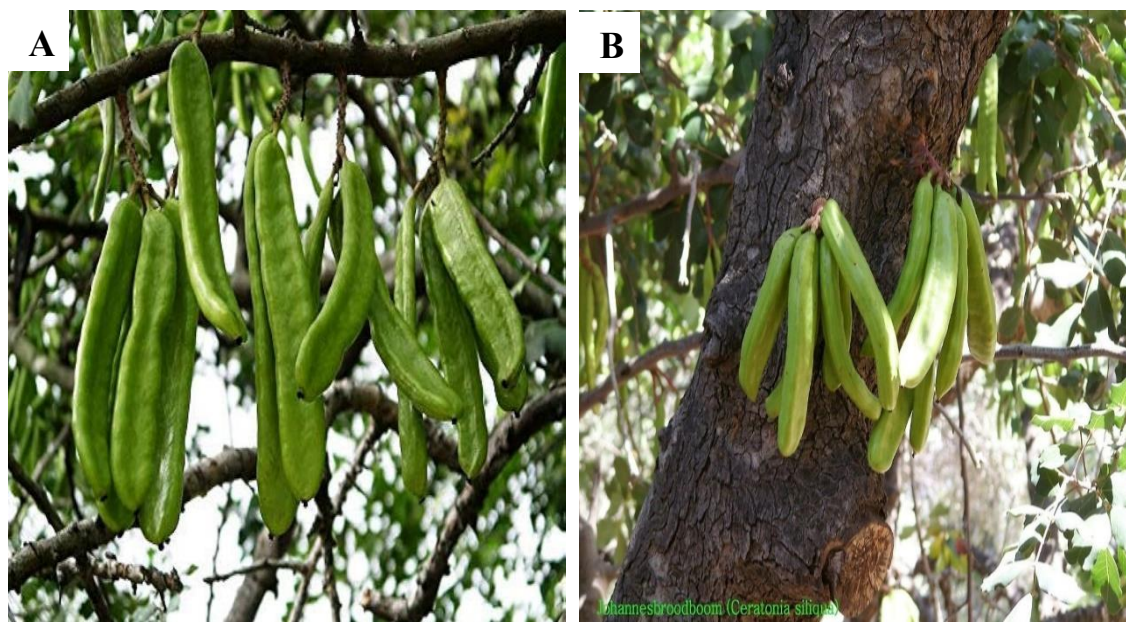
- La quantité de pollen produit,
- La période d'émission,
- L'attraction à l'égard des insectes,
- Les qualités génétiques.

Les floraisons femelles apparaissent à partir de juillet et est adaptée à une pollinisation aussi bien anémophile qu'entomophile. Dans les vergers, on rencontre trois modalités de pollinisateurs, à savoir 5 à 12 % d'arbres mâles disséminés, ou bien des branches mâles, provenant du porte greffe, qui ont été maintenues sur des pieds femelles, ou bien encore des greffes de branches mâles sur des pieds femelles. Les arbres hermaphrodites pourraient être envisagés en tant que pollinisateurs et producteurs (**Ait Chitt et al., 2007**).

Les fleurs femelles sécrètent des substances nectarifères dont la quantité et la teneur en sucre sont élevées par rapport à son homologue mâle. Néanmoins, les pieds mâles reçoivent un plus grand nombre de visiteurs (insectes) (Varnava *et al.*, 2023).

## V.2.Fructification

La fructification se produit essentiellement sur des rameaux secondaires, occasionnellement sur des rameaux principaux et rarement sur le tronc (Fig.11), entre juillet et décembre de l'année qui suit la floraison, selon les régions et les cultivars. Les inflorescences productives femelles et hermaphrodites possèdent respectivement une moyenne de 17 et 20 fleurs, mais peu d'entre elles produisent des gousses, et seule une faible proportion des inflorescences arrivent à produire plus de deux fruits. Selon Von Haselberg (1996), la variation dans l'intensité de la production des inflorescences et des gousses est plus liée à des facteurs endogènes qu'aux aléas climatiques. Toutefois, des conditions défavorables de l'environnement peuvent réduire de façon significative le rendement par la diminution de la nouaison (Kocherane *et al.*, 2021).



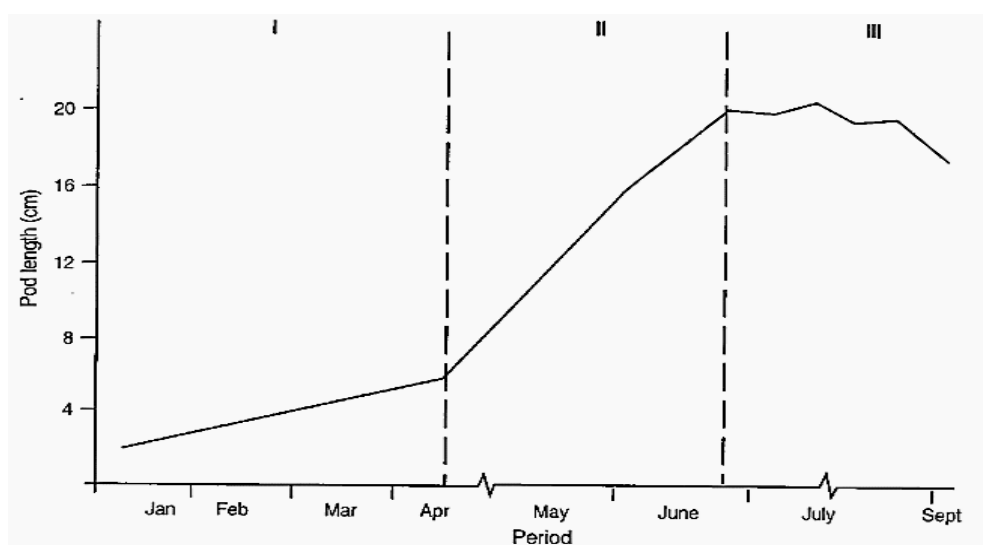
**Figure 11.** Fructification du caroubier : A) Sur des rameaux principaux, B) Sur le tronc .

(Site web 10 ; Site web 11).

La chute des fleurs et des jeunes fruits a lieu en octobre, elle diminue en janvier et février, et devient presque nulle entre juin et août. Ainsi, 60 à 90 % des gousses tombent durant le premier stade de croissance au printemps (Ait Chitt *et al.*, 2007).

La croissance de la caroube n'est pas rapide, elle met généralement entre 9 à 10 mois correspondant à trois stades de développement suivant une courbe de croissance. Ainsi ces stades sont bien distingués (**Benmahioul et al., 2011 ; Ouzounidou et al., 2012**) :

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



**Figure 12.**Stades de développement du fruit de caroubier (**Battle et Tous., 1997**).

Le caroubier est un arbre alternant. Cette alternance est contrôlée génétiquement, mais elle peut être accentuée par des facteurs climatiques et de stress ou des pratiques culturales inadéquates (**Ait Chitt et al., 2007**).

## VI. Ecologie du caroubier

Le caroubier appartient à l'écosystème "maquis du littoral méditerranéen" sur sols calcaires ; c'est une espèce thermophile, xérophile et héliophile. Il croît généralement dans les régions tempérées et subtropicales et tolère les zones côtières chaudes et humides, mais il est très sensible au froid d'hiver, de sorte qu'il peut vivre seulement à proximité des côtes avec des altitudes de moins de 500 m, bien que dans certaines zones sa culture occupe des terrains plus élevés mais toujours avec des expositions adéquates (**Dahmani et al., 2023**).

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. Les principales adaptations se font par les stomates qui sont situés sur une seule face, le nombre de stomates est assez élevé et ils sont de petite taille, le système racinaire est développé, un dépôt de cire important (**El Kahkahi et al., 2016**). Il s'adapte aussi à plusieurs types de sols tels que les sols pauvres, rocheux, sablonneux, limoneux lourds, argileux tout en préférant les terrains calcaires avec une texture équilibrée accompagnés toujours d'un bon drainage ; il ne supporte ni les sols acides, ni les sols hydromorphes (risque d'asphyxie et de putréfaction du système racinaire) et a tendance à affectionner les sols superficiels (**Gadoum , 2020**).

De par ses aptitudes d'adaptation aux stress du sol et du climat, le caroubier pourrait contribuer au développement des zones défavorisées actuellement appelées « zones d'ombres ». De plus, il est caractérisé par sa grande tolérance à la salinité avec une tolérance de 2 g/l de NaCl devant ainsi entre autres le palmier dattier, le pistachier et l'olivier. Il a été révélé dans une étude réalisée par Correia et al. (2010) que le caroubier peut tolérer et maintenir la majorité de ses processus physiologiques à une concentration de NaCl = 2,32 g/l (**Dahmani et al., 2023**).

Le caroubier avec *Pistacia lentiscus* L. et *Olea europaea* L. var. *sylvestris*, constituent une des associations les plus caractéristiques de la zone inférieure de la végétation méditerranéenne et pour autant elle est considérée comme une communauté climacique (Oleo Ceratonion) (**Tous et al., 2013**).

## **VII. Multiplication du caroubier**

Les modes de multiplication de caroubier peuvent être regroupés en deux catégories principales :

### **VII.1. La multiplication sexuée (semis)**

C'est une méthode classique la plus utilisée pour la multiplication du caroubier. En effet la germination par semis est facilement réalisable, mais elle est entravée par certain nombre d'inconvénients, à savoir (**El Kahkahi et al., 2016 ; Kocheraneet et al., 2021**) :

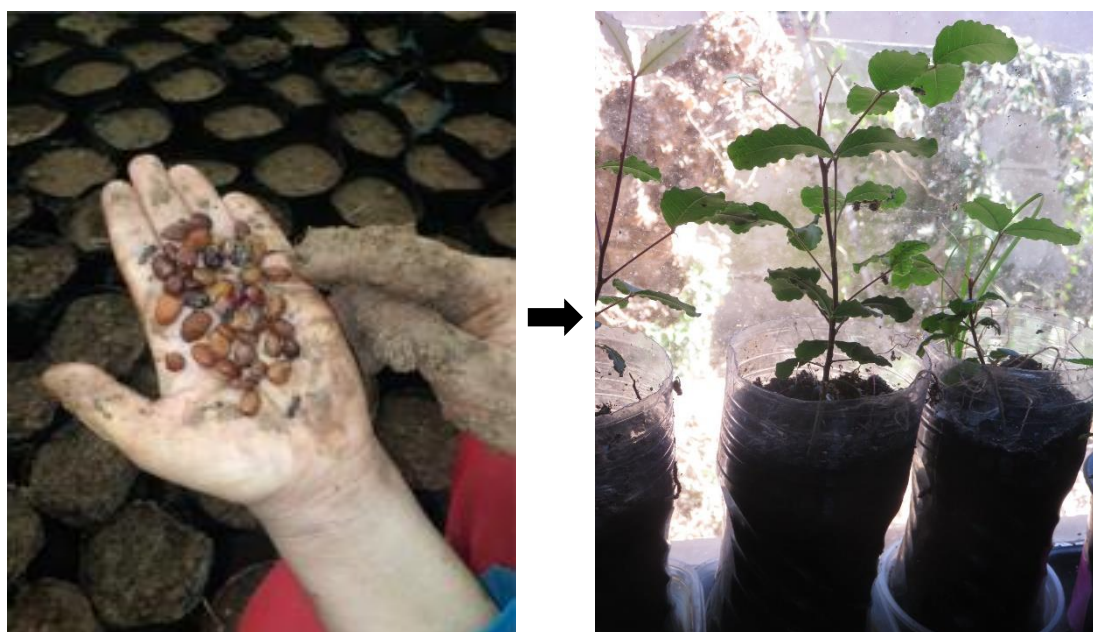
- Le caroubier est une espèce dioïque, et par conséquent le semis donne des plants avec un ratio de 50% de femelles et 50% des mâles improductifs.

- La non-conformité génétique liée à hétérozygotie de l'espèce, et donc une grande hétérogénéité de la descendance.
- L'entrée en production très tardive, qui peut prendre plus de 8 ans pour produire des gousses.

Généralement, la graine du caroubier ne souffre pas de dormance physiologique (due à des inhibiteurs biochimiques) ou morphologique (embryon immature), mais plutôt de dormance physique causée par la résistance de son enveloppe qui empêche l'absorption de l'eau favorisant ainsi sa conservation qui peut dépasser 5 ans. Pour contourner la dormance tégumentaire, améliorer et rentabiliser la germination des graines dans un temps réduit, plusieurs techniques de prétraitement de graines du caroubier ont été adoptées dont (El Khorchani *et al.*, 2023) :

- Prétraitement par scarification des graines : cette méthode consiste à un traitement physique qui vise le ramollissement des téguments. Cette technique est pratique surtout quand il s'agit de petite quantité de graines.
- Trempage des graines dans l'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ) : la durée d'application est déterminante pour éviter l'éventuelle lésion de l'embryon. Des tests de germinations ont montré que la durée optimale de traitement est de 30mn.

La plupart des semis sont effectués entre les mois de février et de mai. Sous serre, il est possible de faire également des semis en automne.



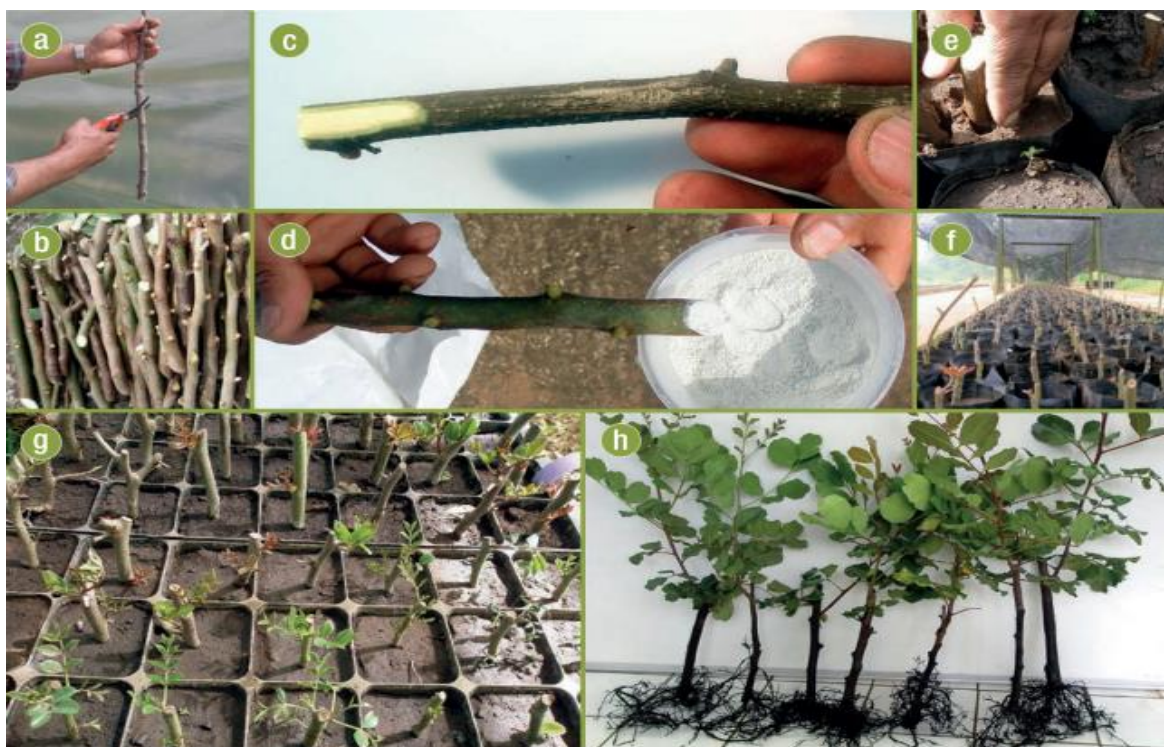
**Figure 13.** Germination des graines de caroubier dans le sol (Site web 12).

## VII.2. La propagation végétative

### VII.2.1. Par bouturage

Le bouturage est moins utilisé que le semis, car il demande des soins très minutieux et une température édaphique élevée. Il consiste à prélever des portions de rameaux dans des conditions précises, leur permettant de former un bourrelet cicatriciel et de pouvoir émettre des racines (El Kahkahi *et al.*, 2016).

Cette technique est possible mais limitée dans la pratique car le caroubier est considéré comme une espèce ligneuse très difficile à enraciner et à bouturer. Ses potentiels d'enracinement adventif sont jugés très faibles (El Khorchani *et al.*, 2023). Selon Sbay et lamhamedi (2015), les principales étapes de bouturage ligneux chez le caroubier sont illustrées dans la (Fig. 14).



**Figure 14.** Principales étapes du bouturage ligneux de caroubier (Sbay et Lamhamedi., 2015).

**a.** Coupe de bouture à partir de rameaux feuillus ; **b.** Boutures sélectionnées ; **c.** Coupe pour mettre à nu les tissus internes ; **d.** Trempage de la base de la bouture dans une poudre d'hormone de croissance (AIB) ; **e.** Repiquage des boutures dans le substrat d'enracinement ; **f.** Boutures sous ombre ; **g.** Initiation des feuilles chez les boutures après deux semaines d'enracinement ; **h.** Boutures ligneuses enracinées.

## VII.2.2. Par greffage

La propagation par greffage est une technique efficace et dominée, qui consiste à greffer les pieds mâles par les pieds femelles. En effet il s'agit de transférer les bourgeons prélevés sur les pieds femelles et de les greffer sur les pieds mâles (El Kahkahi *et al.*, 2016). Cette approche permet (Mahdad et Gaouar., 2016) :

- La préservation de la conformité du plant produit par rapport au plant mère sélectionné pour ses caractéristiques de production et de qualité ;
- La conservation des avantages offerts par le plant issus de semis (racines profondes, rusticités, résistances aux maladies) en l'utilisant comme porte greffe.

Ait Chitt et al (2007), ont suggéré d'utiliser la greffe en fente apicale par rapport à l'écusson, qui présente les avantages suivants (Mahdad et Gaouar., 2016) :

- Il permet de greffer sur des francs très jeunes (9- 10 mois) par rapport au greffage en écusson qui demande un diamètre de porte greffe plus grand (donc une durée d'élevage plus longue).
- Il permet d'avoir une bonne soudure greffon - porte greffe.



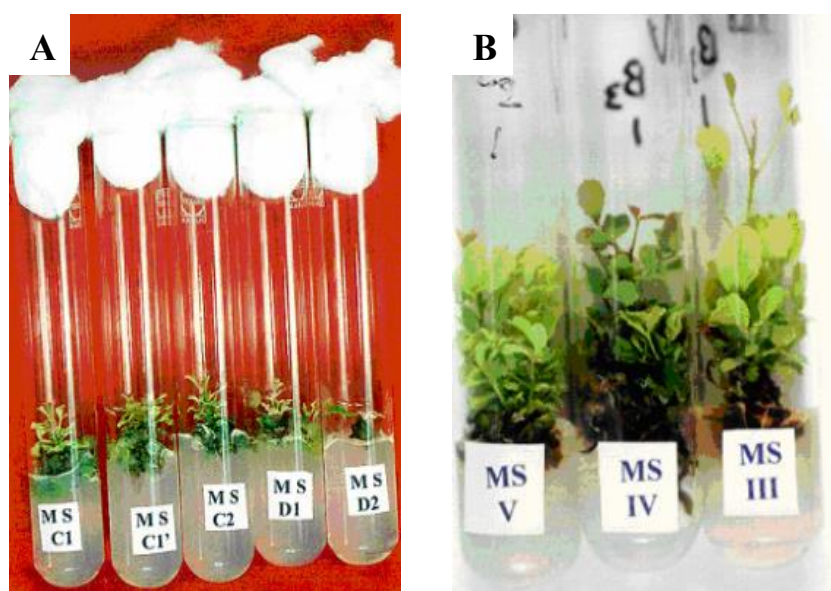
**Figure 15.** Principales étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier (Sbay et Lamhamedi., 2015).

a. Rameau effeuillé, b. Coupe de greffon ; c. Coupe d'une entaille en oblique sur 2 à 3 cm de longueur, d. Coupe d'une deuxième entaille pour former un double biseau, e-f. Décapitation du porte greffe ;g. ouverture d'une fente diamétrale de 3 à 5 cm de profondeur, h. insertion d'un greffon dans la fente du porte greffe ;i. Ligature à l'aide du para filme ; j. Etiquetage et mise en condition de confinement ; k-l. Éclosion des bourgeons sur le greffon ; m. Plant greffé âgé d'un an ; n. Plants greffés enserre.

### VII.2.3. Par culture in vitro

Les techniques de culture in vitro ou « micropropagation » consistent à placer un fragment de plante dans un milieu nutritif en conditions plus ou moins aseptiques et à multiplier ainsi la plante-mère en un an en plusieurs millions d'exemplaires et cela à l'infini. Elles permettent également de reconstituer des clones indemnes de maladies (fongiques, bactériennes, virales...) à partir de pieds mères malades (Saby, 2008).

La régénération du caroubier par culture in vitro est possible et de nombreux résultats encourageants ont été obtenus, portant principalement sur la micro propagation par bourgeonnement axillaire. Une des limitations de l'application de cette méthode, hormis les problèmes techniques, est sans doute le coût du plant produit, qui est souvent nettement supérieur à celui obtenu par les techniques classiques de multiplication (El Khorchani *et al.*, 2023).



**Figure 16.** Micro-propagation de caroubie via culture d'apex in vitro (A et B) (Konaté, 2007).

### VIII. Variétés de la caroube en Algérie

Les études des variations morphologiques de la caroube (longueur des gousses, largeur, épaisseur, nombre de graines, poids, etc.) et sa composition chimique (humidité, sucre total, teneur en fibres brutes et teneur en cendres) de **Boublenza *et al.*(2019)**, dans dix régions différentes situées dans le nord de l'Algérie ont permis de caractériser les variétés les plus intéressantes pour les industries agroalimentaires. L'analyse statistique et l'analyse en composantes principales (ACP) ont été utilisés pour regrouper les différentes variétés en trois groupes ; le premier groupe est pour les espèces de Tlemcen, Relizane et Sidi bel Abbes, la seconde comprend ceux de Tipaza et Ain Temouchent, et la troisième ceux de Boumerdes et Blida. Les variétés de Mostaganem, Chlef et Bejaia ne sont pas regroupées.

Les deux variétés de Mostaganem et Bejaia produisent un rendement élevé de graines qui sont utilisées pour produire de la gomme de caroube et de la farine de germe de caroube riche en protéines. Par contraire les gousses des caroubiers de Chlef et de Tlemcen ont une pulpe charnue et sont plus riches en sucres ; elles peuvent être valorisées et utilisées pour la production de poudre de caroube. De plus la plantation de ces variétés de caroube, dont les industries agroalimentaires ont grand besoin, peut constituer une ressource économique importante pour la population rurale.



**Figure 17.** Fruits et graines de dix variétés de caroubiers d'Algérie (**Boublenza *et al.*, 2019**).

### IX. Composition chimique du fruit :

Le fruit de la caroube est un mélange complexe de métabolites primaires et secondaires avec la présence de sucres et de fibres étant caractéristiques de ces fruits, suivis d'une grande diversité de polyphénols, de nombreux minéraux et acides aminés peuvent être également présents (**Goulas *et al.*, 2016**) .

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 (**Christou *et al.*, 2021**). D'après **Nasar-Abbas *et al.* (2016)**, la composition chimique de la pulpe de caroube varie selon les facteurs génétiques, environnementaux, climatiques et la période de récolte ainsi que le type de plante (mâle, femelle ou hermaphrodite).

Les gousses de caroube contiennent de grandes quantités de glucides (40–60%), de composés polyphénoliques, en particulier des tanins (18–20%), de fibres alimentaires (27–50%), de minéraux (potassium, sodium, fer, cuivre, manganèse et zinc) et de faibles quantités de protéines (3–4%) et de lipides (0,4–0,8%). Ce fruit est surtout connu pour sa richesse en sucres essentiellement composés de saccharose (32–38%), de fructose (5–7%) et de glucose (5–6%), mais leurs proportions relatives sont variables. Il existe de nombreuses données sur les méthodes de chromatographie effectuées par HPLC pour déterminer les polyphénols dans les gousses de caroube qui ont révélé la présence de tanins condensés (proanthocyanidines), composées de groupes flavan-3-ol et de leurs esters galloyliques, acide gallique, catéchine, épicatechingallate, , glycosides de quercétine et également la présence de tanins hydrolysables (gallotannins et ellagitannins) (**El Kahkahi *et al.*, 2022**).

**Tableau 2.**Composition chimique de la gousse de caroube.

Composants	%
Glucose	5 à 6
Fructose	5 à 7
Saccharose	32 à 38
Protéines	3 à 4
Lipides	0.4 à 0.8
Fibres alimentaires	27 à 50

<b>Tanins</b>	18 à 20
<b>Pectine</b>	0.5 à 2

## X. Valorisation des sous-produits de la caroube :

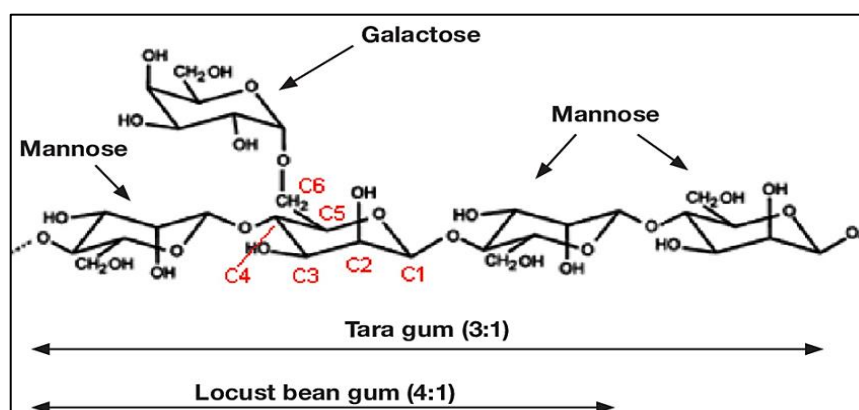
La gousse de caroube, fruit du caroubier, se compose d'une cosse appelée « pulpe de caroube » enveloppant des graines. On tire de caroube deux produits très différents utilisés abondamment en alimentation humaine comme en alimentation animale : la farine de pulpe de caroube, et la gomme extrait à partir des graines de caroube.

### X.1. La pulpe (substitut de chocolat)

La poudre de caroube est un édulcorant naturel, souvent utilisé comme substitut de cacao en raison de sa saveur et son apparence semblable au chocolat (Akdeniz *et al.*, 2021). L'avantage d'utiliser la caroube réside dans le fait que contrairement au chocolat, il ne contient pas de stimulants ni caféine ni théobromine (Higazy *et al.*, 2018).

### X.2. Les graines

La gomme de caroube (LBG) est un mucus hydrosoluble inclus dans l'endosperme, formée d'une fraction principale de 80 à 85% de galactomannane répartie en 16 à 20 % de D-galactose et de 80 à 84 % de D-mannose (Papaefstathiou *et al.*, 2018).



**Figure 18.** Structure des galactomannanes de la gomme de caroube et de la gomme tara (Gillet *et al.*, 2014).

Les galactomannanes de caroube a retrouvé par la suite ses lettres de noblesse et est à l'heure actuelle et grâce à sa capacité d'autoassociation, un additif alimentaire (E410) utilisé industriellement pour ses propriétés texturants (épaississantes et viscosifiantes) et

stabilisantes. Elle entre notamment dans la composition des crèmes glacées, des soupes, des friandises, des aliments pour bébés, des produits laitiers, des boissons alcoolisées et non-alcoolisées, des aliments pour bétail, etc (Gillet et al., 2018).

Les produits dérivés de caroube et leurs bienfaits sont présentés dans le Tableau 3 (Zhu et al., 2019 ; Rodríguez-Solana et al., 2021 ; Laaraj et al., 2023 ; Tzatzani et Ouzounidou., 2023 ).

**Tableau 3.** Les produits alimentaires élaborés à partir du fruit du caroubier.

Les produits	Fraction de fruit utilisée	Bienfaits pour la santé
<b>Thé de caroube</b>	Graines	Étant riche en phosphore et en calcium, donc bénéfique <i>pour les os</i>
<b>Mélasse de caroube</b>	Gousses et graines	Sans gluten, c'est un traitement efficace pour la maladie cœliaque
<b>Poudre de caroube</b>	Graines	Substitut de cacao(ni caféine, ni théobromine) et améliore la digestion
<b>Crème et pâte à tartiner de caroube</b>	Pulpe	Antioxydant
<b>Barres-collations à la caroube</b>	Fruit	Utile en cas de diarrhée
<b>Produits de boulangerie</b>	Graines, gousses, pulpe	Nutritionnel
<b>Un additif alimentaire dans les produits à base de viande</b>	Gousses, graines et pulpe	Effets anti- hyperglycémiques et anti - obésité
<b>Compléments alimentaires</b>	Graines et gousses	Riche en micronutriments
<b>La gomme de caroube(E 410)</b>	Graines	La protection des aliments pour réduire les rayures et les dommages afin de garantir l'intégrité des fruits, légumes et produits carnés frais

**XI. Activités biologiques des fruits de *Ceratonia siliqua* L.**

Récemment, il a été signalé que le caroubier a des activités biologiques multiples, en particulier dans le tube digestif, y compris des actions antioxydante, antidiarrhéique, antibactérienne, anti-ulcère, anticancéreuse, anti-carcinogénique, anti-mutagenique et anti-inflammatoire (El Kahkahi *et al.*, 2022).

**XI.1. Activité antioxydante**

La forte activité antioxydante de *C. siliqua* est largement attribuée à la teneur élevée en composés polyphénoliques présents dans les extraits de caroube. À l'aide des méthodes de DPPH et ABTS, diverses études *in vitro* ont montré que les extraits de caroubier ont un puissant effet antioxydant. L'activité antioxydante de cet arbre est due à son fort effet de piégeage de l'oxygène réactif et des radicaux libres, ainsi qu'à l'inhibition de l'activité de la myéloperoxydase (MPO) en fonction de la concentration. Le blocage de l'activité de la MPO par les extraits de caroube a donc la capacité de réduire la production d'acide hypochloreux (HClO) à partir de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Rtibi *et al.*, 2017 ; Dahmani *et al.*, 2023).

L'étude de la capacité de caroube à inhiber la phosphorylation du p47phox-Ser-328, a montré que cette dernière a été modifiée par les extraits de caroube à différentes doses, qui induisent une modulation de l'activité de la NADPH- oxydase et réduisent la surproduction d'anions superoxydes. En plus, l'extrait aqueux de caroube protège les cellules contre les perturbations provoquées par la peroxydation des lipides causée par le sulfate de dextran sodique (DSS) (5%) et l'éthanol (80%). Le piégeage des radicaux libres est l'un des principaux mécanismes antioxydants pour inhiber la réaction en chaîne de la peroxydation des lipides et pour réduire l'effet délétère de la cytotoxicité. En outre, l'effet bénéfique de l'extrait de caroube sur la superoxyde dismutase (SOD) et les activités de catalase ont déjà été signalés dans un modèle de rat qui peut améliorer leurs performances et leur capacité à éliminer les ROS. Cependant, l'extrait aqueux de gousses de caroube n'a pas modifié de manière significative l'action du glutathion peroxydase (GPx) chez les rats traités au DSS (Rtibi *et al.*, 2017).

Un intérêt scientifique accru a été exprimé dans les propriétés antioxydantes des extraits phénoliques de caroube dans l'oxydation des lipides. *In vitro*, les extraits de caroube présentent une puissance antioxydante élevée, tandis qu'*in vivo*, les extraits ont diminué de manière significative la peroxydation lipidique cérébrale et myocardique, ainsi que les niveaux de peroxyde d'hydrogène dans les reins, le foie et le cerveau. En outre, l'activité

antioxydante des extraits de polyphénol de caroube dans la peroxydation lipidique a été évaluée dans les produits alimentaires. Il a été constaté que les extraits diminuaient l'oxydation thermique de l'huile de tournesol chauffée, exerçaient une activité antioxydante plus élevée que l' $\alpha$ -tocophérol et prolongeaient considérablement la durée de vie de l'huile de fleur de soleil en inhibant la formation de composés indésirables. De plus, les extraits ont réduit l'altération des graisses dans la viande de porc cuite à des températures réfrigérées et congelées. Ainsi, les extraits polyphénoliques de caroube peuvent être utilisés comme antioxydants naturels dans les produits alimentaires, en remplacement des additifs synthétiques tels que l'hydroxyanisole butylé et l'hydroxytoluène butylé (**Loullis et Pinakoulaki, 2018**).

### **XI.2. Activité anticancéreuse**

Le cancer colorectal est l'un des cancers les plus courants dans la société occidentale. Des études épidémiologiques et expérimentales ont montré que le cancer colorectal peut être supprimé en régulant le régime alimentaire dans le mécanisme consiste à réduire le stress oxydatif en piégeant les radicaux libres ou en chélatant l'activité redox (**Ikram et al., 2023**).

L'extrait de fibres de caroube s'est avéré avoir des effets protecteurs contre le stress oxydatif dans les cellules d'adénome qui pourraient défendre ou ralentir le processus cancérigène dans le cancer colorectal. Les fibres de caroube composées de polyphénols inhibent fortement la prolifération (en raison d'une inhibition de la synthèse de l'ADN) des deux adénomes et cellules d'adénocarcinome du côlon humain. Des extraits aqueux des gousses de caroube ont montré une altération marquée de la prolifération des cellules cancéreuses hépatocellulaires de souris via une apoptose induite dans les cellules. Cela a démontré que les gousses de caroube contiennent des agents antiprolifératifs qui pourraient être d'une importance pratique dans le développement d'aliments fonctionnels et/ou de médicaments chimio-préventifs. Des études ont révélé qu'un extrait de germe de caroube a une activité antioxydante considérable et réduit la viabilité des cellules du cancer du col de l'utérus (HeLa) (**Nasar- Abbes et al., 2016**).

### **XI.3. Activité antibactérienne**

L'activité antibactérienne de l'extrait méthanolique des fruits de *C. siliqua* a été testée et comparée à un extrait méthanolique de *Plantago major*. L'extrait de caroube a montré une activité plus élevée contre la plupart des bactéries, y compris *Enterococcus* spp.

Les extraits aqueux et méthanoliques ont été évalués pour leurs activités antibactériennes individuellement et en combinaison avec d'autres agents antibactériens, tels que l'ampicilline, la gentamicine, l'amikacine et la clindamycine. La combinaison de l'extrait et de l'agent antibactérien s'est avérée plus efficace que chacun utilisé séparément. Les extraits ont été analysés, et plusieurs composés démontrant une activité antibactérienne ont été identifiés et caractérisés. Les extraits d'éthanol et d'acétone ont été testés pour l'activité antibactérienne contre *Pectobacterium atrosepticum* dans la pourriture molle de la pomme de terre, et l'extrait d'acétone a montré une plus grande activité que l'extrait de méthanol (Dahmani et al., 2023).

Les études biologiques ont montré les capacités bactéricides de la pulpe de caroube vis-à-vis *Escherichia coli* et *staphylococcus aureus* ; la caroube adsorberait aussi les entérotoxines produites par certaines souches d'*Escherichia coli* et de *staphylocoques* ainsi que par le *vibron cholerae*, ce mécanisme d'adsorption pourrait être expliqué par la présence des tanins dans la partie insoluble et active de la caroube. En plus de son pouvoir nématocide démontré par les travaux d'El Allagui et al, (2007) qui est dû à sa teneur en composés phénoliques, selon une étude récente, la caroube est aussi une source bon marché d'hydrates de carbone pour la production de bioéthanol (El Kahkahi et al., 2022).

Ben hsouna et al., (2012) ont testé l'effet antimicrobien des extraits méthanoliques de polyphénols des gousses de caroube par rapport à l'antibiotique de référence (gentamicine) sur 13 bactéries pathogènes tels que : *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 et *Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031. Ces auteurs indiquent que toutes les bactéries testées se sont révélées plus sensibles aux actions inhibitrices de l'extrait que l'antibiotique gentamicine. Ils constaté aussi que les souches les plus sensibles étaient *Staphylococcus aureus* ATCC 6536, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Micrococcus luteus* ATCC 1880 et *Staphylococcus epidermis* ATCC 12228 avec des zones d'inhibitions respectives de 22 mm, 20 mm, 19 mm et 17 mm.

D'autre étude entrepris par Benguiar et son équipe en 2015 indique que l'extrait de gousses de caroube a une capacité de ralentir la prolifération de deux candidats probiotiques : *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus rhamnosus*.

#### XI.4 Activité antidiabétique :

La caroube est un aliment à faible indice glycémique car elle est très riche en fibres alimentaires. Sa teneur élevée en fibres en fait un aliment à digestion lente qui entraîne une baisse de la glycémie et contribue à la protection contre le diabète et l'hyperlipidémie.

En outre, les travaux de Banuls et al (2016) se sont concentrés sur quarante sujets euglycémiques qui ont montré l'effet positif de la consommation chronique d'un extrait de caroube enrichi en inositols sur la sensibilité à l'insuline et les taux de glucose postprandiaux. De plus, leurs données suggèrent que l'amélioration de la sensibilité à l'insuline est due à une augmentation de la taille des particules de LDL (lipoprotéines de basse densité). Ces résultats confirment l'efficacité de cette intervention alimentaire pour éviter l'hyperglycémie et d'autres affections causées par la résistance à l'insuline et réduire le risque de maladie cardiovasculaire. L'administration d'extrait brut de polyphénols des gousses de caroube à des rats mâles a montré une réduction significative de la glycémie après 30, 60 et 120 min par rapport au groupe témoin. Les expériences animales et les essais cliniques humains ont montré des effets antidiabétiques significatifs de l'inositol (Boublenza *et al.*, 2019).

#### XI.5. Activité antidiarrhéique

Le fruit du caroubier contient des tanins et des composés phénoliques qui assurent la santé du tractus gastro-intestinal. Ils sont responsables de ses propriétés anti-diarrhéiques en régulant le contrôle de l'eau à l'intérieur de la cellule. Au lieu de cela, ils ont un effet desséchant sur le tube digestif qui aide à lutter contre les toxines et à prévenir la croissance de bactéries nocives dans les intestins. Les sucres naturels de la caroube soutiennent également l'épaississement des selles molles.

Des études antérieures ont également révélé que l'administration d'une solution de caroube à 2 % permet de prévenir l'agglutination hématologique et l'adhérence d'*Escherichia coli* aux cellules intestinales, ce qui est efficace contre la diarrhée. Asgari et al (2012), ont exploré l'efficacité de la caroube contre la solution de réhydratation orale (SRO) pour traiter la diarrhée aiguë qui est l'une des principales causes de décès et de morbidité chez les enfants et les adultes. Des études ont révélé que les préparations de caroubes présentaient des propriétés anti diarrhéiques importantes en agissant comme détoxifiant et constipateur, ainsi qu'une bonne source de calories. Une teneur élevée en pectine et en fibres alimentaires dans la caroube agit comme un prébiotique qui nourrit le microbiote intestinal et apaise donc la voie intestinale (Basharat *et al.*, 2023).

**XI.6. Activité anti-reflux**

**Georgieva et ses collaborateurs(2016)**, ont examiné l'effet des formules épaissies de gomme de caroube (LBG) sur les indices de reflux et de tolérance chez cinquante-six nourrissons (âgés de 1 à 6 mois) atteints de reflux gastro-œsophagien (RGE). Les sujets admissibles ont été répartis au hasard pour recevoir une formule contenant respectivement 0,33 g/100 ml (formule A) ou 0,45 g/100 ml (formule B) de galactomannanes de gomme de caroube soluble à froid, ou une formule contenant 0,45 g/100 ml de galactomannanes de gomme de caroube soluble à chaud (formule C) pendant deux semaines. Les résultats ont montré que la formule (A) était efficace pour réduire certains indices de surveillance du PH du reflux gastro-œsophagien non compliqué, augmentait le poids corporel et était bien tolérée par les nourrissons.

**XI.7. Activité anti-inflammatoire et antiulcéreux**

Les maladies inflammatoires de l'intestin (MICI) sont courantes et font référence à un groupe d'affections caractérisées par une inflammation de l'intestin. L'ulcère gastrique est la conséquence d'un déséquilibre entre l'effet protecteur de nombreux facteurs tels que la barrière muqueuse, la sécrétion de mucus et la régénération cellulaire et les agresseurs de la muqueuse comme la sécrétion d'acide pepsine, liée au mécanisme de la digestion et d'autres agents, tels que la consommation d'alcool, le traitement chronique d'anti-inflammatoires non stéroïdiens, le stress et l'infection provoquée par *Helicobacter pylori*.

Le développement d'inflammation de la muqueuse intestinale peut altérer l'appétit et provoquer une perte de nutriments entériques, entraînant une malnutrition, les patients peuvent avoir un besoin d'un soutien nutritionnel. Dans ce contexte, une étude a montré que tous les paramètres indiquant la présence d'une inflammation induite par le dextran sulfate de sodium (5%) tels que l'indicateur principal myeloperoxydase (MPO) et les cytokines (TNF- $\alpha$  et IL-1 $\beta$ ) étaient inhibés par l'extrait aqueux des gousses de caroube, ce qui suggérant que la caroube peut avoir un effet anti-inflammatoire puissant sur le tissu colique enflammé et le plasma chez le rat (**Rtibi *et al.*, 2017**).

**XI.8. Activité anti-hyper-lipidémie**

Les taux élevés des lipides ou des lipoprotéines dans le sang peuvent provoquer une athérosclérose et, plus tard, des maladies vasculaires et cardiaques. Les effets des constituants de la caroube dans l'hyperlipidémie ont été largement étudiés *in vivo* et *in vitro*.

Il a été démontré que le LBG réduit le cholestérol ainsi que le taux de lipides chez le rat. Cependant, dans une étude plus récente, le LBG n'a eu aucun impact significatif sur le taux de cholestérol et de triglycérol des rats diabétiques. La poudre de caroube a été appliquée à des rats Sprague–Dawley avec un apport hyperlipidémique en cholestérol dose-dépendant ainsi qu'en triglycérides. Les résultats indiquent également que dans la poudre de caroube ingérée, l'état histopathologique du cœur, ainsi que du rein de l'animal, tandis que les rats qui ont adopté le régime hyperlipidémique présentaient des troubles extrêmes. La poudre de caroube peut être un choix possible pour un régime en surpoids ou obèse. Valero-Munoz et al(2014), ont constaté que les fibres de gousse de caroube ont bloqué les événements physiologiques contribuant à l'athérosclérose chez les lapins atteints de dyslipidémie. La fonction de SIRT1 et PGC-1 $\alpha$ , des protéines qui jouent un rôle clé dans les processus vasculaires ainsi que métaboliques (**Ikram et al., 2023**).

## **XII. Étude toxicologique des fruits de caroube**

Gulay et coll (2012), ont étudié les propriétés toxicologiques de *C. siliqua* sur des lapins blancs mâles de Nouvelle-Zélande. Dans ce contexte, dans le groupe de traitement, les lapins ont reçu 10 cc de cures de caroube en faisant bouillir le fruit de la caroube. Aucun signe toxicologique ou décès lié à l'extrait de caroube n'a été observé tout au long des 7 semaines d'expérience. Il n'y a eu aucun changement significatif dans les paramètres hématologiques et physiologiques et les aspects histologiques des organes tels que le foie, les reins, les poumons, le cerveau et le cœur dans cette étude. Donc, l'utilisation de la caroube chez les animaux n'a causé aucun effet toxicologique et peut être utilisée pour la consommation humaine (**Rtibi et al., 2017**).

# *Étude expérimentale*

# **Partie I : Matériel et méthodes**

## Objectif de travail

Cette étude cherche essentiellement à évaluer la qualité biologique d'extrait de fruits de la caroube. L'objectif est de mettre en évidence l'effet de l'extrait et en particulier son activité antioxydante et antibactérienne, ainsi que ses paramètres physicochimiques. Les manipulations ont été effectuées au niveau du laboratoire de biologie de l'université Abbes Laghrour - Khenchela- au cours du mois mars 2024.

## I. Extraction des fruits de caroube

### I.1. Matériels

#### I.1.1. Matériel biologique

##### I.1.1.1. Matériel végétale

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est composé des fruits de caroube provenant de l'espèce *Ceratonia siliqua* L, récoltées au mois de septembre 2023 dans la commune de Bouhmama, située au Nord- Ouest de la wilaya de Khenchela, en Algérie. Les coordonnées géographiques de cette commune sont 6.7467229 de latitude et 35.3202828 de longitude.



**Figure 19.** Carte géographique de la provenance du matériel végétal.

La récolte de la plante a été effectuée très soigneusement de manière à ne pas détériorer les éléments organiques et minéraux présents. Après la récolte, les fruits ont été nettoyés, lavés avec de l'eau du robinet, afin de se débarrasser de toute poussière et matières

étrangères comme le sable, le sol et d'autres. Puis, séchés à l'abri du soleil pendant une durée d'environ 21 jours.

Enfin, les fruits ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine qui a été servi pour la préparation d'extrait, afin de les utilisés dans l'étude phytochimique et biologiques.



**Figure 20.** La poudre de fruit de *Ceratonia siliqua* L.

#### **I.1.1.2. Souches bactériennes**

Afin de tester le potentiel antibactérien in vitro de l'EECL, quatre souches bactériennes ont été utilisées (**Tab.4**) :

**Tableau 4.** Souches bactériennes testées dans l'activité antibactériennes.

<b>Type des souches</b>	<b>Espèces</b>	<b>Références</b>
<b>Bactéries Gram négatif</b>	<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
<b>Bactéries Gram positif</b>	<i>Staphylococcus Aureus</i>	ATCC25923
	<i>Bacillus cereus</i>	ATCC 11778

**I.1.2. Appareillage et produits chimiques**

Pour réaliser cette étude, on a utilisé un ensemble d'équipements, de verreries, d'appareillages et de produits chimiques.

**Produits chimiques et réactifs :**

Acide sulfurique ;  
Acide gallique ;  
Anhydre acétique ;  
Carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ;  
Chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ) ;  
Chlorure d'hydrogène ( $\text{HCl}$ ) ;  
1.1-diphényl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) ;  
Eau distillée ;  
Ethanol ;  
Ether de pétrole ;  
Hydroxyde d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ;  
Hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ) ;  
Méthanol ;  
Réactif de Fehling ;  
Réactif de Folin Ciocalteu ;  
Réactif de Mayer et Wagner ;  
Trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ).

**Appareillage :**

Agitateur magnétique ;  
Autoclave ;  
Bain – Marie ;  
Balance ;  
Balance analytique avec chambre de pesé ;  
Etuve universelle de 5 à 220 avec ventilation ;  
Etuve bactériologique ;  
Plaque chauffante ;  
Réfrigérateur ;  
Rota vapeur ;  
Spectrophotométrie (**SHIMADZU : UV-1601**) ;  
Vortex.

**Verrerie :**

Béchers ;  
Eprouvettes ;  
Fiole à jaugée ;  
Lamelles ;  
Mortier ;  
Pissette ;  
Tubes à essai ;  
Verres de montres.

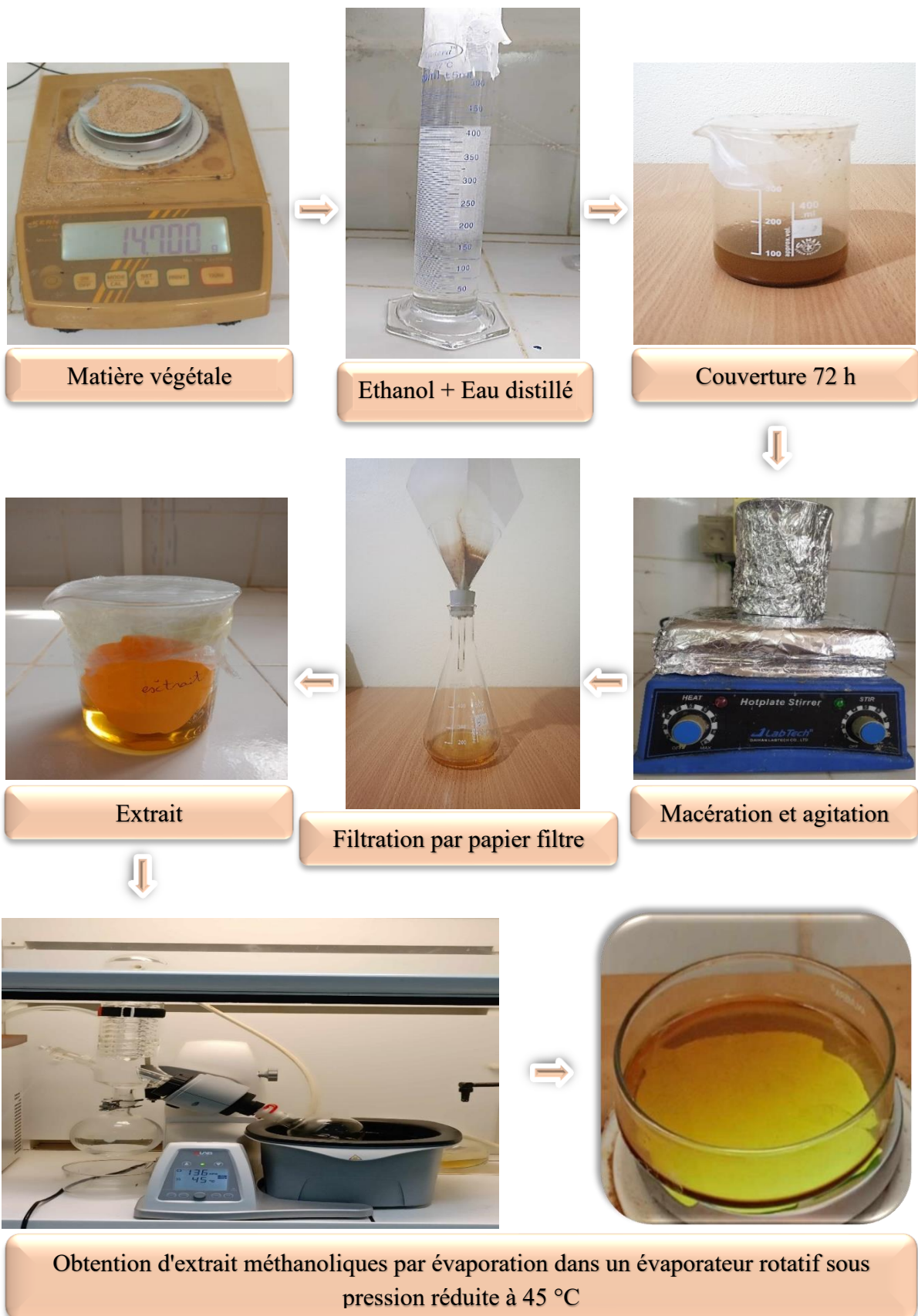
## **I.2. Méthodes**

### **I.2.1. Préparation de l'extrait éthanolique**

#### **I.2.1.1. Extraction solide-liquide**

Le broyat (14,6 g de poudre) a été mis à macérer dans un volume de 150 ml d'éthanol à 70%, pendant 72h, à l'air libre avec renouvellement du solvant chaque 24h.

Après filtration à l'aide d'un papier filtre et un entonnoir, le filtrat a été évaporé sous vide en utilisant un évaporateur rotatif, à une température de 45 °C, afin de concentrer l'extrait (**Photographie. 1**). L'extrait obtenu a été resuspendu dans 250 ml d'eau distillée.



**Photographie 1.** Les étapes de l'extraction solide – liquide de l'extrait éthanolique du caroube (Originale, 2024).

### I.2.1.2. Séparation liquide-liquide

L'extrait obtenu a subi l'élimination des graisses et de la chlorophylle par l'utilisation de l'éther de pétrole comme solvant, à l'aide d'une ampoule à décanter, la phase aqueuse a été mélangée avec la même quantité de l'éther de pétrole puis laisser séparer.

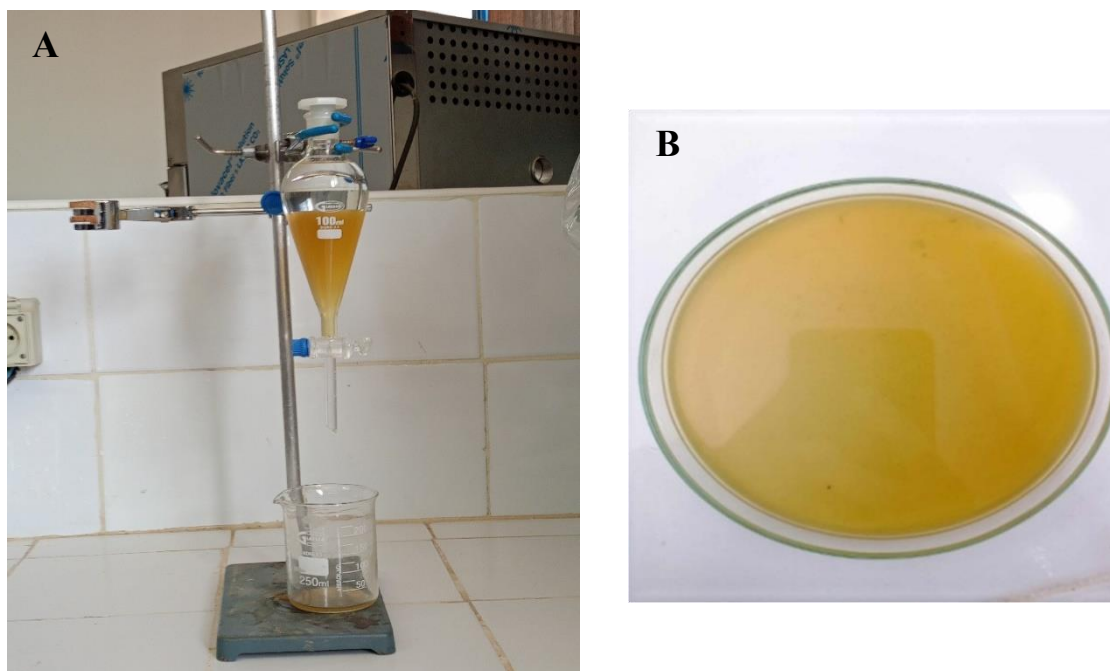
La phase aqueuse obtenue est récupérée dans une boîte de pétrie et séchée dans l'étuve à température 45°C, et stockée à température – 5°C jusqu'à son utilisation .

Le rendement d'extrait a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = m_1/m_0 \times 100$$

$m_1$  : Masse en gramme de la matière végétale initiale sèche (14,6 g).

$m_0$  : Masse en gramme de l'extrait brut évaporé.



**Photographie 2.** Extraction liquide-liquide de l'éther de pétrole à l'aide d'une ampoule à décanter : A) Décantation , B) : Extrait obtenu (Brute)) (Originale, 2024).

### I.2.2. Étude qualitative (Criblage phytochimique)

Les tests photochimiques consistent à détecter les différentes familles de métabolites secondaires existants dans la partie étudiée de la plante par des réactions qualitatives de caractérisation. Ces réactions sont basées sur des phénomènes de

précipitation ou de coloration par des réactifs spécifiques à chaque famille de composés (Hagerman *et al.*, 2000).

- **Test des composés phénolique :**

Nous avons ajouté 2 ml d'éthanol à 2 ml de l'extrait hydroéthanolique, L'ajout de quelques gouttes de FeCl<sub>3</sub> provoque l'apparition d'une coloration verdâtre qui indique la présence des phénols (Iqbalet *et al.*, 2011).

- **Test des flavonoïdes**

5 ml de l'extrait sont traités avec quelques gouttes d'AlCl<sub>3</sub> (1%). La présence des flavonoïdes est confirmée par l'apparition d'une couleur jaune (Deghdak et Zaiter.,2014).

- **Test des tanins**

Pour détecter la présence des tanins, nous avons ajouté à l'extrait hydroéthanolique quelques gouttes de FeCl<sub>3</sub>, (Chlorure ferrique) à 1%. La couleur vire au bleu noir en présence de tanins galliques et au bleu verdâtre en présence de tanins catéchiques (tanins condensés) (Diallo *et al.*, 2004).

- **Test des composés réducteurs**

Les sucres réducteurs ont été mis en évidence dans l'extrait hydroéthanolique par réactif de Fehling. Un volume de 5 ml d'extrait brut a été additionné à 5 ml de liqueur de Fehling. La formation d'un précipité rouge brique après 2-3 min de chauffage au bain-marie à 70°C indique une réaction positive (Yves-Alain *et al.*, 2007).

- **Test des saponines**

Leur présence est déterminée quantitativement par le test de la mousse. Les résidus ont été repris dans 5 ml d'eau distillée, puis introduits dans un tube à essai. Ce dernier a été agité vigoureusement. La formation d'une mousse (hauteur supérieure à 1cm) stable, persistant pendant 1h, indique la présence abondante de saponines (Yves-Alain *et al.*, 2007).

- **Test des alcaloïdes**

Les alcaloïdes sont mis en évidence par le réactif de Mayer . L'ajout de quelques gouttes de ce réactif à 2 ml de la solution d'extrait éther de pétrole entraîne la formation d'un précipité blanc ou blanc-jaune en présence d'alcaloïdes (Dohou *et al.*, 2003).

- **Test des quinones libres**

Nous avons ajouté quelques gouttes de NaOH 1/10 à l'extrait éthanolique. La présence de quinones libres est confirmée par un virage de la couleur des phases aqueuses au jaune, rouge ou violet (Najaa *et al.*, 2011).

- **Test des stérols ou triterpènes**

Ils ont été recherchés par la réaction de Liebermann. Le résidu est dissout à chaud dans 1 ml d'anhydride acétique ; nous avons ajouté 0,5 ml d'acide sulfurique concentré au triturât. L'apparition, à l'interphase, d'un anneau pourpre ou violet, virant au bleu puis au vert indique une réaction positive (Koffi *et al.*, 2009).

### I.2.3. Étude quantitative

#### I.2.3.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Boizot et Charpentier., 2006). Ce réactif est un acide de couleur jaune composé d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Il est réduit, au cours de l'oxydation des phénols, dans un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribereau, 1968). La coloration produite, dont l'absorption maximale est de 760 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols contenus dans les extraits végétaux (Ghazi et Sahraoui., 2005).

#### a. Mode opératoire

- **Préparation de la gamme étalon d'acide gallique**

Mettre 0,005 g d'acide gallique en poudre dans 100 ml de l'eau distillée. Une gamme d'étalonnage a été préparée à partir d'une solution mère d'acide gallique de différentes concentrations (3-50 µg/ml). Le dosage a été fait selon cette gamme (Tab. 5).

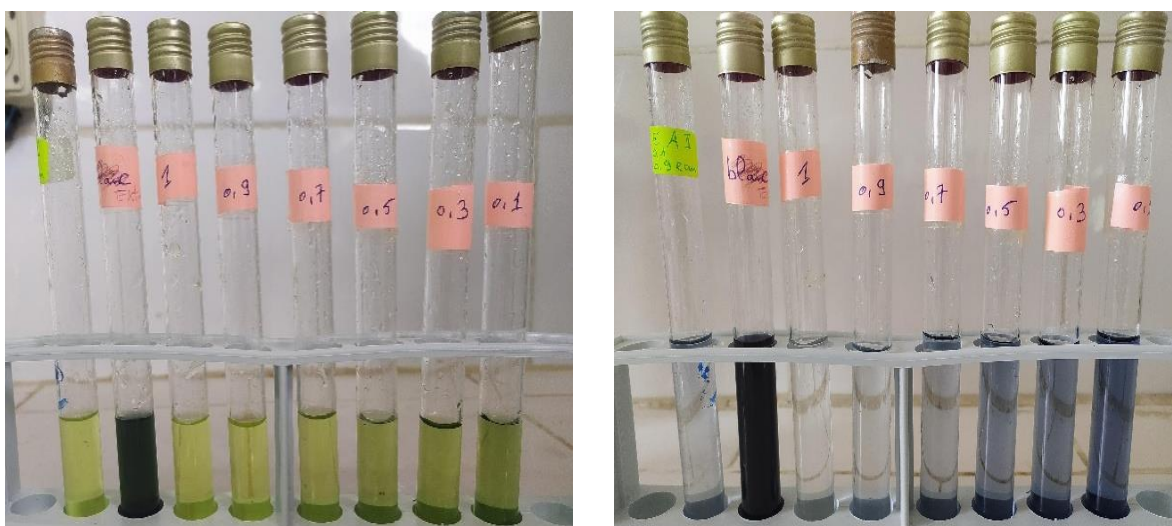
**Tableau 5.** La gamme étalonnage d'acide gallique.

Concentration (µg/ml)	3	15	25	35	45	50
Volume prélevé de la solution mère de l'acide gallique (ml)	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1
Volume d'eau distillée (ml)	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	0

- **Analyse du standard et des extraits**

Dans 6 tubes à essais (**Photographie.3**) :

- \_ Introduire 1ml de chaque solution de la gamme étalon préparée.
- \_ 5 ml du réactif Folin Ciocalteu (dilué 10 fois dans l'eau distillée).
- \_ Après 10 min.
- \_ 4 ml Carbonates de Sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) à 20%.
- \_ Incubation de 30 min à une température ambiante dans l'obscurité.
- \_ L'absorbance de chaque solution a été déterminée à 760 nm avec un spectrophotomètre UV-Visible (UV 1601, SHIMADZU).
- \_ Même méthode avec 1 ml de chaque extrait.
- \_ Le blanc est préparé de la même façon mais l'acide gallique est remplacé par l'eau distillée.



**Photographie 3.** Dosage de polyphénols totaux (**Originale, 2024**).

**b. Expression des résultats**

La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique à différentes concentrations et exprimée en microgramme d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait ( $\mu\text{g}$  EAG/mg E).

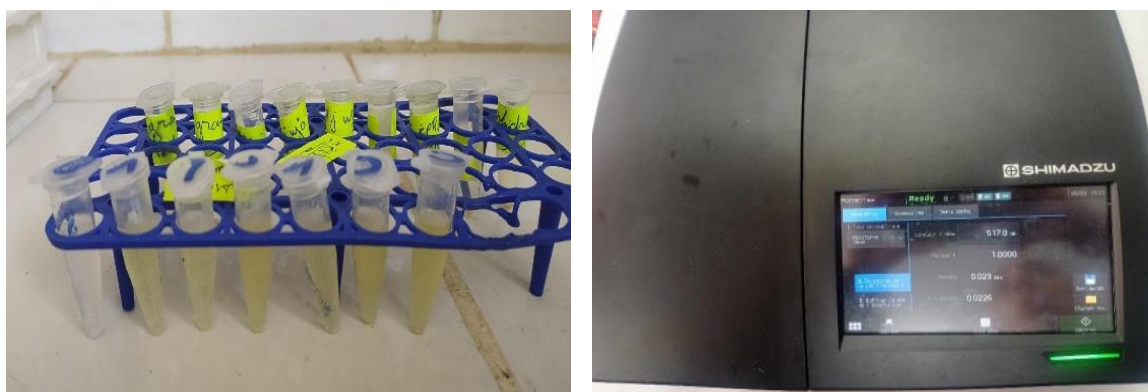
### I.2.3.2. Dosage des flavonoïdes

La quantification des a été effect flavonoïdes a été évaluée par la méthode de (Quettier-Deleu *et al.*, 2000) en utilisant le trichlorure d'aluminium. L' $\text{AlCl}_3$  forme un complexe jaune avec les flavonoïdes, absorbe dans le visible à 430 nm.

#### a. Mode opératoire

Dans les eppendorf (**Photographie. 4**) :

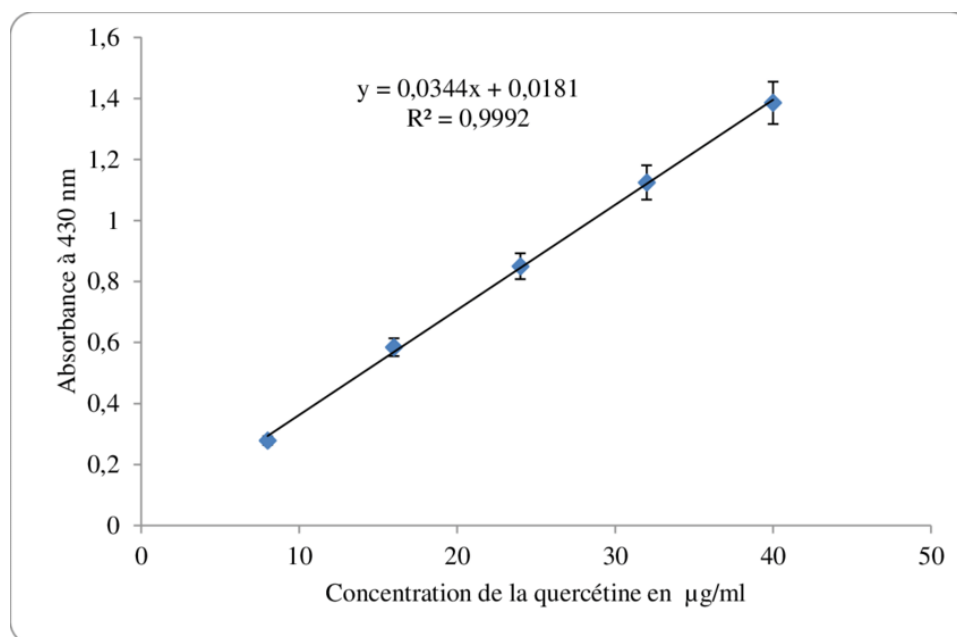
- \_ 500  $\mu\text{l}$  de chaque extrait ont été ajoutés à 500  $\mu\text{l}$  de la solution d' $\text{AlCl}_3$  (2 % dans le méthanol).
- \_ Agiter puis incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 10 min.
- \_ L'absorbance est mesurée à 430 nm en utilisant un spectrophotomètre UV (SHIMADZU - UV 1601).
- \_ Le blanc est préparé de la même façon sauf que l'extrait est remplacé par le solvant le méthanol.



**Photographie 4.** Dosage des flavonoïdes (**Originale, 2024**).

#### b. Expression des résultats

La quantification des flavonoïdes a été évaluée à partir de la courbe d'étalonnage de la quercitrine à différentes concentrations (8-40  $\mu\text{g/ml}$ ) (**Fig. 21**). Les résultats sont exprimés en microgramme d'équivalent de quercitrine par milligramme d'extrait ( $\mu\text{g EQ/mg E}$ ).

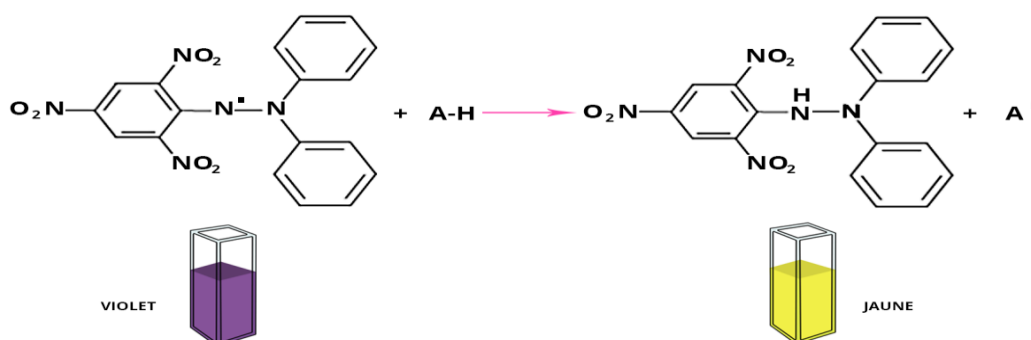


**Figure 21.** Droite d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes totaux (Harrar *et al.*, 2018).

#### I.2.4. Test du piégeage du radical DPPH

Le DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylHydrazyl) est un radical libre stable qui possède un électron célibataire sur l'atome d'azote, il est de couleur violacée qui absorbe à 517nm (Chaabi, 2008). Il fut l'un des premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure activité antioxydante des composés phénoliques (Popovici, 2009).

En présence d'un antioxydant l'électron célibataire devient apparié, ce qui conduit à la décoloration de DPPH du violet (forme radicalaire DPPH) au jaune (forme réduite DPPH-H) (Fig.22) (Popovici, 2009). Cette décoloration représente donc la capacité d'extrait de piéger ce radical.



**Figure 22.** Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Diouf *et al.*, 2023).

Le pourcentage de piégeage du radical est calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ d'activité antiradicalaire} = [(Abs_{517} \text{ contrôle} - Abs_{517}) / Abs_{517} \text{ contrôle} \times 100]$$

Un volume de 100 µl de différentes concentrations d'extrait a été ajouté à 1,95 ml de la solution méthanolique du DPPH (0,024 g/L) fraîchement préparée. Le contrôle négatif a été préparé en parallèle en mélangeant 100 µl du méthanol avec 1,95 ml d'une solution méthanolique de DPPH. Après incubation à l'obscurité pendant 30 min à température ambiante, la lecture des absorbances a été effectuée à 517 nm.

### **I.2.5. Évaluation de l'activité antibactérienne**

L'objectif de cette étude est de déterminer que l'extrait préparé a une activité inhibitrice sur les bactéries. L'évaluation de l'activité antibactérienne a été réalisée par la méthode de diffusion de disque sur un milieu gélose (**Bammou *et al.*, 2015**).

#### **I.2.5.1. Protocole**

- **Préparation des solutions mères et filles d'extrait**

L'extrait de notre plante ont été dissous dans l'éthanol 50% pour préparer les différentes concentrations avec des dilutions en séries (10 dilutions), sachant que la concentration de la solution mère de chaque extrait est de 200 mg/ml.

- **Préparation des cultures**

Les différentes espèces bactériennes ont été repiquées par la méthode des stries, puis incubées à 37 °C afin d'obtenir des colonies fraîches qui vont servir à la préparation de l'inoculum.

- **Préparation de l'inoculum**

A partir des cultures bactériennes, quelques colonies bien isolées et identiques ont été prélevées à l'aide d'une pipette pasteur scellée, cette dernière a été déchargée dans 9 ml l'eau physiologique stérile (0.9%). La suspension bactérienne a été bien agitée. La turbidité de l'inoculum a été ajustée à 0.5 Mc Farland.

- **Préparation du milieu de culture**

La gélose de Muller-Hinton prête à l'usage a été coulée dans des boîtes de pétrie stériles. Les boîtes ont été séchées pendant 30 min à température ambiante avant l'emploi.

- **Ensemencement**

Après l'ajustement de la turbidité de la suspension servant d'inoculum, nous avons trempé un écouvillon stérile dans la suspension. Ce dernier a servi d'étaler la surface entière de la gélose à trois reprises, de haut en bas, en stries serrées. Après chaque application, la boîte a été tournée de 60° environ en vue d'assurer une distribution homogène de l'inoculum. Enfin, l'ensemencement s'est achevé en passant l'écouvillon sur la périphérie de la gélose.

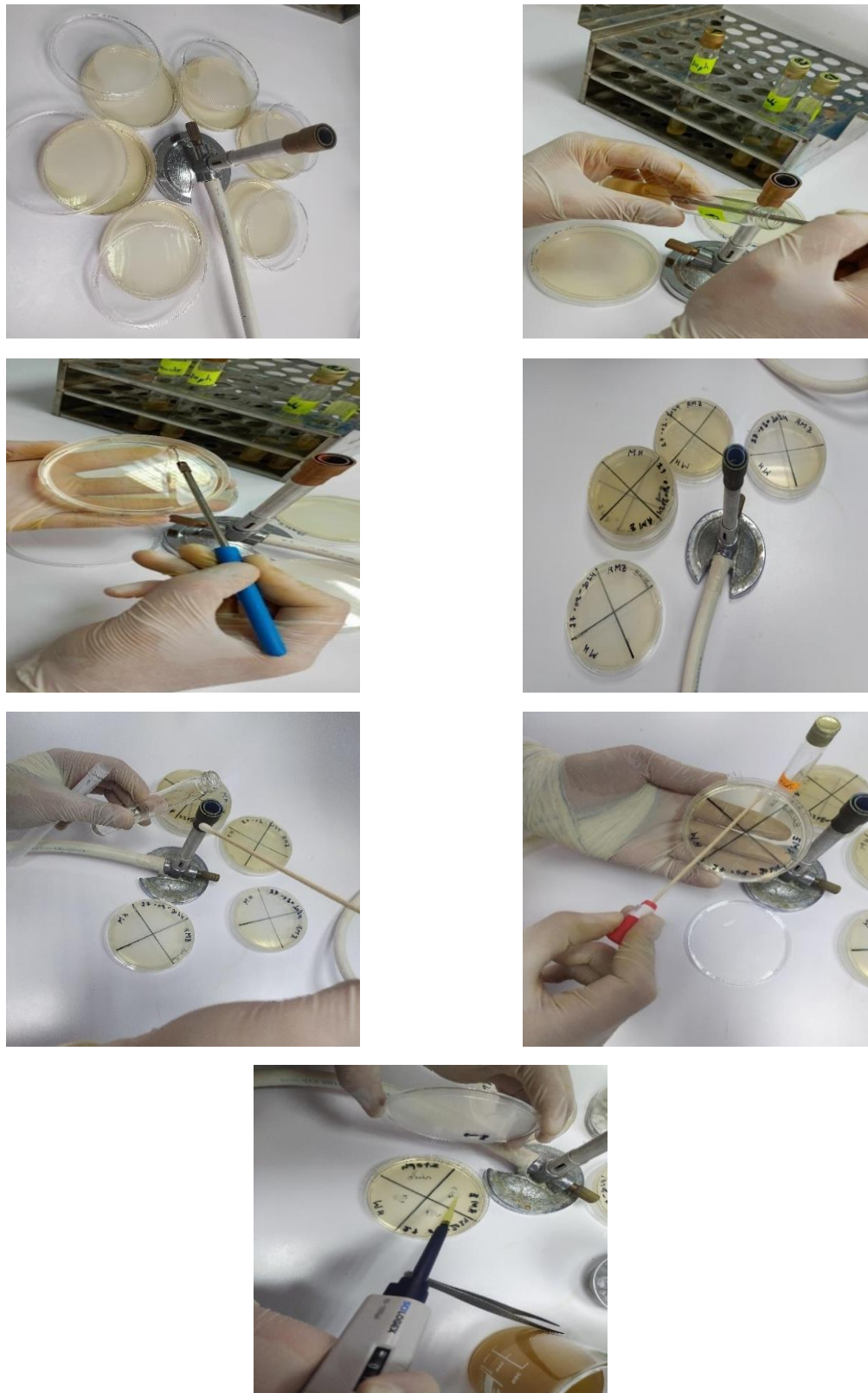
- **Préparation des disques**

Des disques de 6 mm de diamètre découpés sur papier Wattman N°1, stérilisés, ont été imprégnés à raison de 20 µL d'extrait (l'EtOH a été utilisé comme témoins négatif). À l'aide d'une pince stérile les disques ont été déposés aseptiquement à la surface du milieu préalablement ensemencé. Les boîtes ont été incubées pendant 18 à 24 h à 37°C.

#### **I.2.5.2. Lecture des résultats**

Après incubation l'effet d'extrait se traduit par l'apparition d'une zone d'inhibition circulaire transparente autour de disque correspondant à l'absence de la croissance bactérienne. L'activité antibactérienne a été déterminée à l'aide d'une règle mesurant le diamètre de la zone d'inhibition, plus le diamètre de cette zone est grand plus la souche est sensible (**Choi et al., 2006**). La zone d'inhibition des souches vis à- vis de l'extrait et interprétée selon **Celikel et Kavas (2008)** :

- \_ Résistante : diamètre inférieur à 8 mm.
- \_ Sensible : diamètre compris entre 9 et 14 mm.
- \_ Très sensible : diamètre compris entre 15 et 19 mm.
- \_ Extrêmement sensible : diamètre supérieur à 20 mm.



**Photographie 5.** Étapes de l'évaluation de l'activité antibactérienne (Méthode de diffusion de Disque sur milieu gélosé) (Originale, 2024).

## **II. Nos produit (savon)**

### **II.1. Matériels**

#### **II.1.1. Matériel de préparation du savon**

- Huile de caroubes ;
- Huile d'olive ;
- Huile de noix de coco ;
- Huile de lavande ;
- Hydroxyde de Sodium (NaOH) ;
- Eau distillée ;
- Gants ;
- Bavettes ;
- Moules en silicone de la forme de votre choix ;
- Cuillère en bois ;
- Mixeur plongeant ;
- Bol isotherme.

#### **II.1.2. Matériel des analyses physico-chimique**

- Ethanol (alcool Éthylique) à 95 % (v/v) ;
- Solution de soude(NaOH) ;
- Acide sulfurique.
- PH mètre ;
- Balance précise à 0,01g ;
- Agitateur rotatif mécanique, 30-60 tours/min ;
- Etuve isotherme ;
- Thermomètre.
- Béchers ;
- Tubes en verre ;
- Pipette graduée ;
- Flacons.

## II.2. Méthode

### II.2.1. Composants du savon

Les pourcentages de différents composants des savons ont illustré dans le tableau suivant.

**Tableau 6.** Composition des savons.

Composant	Pourcentage (%)
Huile de caroubes	1,98
Huile d'olive	74
Huile de noix de coco	22
Huile de lavande	2,02

### II.2.2. Étapes de la préparation du savon

Le savon a été préparé par le procédé de saponification à froid, comme suit :

#### II.2.2.1. Préparation de la solution de Sodium

- Pesez l'eau séparément puis le Sodium ;
- Versez Sodium dans l'eau (non Contrasté). La température de la solution augmente ;
- Agiter doucement jusqu'à ce que tout le sodium soit dissous ;
- Laisser la température redescende entre 40 ° C et 45 ° C.

#### II.2.2.1. Préparation du mélange des huiles

Dans un bol résistant à la chaleur, placez l'huile d'olive avec l'huile de coco (Photographie.6).



**Photographie 6.** Mélange des huiles (Originale, 2024).

### **II.2.2.3. Addition de NaOH au mélange**

Ajouter la solution d'hydroxyde de sodium sur les huiles et bien mélanger pendant 15 min jusqu'à ce que les effets de la saponification apparaissent (**Photographie.7**).



**Photographie 7.** Mélange des huiles et de NaOH(Originale, 2024).

#### II.2.2.4. Incorporation d'huile de caroube

Après avoir bien mélangé, ajoutez l'huile de caroube en plus des huiles essentielles.

#### II.2.2.5. Moulage du savon

Après avoir laissé le mélange pendant 10 min, placez-le dans des moules en silicone (Photographie .8).



**Photographie 8.** Moulage du savon de caroube (Originale, 2024).

### II.2.3. Analyse physico-chimique

#### II.2.3.1. Mesure du pH (potentiel Hydrogène)

Pour la mesure du pH, on prépare une solution aqueuse par l'ajout de 0,5 g de savon synthétisé et 150 ml d'eau distillée. L'ensemble est soumis à une agitation constante pendant 2 minutes ; à l'aide d'un agitateur. Le pH est ensuite déterminé à l'aide d'un pH mètre.

#### II.2.3.2. Détermination du pouvoir moussant du savon dans différents milieux

Le pouvoir moussant du savon dans différents milieux est estimé par la mesure de taux de mousse formée dans chaque milieu (acide, salin) par apport à un témoin (eau distillée) selon la formule suivante :

$$\text{Taux de mousse (TM \%)} = \frac{\text{Hauteur de mousse de l'échantillon (cm)} \times 100}{\text{Hauteur de mousse de témoin (cm)}}$$

**a. En milieu acide**

On prépare une solution savonneuse (S) par la dissolution de 3 g de savon dans 100 ml d'eau distillée dans un tube à vis, on ajoute goutte à goutte 1 ml d'une solution d'acide chlorhydrique (1 mmol/l) à 2 ml de la solution S. On bouche le tube, on agite vigoureusement en position horizontale pendant 15 s environ. Après 5 min au repos, on mesure la hauteur de mousse.

**b. En milieu salin**

Dans un tube à vis, on ajoute goutte à goutte 1 ml d'une solution saline de NaCl (30%) à 2 ml de la solution S. On bouche le tube, on agite vigoureusement en position horizontale pendant 15 s environ. Après 5 min de repos, on mesure la hauteur de mousse.

**II.2.3.3. Détermination de la teneur en alcali libre total des savons (AFNOR, 1993)****a . Définition**

L'alcali libre total est la somme de l'alcali libre caustique et de l'acide libre carbonaté.

**b . Principe**

Dissolution du savon dans une solution éthanolique et neutralisation de l'alcali libre par une solution d'acide sulfurique et titrer ensuite l'excès d'acide par la solution de potasse éthanolique.

**c . Expression du résultat**

La teneur en alcali libre total est exprimée en pourcentage en masse de NaOH par :

$$\% \text{ NaOH} = 0,04 \times VT - V'T' / M \times 100$$

**Avec :**

**M** : masse en gramme de prise d'essai.

**V** : volume en ml de la solution aqueuse de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**T** : normalité de la solution aqueuse de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**V'** : volume en ml de la solution éthanolique de KOH

**T'** : normalité de la solution éthanolique de KOH.

**II.2.3.4. Test d'irritation cutanée**

Il permet l'étude de la tolérance cutanée. Il consiste en une application unique du savon, en principe pendant 1h ou 24 h puis, On évalue alors la présence d'éventuelles réactions cutanées après leur utilisation.

**II.2.3.5. Test de la langue**

Ce test permet de vérifier que le savon n'est pas caustique : On prend un peu de savon et le frotte doucement avec le bout de la langue. Si ça picote sur la langue c'est signe que le savon est trop alcalin.

## **Partie II : Résultats et discussions**

## I. Extraction d'extrait éthanolique de caroube

### I.1. Résultats et discussions

#### I.1.1. Le rendement

Le rendement d'extraction est le rapport de la quantité de substances naturelles extraites par l'action extractive d'un solvant à la quantité de ces substances contenues dans la matière végétale. La phase aqueuse, a été concentrée à sous pression réduite, pesée et le rendement est donné dans le tableau (7).

Tableau 7. Rendement d'extrait éthanolique.

Matière sèche	Extrait	Masse	Rendement
14,6 g	Ethanolique	0,67 g	4,58 %

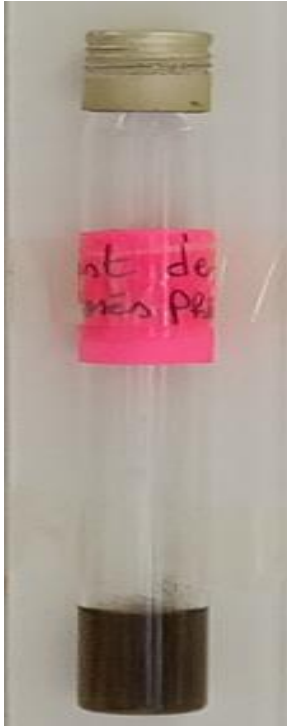

Le rendement d'extraction éthanoliques trouvé dans notre recherche est inférieur à ceux trouvés par (Benbott *et al.*, 2018) qui ont récolté les fruits de *Ceratonia* dans la région Oum El Bouaghi est  $10.05 \pm 0.31\%$ . Cette différence peut être expliquée par la période de la récolte et les températures de séchage, la nature des solvants utilisés ainsi la région de récolte.



#### I.1.2. Étude qualitative (Criblage phytochimique)



L'analyse phytochimique réalisée a permis de relever les principaux groupes chimiques présents dans l'extrait de *Ceratonia siliqua* : composé phénolique, flavonoïdes, tanins, composés réducteurs, saponines, alcaloïdes, quinones libres et triterpènes. Les réactions qui se produisent sont classées comme négatives (-) ou clairement positives (+++) en fonction de l'intensité de leur couleur. Ces réactions sont basées sur la précipitation ou la coloration de réactifs spécifiques.

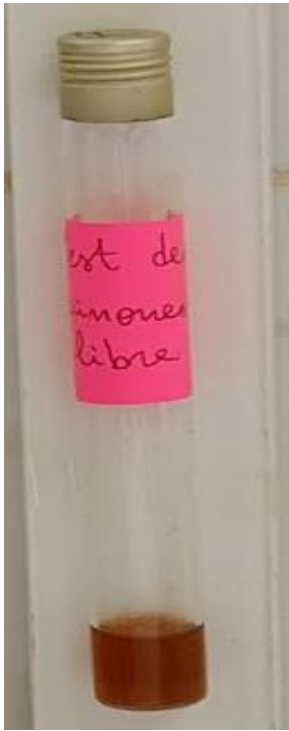

Le tableau (8) représente les différents tests utilisés pour caractériser certains des métabolites secondaires des fruits de caroube :

**Tableau 8.** Résultats du criblage phytochimique des fruits de *Ceratonia siliqua* L. (Originale, 2024).

Le composé chimique	Observation	Résultat
Composé phénolique		+++
Flavonoïdes		+++

<p>Tanins gallique</p>		<p>+++</p>
<p>Composés réducteurs</p>		<p>+++</p>

<p>Saponines</p>		<p>+++</p>
<p>Alcaloïdes</p>		<p>++</p>

<p>Quinones libres</p>		<p>+++</p>
<p>Stérols ou triterpènes</p>		<p>++</p>

À partir de ces résultats on a observé une forte présence des flavonoïdes, des saponosides, des tanins, des quinones libres, des composés réducteurs, des alcaloïdes dans l'extrait éthanolique, ainsi qu'une absence totale des stérols et triterpènes.

L'absence des stérols et triterpènes, dans nos extrait ne s'accordent pas avec les résultats trouvés par **Fidan *et al.*, (2020)**. Egalement, les résultats obtenus de l'étude de **(Benbott *et al.*, 2018)** ont déterminés la présence des alcaloïdes.

Les résultats des études phytochimiques effectuées par **(Laaraj *et al.*, 2024)** ont révélé la présence des flavonoïdes, des saponosides et des tanins dans l'extrait éthanolique obtenus des fruits de ceratonia.

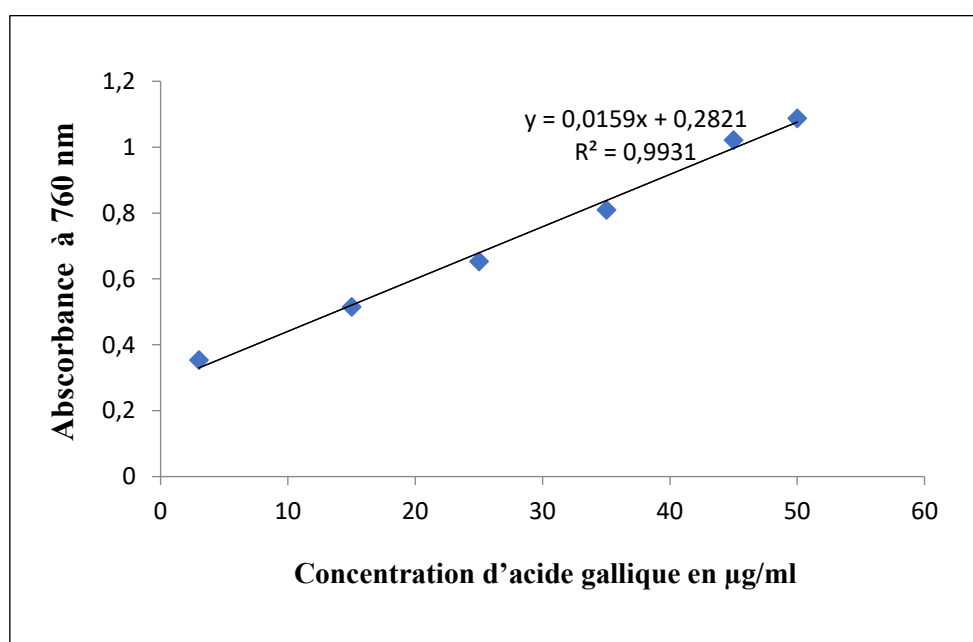
Le screening phytochimique d'extrait de *ceratonia siliqua* L. a montré une richesse et variation en métabolites secondaires, il a donc des activités biologiques intéressantes.

### I.1.3. Étude quantitative

#### I.1.3.1. Dosage des polyphénols Totaux

Dans la Notre Travail, la teneur en polyphénols Totaux d'extrait a été déterminée de réactif de Folin-Ciocalteu.

La Courbe d'étalonnage obtenue en utilisant L'acide gallique comme standard est représenté dans la figure 23.



**Figure 23.** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

À partir de la courbe d'étalonnage, la concentration des composés phénoliques totaux d'extrait est estimée par l'équation suivante :

$$y = 0,015 x + 0,282 \text{ avec un coefficient } R^2 = 0,993$$

Les résultats obtenus exprimés en ug équivalent d'acide gallique par mg d'extrait (µg EAG/mg extrait), sont présentés dans le tableau (9).

**Tableau 9.** Teneur en phénols totaux dans l'extrait de *Ceratonia siliqua* L.

Echantillon dosé	Teneur en phénols totaux (µg EAG/mg d'ext)
Extrait éthanolique	108 ± 1.11

La teneur en composés phénolique totaux présents dans l'extrait était de 108±1.11 µg EAG/mg Ext. Ce contenu est inférieur rapportés par **A.Benbott *et al.*, (2018)** qui ont révélé une teneur de l'ordre de 42.65±0.55 mg EAG/ g Extrait, pour un extrait méthanolique.

D'après **Imène khelouf *et al.* (2023)**, la teneur en polyphénols est d'ordre de 30.84 mg EAG.g<sup>-1</sup> MS, qu'ils ont utilisé l'extrait éthanolique de pulpe de caroube. Dans une autre étude réalisée par **Ayad *et al* (2022)**, nous avons observé que les phénols totaux présents dans notre extrait éthanolique est inférieur à leur résultat (23.375±0.83 mg acide gallique/g extrait).

En effet, la différence des résultats peut être due à la nature du solvant utilisé et du mode de séchage en relation avec des facteurs environnementaux (nature géographique, température et nutriments) qui affectent fortement les composés végétaux. Cette différence pouvant être due à La variation de la teneur en polyphénols pourrait être attribuée à de nombreux facteurs tels que l'origine géographique, les circonstances d'extraction, variété et stade de maturation (**Ayad *et al.*, 2024**).

### I.1.3.2. Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé par la méthode de chlorure d'aluminium (AlCl<sub>3</sub>), avec la quercétine comme étalon. Selon la courbe d'étalonnage, la concentration de flavonoïdes dans l'extrait de *Ceratonia siliqua* a été estimée par l'équation de la courbe :

$y = 0,0242x + 0,0411$ avec un coefficient $R^2 = 0,985$
--

La teneur en flavonoïdes totaux est exprimée en microgramme équivalent de quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg E). Les résultats sont présentés dans le tableau (10) ci-dessous.

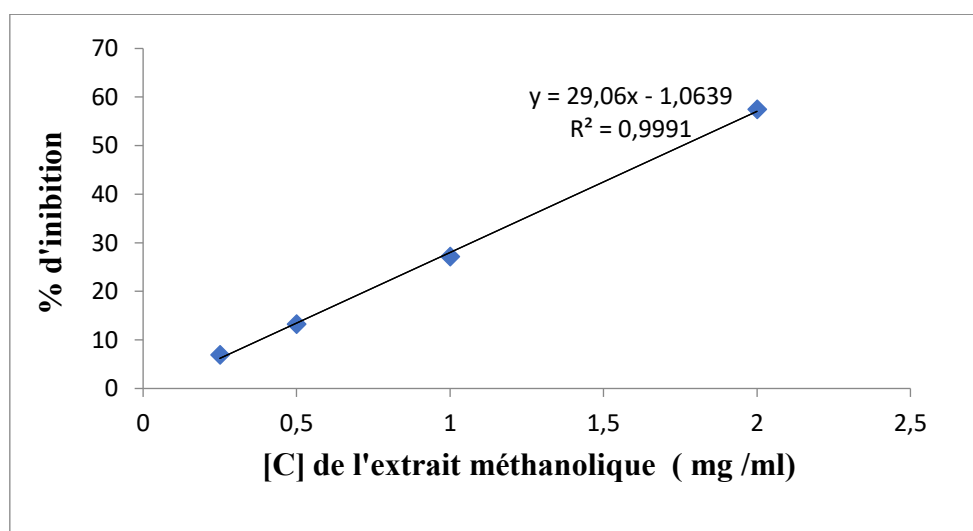
**Tableau 10.** Teneur en flavonoïdes dans l'extrait *Ceratonia siliqua* L.

Echantillon dosé	Teneur flavonoïdes en totaux (µg EQ /mg d'ext )
Extrait éthanolique	9.24 ± 0.069

La teneur des flavonoïdes dans l'extrait était de 9.24±0,069 µg EQ/mg Ext. Les résultats des travaux **d'A. Benbolt et al (2018)** sur l'extrait méthanolique des fruits de caroube récoltée en septembre à Jijel sont supérieurs par rapport à nos résultats, avec une teneur des flavonoïdes de 8.93±0.45 mg EQ/g Ext. D'après **Imène khelouf et al (2023)** la teneur en flavonoïdes de l'extrait éthanolique de la pulpe de caroube est de 1.47 mg QE.g<sup>-1</sup> MS, ce résultat est plus élevé à celui de notre étude, Aussi, l'étude faite par **Attia et al (2014)** montre que la teneur en flavonoïdes de l'extrait éthanolique des fruits de *Ceratonia siliqua* L. est de 16.73±0.66g /100g extrait. La différence dans les résultats peut être due à la nature des solvants utilisés.

#### I.1.4. Évaluation de l'activité antioxydante

La méthode DPPH est indépendante de la polarité du substrat. La méthode est basée sur la réduction de solutions alcooliques de DPPH en présence d'hydrogène ou d'antioxydants donateurs d'électrons. Une forme non radicalaire de DPPH-H est formée. Les graphiques ci-dessous montrent le pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration d'extrait.



**Figure 24.** Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations de l'extrait.

A partir des graphes ci-dessus, on observe une augmentation de pourcentage d'inhibition du radical libre proportionnellement avec l'augmentation de la concentration.

• Calcul d'IC<sub>50</sub>

La capacité antioxydante d'extrait a été déterminée par IC<sub>50</sub>, la concentration requise pour réduire les radicaux libres DPPH de 50%. Plus la valeur IC<sub>50</sub> est faible, plus l'activité antioxydante du composé est élevée (**Hobi et Eddouks., 2016**).

Nous avons évalué la concentration d'extrait nécessaire pour réduire de 50 % de DPPH ou L'IC<sub>50</sub> des radicaux libres. L'IC<sub>50</sub> a été déterminée à partir de l'équation de régression linéaire de la figure (24). Les valeurs sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 11.** Résultats du test de l'activité antioxydante exprimant la concentration efficace 50% en mg/ml.

Extrait	IC <sub>50</sub> (mg/ml)
Extrait éthanolique	1.76

Le DPPH a été largement utilisé comme radical libre pour évaluer les substances réductrices et constitue un réactif utile pour étudier les activités d'élimination des radicaux libres d'un composé donné. Une valeur IC<sub>50</sub> élevée correspond à une faible activité antioxydante (**Ydjedd et al., 2017**). L'activité de piégeage des radicaux DPPH de l'extrait éthanolique était de 1.76 mg/mL, mais relativement faible que celle d'acide ascorbique dont la valeur est de l'ordre de 0.134 mg/ml (**Bougandoura et Bendimerad., 2012**).

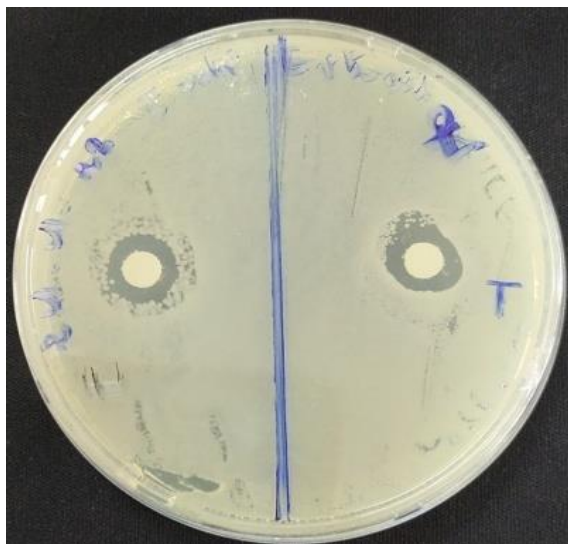
Une étude menée par **A. Benbott et al, (2018)** sur la même espèce de *C. siliqua* récoltées en septembre 2016 à Jijel ont montré que l'extrait méthanolique présentait une activité élevée de piégeage des radicaux DPPH (IC<sub>50</sub> =0,029 mg/ml) alors que nous avons enregistré la plus faible efficacité.

Cependant, **Goulas et Georigion (2020)**, pour leurs études des fruits de caroube *Tilliria* et *Koumbota* ont révélé une faible efficacité de piéger le radical DPPH avec une IC<sub>50</sub> de 2.9±0.2 mg/ml, et IC<sub>50</sub> de 4.0±0.6 mg/ml respectivement. Ces valeurs sont inférieures aux valeurs trouvées dans cette étude.

Enfin, l'activité antioxydante avec d'autres études sont attribuées à la différence de situation géographique, répartition, le climat, la saison des récoltes, la composition chimique et le type de sol qui varie en fonction l'origine de l'espèce (**Ghanemi et al., 2021**).

I.1.5. Évaluation de l'activité antibactérienne

Le présent travail s'intéresse à l'étude de l'activité antibactérienne d'extrait de plante *Ceratonia siliqua* L. vis-à-vis quatre espèces bactériennes à Gram positif et à Gram négatif. Les résultats de l'étude de l'activité antibactérienne d'extrait de cette plante est présenté dans le tableau (12) et la photographie (9).



A) *Escherichia coli*



B) *Pseudomonas aeruginosa*



C) *Staphylococcus Aureus*



D) *Bacillus cereus*

Photographie 9. Effet de l'extrait éthanolique sur les souches bactériennes testées (Originale, 2024).

Tableau 12. L'activité antibactérienne des souches bactériennes testées.

Souches bactériennes testées	Références	Diamètres d'inhibitions		Observations
<b>Gram –</b>		<b>Témoin(EtOH)</b>	<b>Extrait</b>	
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922	13 mm	12 mm	Sensible
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853	12 mm	17 mm	Très sensible
<b>Gram +</b>		<b>Témoin(EtOH)</b>	<b>Extrait</b>	
<i>Bacillus cereus</i>	ATCC 11778	13 mm	14 mm	Sensible
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923	13 mm	13 mm	Sensible

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que l'extrait éthanolique de *Ceratonia siliqua* L. présentait des propriétés antibactériennes contre les quatre bactéries pathogènes et l'effet contre *Pseudomonas* était supérieur à celui de *Staphylococcus aureus* et d'*E. Coli*, comment indiqué le tableau (12) et photographie (9).

Le résultat montre également que le contrôle négatif (EtOH) n'est aucun effet contre les quatre bactéries testées.

Des nombreuses études ont évoqué le pouvoir antibactériennes de *Ceratonia siliqua*. Les résultats obtenus par **Abd razik et al ., (2012)** n'ont constaté que l'extrait éthanolique des fruits de *Ceratonia siliqua* L. avec une concentration de 1000 mg/mL s'est révélé efficace vis-

à-vis de *Staphylococcus aureus* avec de diamètre d'inhibition de 17 mm comparée aux Gram négatif *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia Coli*.

Par ailleurs, dans l'étude menée par **S. Mumtaz et al. (2023)**, l'acide ascorbique (20 mg /ml) a montré d'activité antibactérienne et plus important que celle l'extrait éthanolique de *Ceratonia siliqua* L. testées, avec de diamètre de zone d'inhibition élevé.

Les résultats d'**A. Benbott et al., (2018)** ont révélé que l'extrait méthanolique des fruits de caroube actif contre *Staphylococcus* avec un diamètre d'inhibition de 15 mm, excepte pour *E. coli* qui présente une faible activité (zone d'inhibition de 9 mm) et une résistance de *Pseudomonas aeruginosa*. De même, **Attia et al., (2014)** ont constaté que l'extrait méthanolique de la même espèce végétale s'est révélé efficace vis-à-vis de *Bacillus*, ce qui en accord avec nos résultats.

En revanche, **Ouis et Hariri (2018)** ont montré que les huiles essentielles extraites de la pulpe et des graines de *Ceratonia siliqua* L. à une bonne activité antibactérienne.

## II. Nos produit (savon)

### II.1. Résultats et discussions

#### II.1.1. Caractéristiques morphologiques du savon obtenu

Les résultats détaillés concernant les caractéristiques morphologiques du savon obtenu sont donnés dans le tableau (13).

**Tableau 13.** Caractéristiques morphologiques du savon de caroube.

Caractéristiques morphologiques	Savon obtenu
Forme	Rose
Couleur	Jaune clair
Homogénéité	Homogène
Consistance	Sèche
Odeur	Parfumé
Poids	35.49g

D'après les résultats enregistrés dans le tableau (13) et la photographie (10), La couleur du savon jaune-clair, tandis que sa consistance est sèche et présente une texture dure. De manière générale, l'aspect est satisfaisant avec une agréable odeur.



**Photographie 10.** Aspect du savon de caroube (Originale, 2024).

## II.1.2. Caractéristiques physico-chimiques du savon

### II.1.2.1. PH

Les données obtenues pour l'évaluation du potentiel hydrogène (pH) de notre savon ainsi que celles de certains savons industriels sont répertoriées dans le tableau (14).

**Tableau 14.** Potentiel hydrogéné (pH) pour certains types du savon.

Types du savon	Valeur du PH
Savon du Caroube	9.61
Savon d'écorce de caroubier	9.73
Weel	10.31
Tibetball	10.32

Des études plus récentes ont montré que le pH de la peau varie de 4,1 à 7,4 selon la partie du corps Le savon est basique. Son pH est autour de 9. Lors de la toilette, il perturbe donc l'acidité de l'épiderme (Hotantail, 1999 ; Lukić *et al.*, 2021).

Selon le tableau (14) , notre savon présente une valeur de pH de 9.61 à 25°, qui est un pH basique. Cette valeur est comparable de celle du savon de l'écorce, en revanche, la valeur

de pH obtenu est plus élevée que celle du savon médical (Borax) et du savon de toilettes Dove. Le taux de pH obtenu est en accord avec la norme des savons qui est établie dans un intervalle de 7 à 10. Donc, notre produit est de qualité.

**II.1.2.2. Alkali total**

Les résultats des tests sans caustique pour nos savons et certains savons industriels sont répertoriés dans le tableau (15):

**Tableau 15.** Pourcentages d’alkali total dans certains types du savon.

Types du savon	L’alkali total
Savon fruit obtenu	2.33
Borax (savon médicale)	0.19
Dove (savon de toilettes)	0.48
Savon d’écorce de caroubier	1.24
Weel (savon de lessive)	1.89
Tibetball (savon de lessive)	2.48

La teneur totale en alcalis (TAC) est l’autre paramètre déterminé. Il représente la quantité de composant alcalin total dans le savon. Il comprend les composés alcalins tels que les hydroxydes, les oxydes, les carbonates ou les bicarbonates de sodium/ou de potassium (Vivian *et al.*, 2014).

Parmi tous les échantillons de savon analysés (Tab.15), la teneur totale en alkali d’échantillons de savon obtenu est de 2.33%. Cette teneur est élevés par rapport aux celles des savons de toilettes commercialisés Dove et Savon d’écorce de caroubier de 0.48% et de 1.24% respectivement, ceci peut être résulte d’une mauvaise élimination de la soude, dans notre protocole expérimentale lors de la préparation du savon. Par contre, notre résultat est comparable à celui mentionné par Habib *et al.*, (2016) pour les savons de lessives (Wheel et Tibet ball) qui sont de 1.89 et de 2.48 respectivement. Le carbonate alcalin est utilisé comme

un détergent pour éliminer les saletés présentes sur les vêtements. En revanche, nous avons évité l'excès de carbonate alcalin dans notre savon car il est destiné aux toilettes.

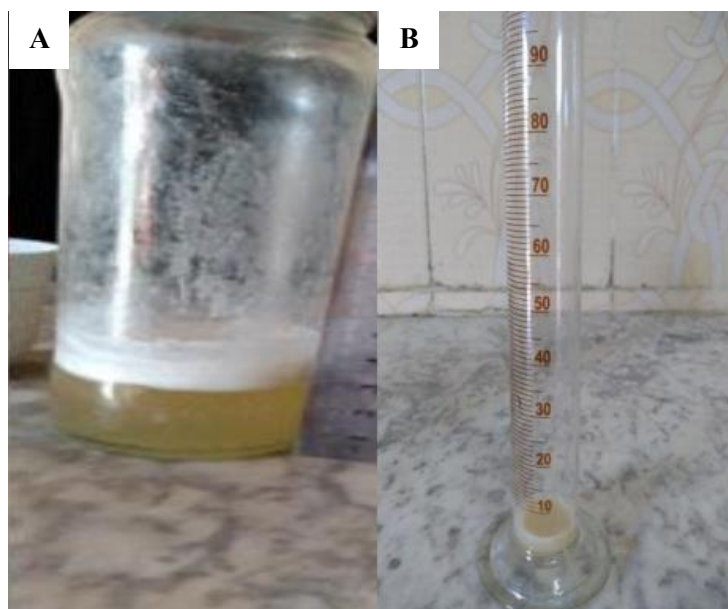
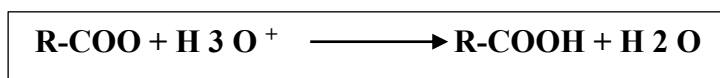
### II.1.2.3. Détermination du pouvoir moussant de savon dans différents milieux

La mousse est habituellement décrite comme une dispersion de gaz dans un liquide, où sa densité se rapproche de celle du gaz. Son pouvoir moussant et sa stabilité sont influencés par divers facteurs tels que la concentration et la nature des acides gras, la température et la durée. Ces propriétés atteignent leur maximum entre 20 et 40°C pour les composés comportant une chaîne carbonée de 12 à 14 atomes de carbone (**Didouche., 2012**).

#### a. En milieu acide

L'incorporation de la solution savonneuse dans un milieu acide (HCl) a résulté en la formation d'un précipité blanc, comme illustré dans la photographie 11 (B), sans observation de formation de mousse par rapport au témoin. Le taux de mousse calculé (TM) s'est avéré être de 0% par rapport au témoin.

Les ions carboxylates ont la base du couple RCOOH/RCOO<sup>-</sup>, il se déroulera une réaction acide–basique quia pour équation :



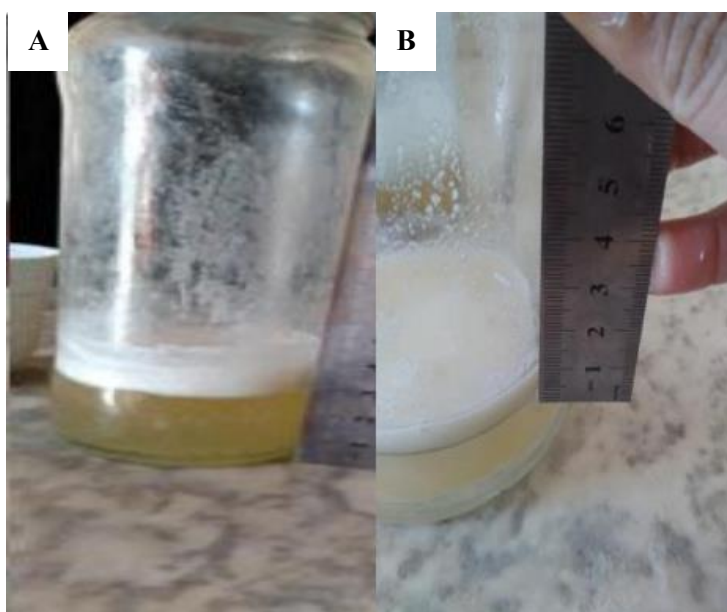
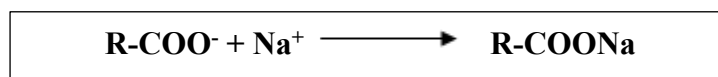
**Photographie 11.** Solubilité du savon : A) Dans l'eau distillée , B) : Dans l'acide chlorhydrique.

La capacité détergente d'un savon est étroitement liée à sa capacité à se dissoudre dans l'eau, ce qui détermine son pouvoir moussant. Ainsi, un environnement acide ne favorise pas l'efficacité du savon produit.

**b. En milieu salin**

Dans un environnement salin contenant du chlorure de sodium (NaCl), le pouvoir moussant du savon a considérablement diminué par rapport à celui dans l'eau distillée, comme illustré dans la photographie 12. Le taux de mousse calculé (TM) s'élève à 22,22% par rapport au groupe témoin.

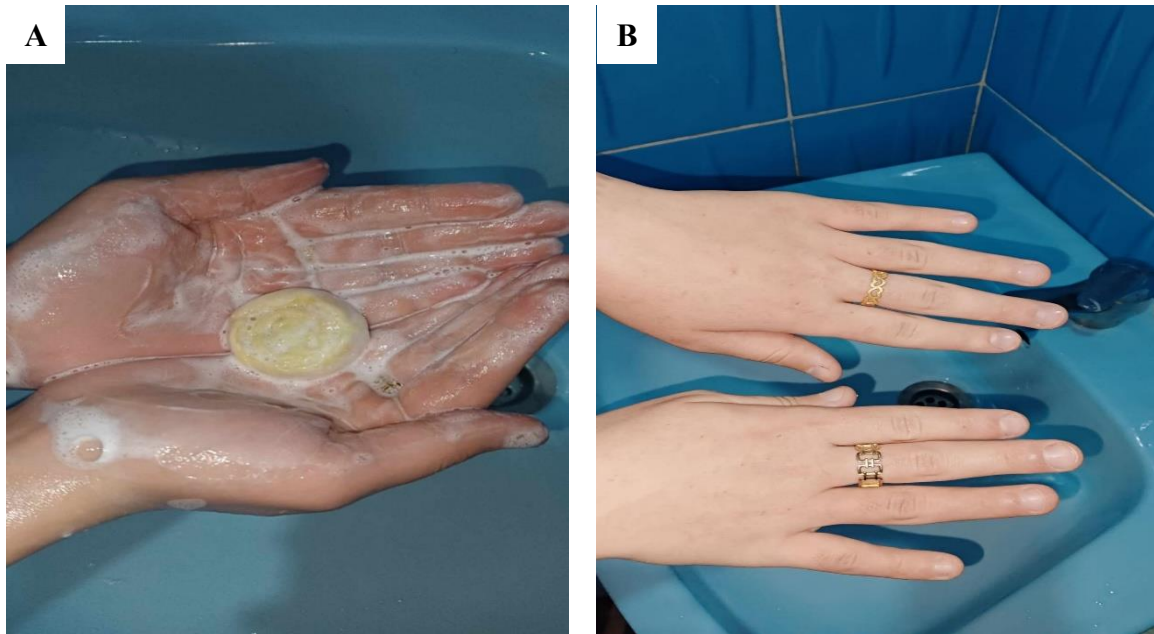
En présence d'ions sodium (Na<sup>+</sup>), les ions carboxylates réagissent en formant un précipité de carboxylate de sodium, ce qui correspond à la formation de savon solide qui perd son efficacité. Cette réaction de précipitation peut être exprimée par l'équation suivante :



**Photographie 12.** Solubilité du savon : A) Dans l'eau distillée , B) : Dans le chlorure de Sodium (**Originale , 2024**).

**II.1.3. Test d'irritation**

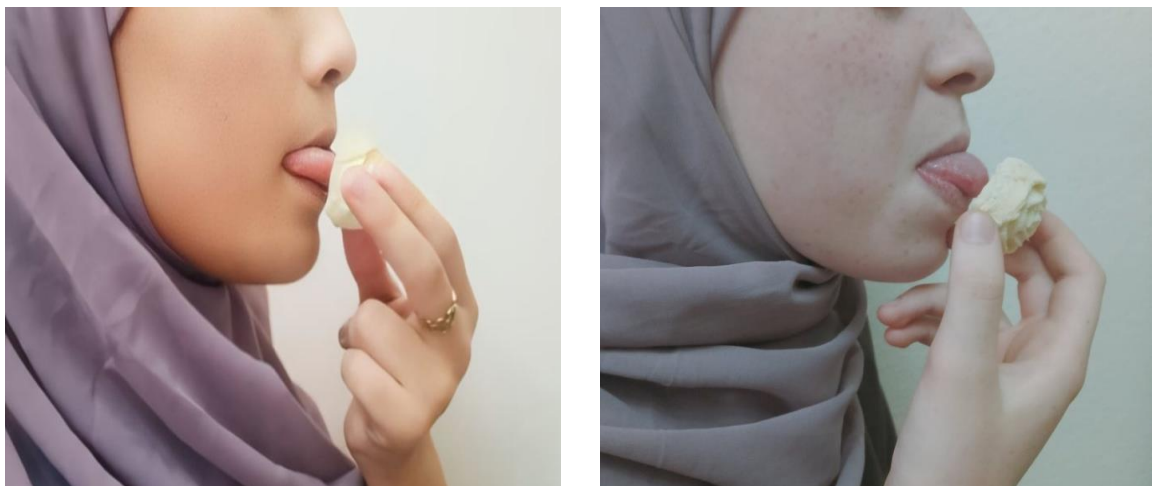
Après une application du savon pendant 1 h et 24 h (**Photographie .13**), sur nos mains. Aucune réaction cutanée n'a été observée sur la zone traitée. Notre savon peut être considéré comme non irritant.



**Photographie 13.** Résultats du test d'irritation : A) Lavage par le savon, B) Après 1 h (Originale, 2024).

#### II.1.4. Test de la langue

Les volontaires (**Photographie .14**) ont suggéré que le savon de caroube aura simplement un goût savonneux ça veut dire que notre savon n'est pas caustique.



**Photographie 14.** Application du test de la langue par des volontaires (Originale, 2024).

# *Conclusion*

## Conclusion

---

---

### II. Conclusion

*Ceratonia siliqua* L. est une plante très intéressante, malheureusement elle est encore très délaissée et inexploitées en Algérie. Le caroubier n'a pas encore gagné la place qu'il mérite dans les programmes de reboisement.

Le fruit de caroube présente une variété des qualités qui en font un ingrédient précieux dans l'industrie et des produits naturels. Voici quelques points clés à retenir :

- **Arôme unique :** L'huile essentielle de caroube possède un arôme distinctif et agréable, avec des notes chaudes et sucrés qui la rendent populaire et en aromathérapie.
- **Propriétés thérapeutiques :** Des études ont suggère que le fruit de caroube peut avoir des propriétés antioxydantes ( $IC_{50} = 1.78$ ) et anti- bactérienne sachant que la zone d'inhibition est la suivante : *Escherichia coli* (12mm), *Staphylococcus aureus* (12 mm), *Bacillus cereus* (14mm) et *Pseudomonas aeruginosa* (17 mm), ce qui en fait un choix potentiel pour diverses applications thérapeutiques.
- **Utilisations diverses :** Cette fruit peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres fruits pour créer des mélanges aromatiques uniques. Elle est également utilisée dans la fabrication des produits de soins personnels tels que les lotions, les crèmes et les produits de bain.

Les caractéristiques morphologiques montrent que le savon obtenu a une couleur crème (jaune-clair), une texture dure, un aspect homogène et une odeur parfumé. et pour le rendement obtenu est 35.49 g.

Les analyse physico-chimiques du savon montrent que :Le savon obtenu a un pH de 9,61, conforme aux normes, et un alcali total de 2,33%, plus élevé que celui des savons de toilette commerciaux mais similaire à celui des savons à lessive. Son pouvoir moussant est de 0% dans un milieu acide et de 22,22 % dans un milieu salin. Un pH alcalin excessif peut provoquer des irritations cutanées, faisant du savon un détergent plutôt qu'un produit recommandé pour un usage personnel.

Les tests sectoriels, y compris les tests d'irritation et de langue, indiquent que le savon synthétisé n'est ni irritant ni caustique. Cependant, ces tests sont considérés comme insuffisants, et d'autres tests sont nécessaires pour caractériser plus précisément la qualité du savon. En perspective, il est souhaitable de :

## Conclusion

---

---

- Éliminer la soude dans le processus de fabrication en effectuant plusieurs rinçages avec l'eau distillée.
- Organiser une évaluation sensorielle par un jury expérimenté.
- Évaluer, l'activité bactéricide du savon.
- Évaluer la durée à laquelle la rémanence du savon diminue.
- Réaliser des recherches approfondies en chimie et en microbiologie afin d'étendre l'utilisation de ce savon.

# *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

---

---

### Références bibliographiques

**Abd Razik, B. M., Hasan, H. A., & Murtadha, M. K. (2012).** The study of antibacterial activity of *Plantago major* and *Ceratonia siliqua*. The Iraqi postgraduate medical journal, 11(1), p 130-5.

**Ait Chitt M., Belmir H, et Lazrak A., 2007.** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. Bulletin de transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA MAPM/DERD 153, p2-6.

**Ait Ouahioune, L. (2022).** Valorisation des co-produits de caroube (*ceratonia siliqua* L.): application dans un emballage actif pour la conservation du saumon (*salmo salar*) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU).

**Akdeniz, E., Yakışık, E., Rasouli Pirouzian, H., Akkın, S., Turan, B., Tipigil, E., ... & Ozcan, O. (2021).** Carob powder as cocoa substitute in milk and dark compound chocolate formulation. Journal of Food Science and Technology, p 1-9.

**Ali, E. S., Mustafa, H. M., & Blkasem, K. A. O. (2019).** Morphological variation of Libyan carob (*Ceratonia siliqua* L.). Al-Mukhtar Journal of Sciences, 34(2), p 126-133.

**Attia, N. Y., Abd El-Aleem, I. M., El Tobgy, K. M., & Mohamed, H. F.** Biochemical Studies on Carob.

**Ayad, R., Ayad, R., Boudjerda, S., Bessibes, S., & Idoui, T. (2023).** The effects of boiling and freezing processing methods on the quality characteristics, bioactive compound content, and antioxidant capacity of Jijel region carob pods, *Ceratonia siliqua* L. Moroccan Journal of Chemistry, 11(04), p 11-4.

**Ayad, R., Ayad, R., Bourekoua, H., Lefahal, M., Makhloufi, E. H., Akkal, S., ... & Nieto, G. (2022).** Process optimization of phytoantioxidant and photoprotective compounds from carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) using ultrasonic assisted extraction method. Molecules, 27(24), 8802.

**Ayad, R., Ayad, R., Zineddine, L., & Berghida, N. E. H. (2024).** Algerian wild green carob (*Ceratonia siliqua* L.): Physicochemical characteristics and antioxidant potency. Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia, 38(1), p 187-198.

## Références bibliographiques

---

---

**Bahry, H. (2017).** Valorisation de la mélasse de caroube par une approche bioraffinerie (Doctoral dissertation, Université Clermont Auvergne [2017-2020] ; Université Libanaise).

**Bammou, M., Daoudi, A., Slimani, I., Najem, M., Bouiamrine, E., Ibijbijen, J., Nassiri, L. (2015).** Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus* L. Etude ethnobotanique, screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of applied biosciences*, 86, p 7966-7975.

**Basharat, Z., Afzaal, M., Saeed, F., Islam, F., Hussain, M., Ikram, A., ... & Awuchi, C. G. (2023).** Nutritional and functional profile of carob bean (*Ceratonia siliqua*): A comprehensive review. *International Journal of Food Properties*, 26(1), p 389-413.

**Battle, I. (1997).** Carob tree: *Ceratonia siliqua* L.-Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17 (Vol. 17). Bioversity International.

**Bekro, Y. A., Mamyrbekova, J. A., Boua, B. B., Bi, F. T., & Ehile, E. E. (2007).** Etude ethnobotanique et screening phytochimique de *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpinaceae). *Sciences & nature*, 4(2), p 217-225.

**Benbott, A., Mosbah, C., & Moumen, Y. (2018).** Phytochemical, Free Radical Scavenging and Antimicrobial Activities of *Ceratonia Siliqua* L. Fruits Collected of Jijel (Algeria). *World Journal of Environmental Biosciences*, 7(3), p 18-22.

**Benguiar, R., Benaraba, R., & Riazi, A. (2015).** Effet de l'extrait de caroube sur la croissance de deux candidats probiotiques: *Lactobacillus fermentum* et *Lactobacillus rhamnosus*. *Nature & Technology*, (13),22.

**Benmahioul, B., Harche, M. K., & Daguin, F. (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranéenne*, 32(1), p 51-58.

**Boizot N., and Charpentier .J.P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre foustier. *Le cahier des techniques de l'Inra*. p 79-82. (cited in DjemaiZoueglache S, 2008).

**Boublenza, I., Boublenza, I., Boublenza, A., Madji, S., Fabiano-Tixier, A. S., & Chemat, F. (2019).** Carob as source for sustainable ingredients and products. *Plant Based "Green Chemistry 2.0" Moving from Evolutionary to Revolutionary*, p 257-275.

## Références bibliographiques

---

---

- Boublenza, I., Ghezlaoui, S., Mahdad, M., Vasai, F., & Chemat, F. (2019).** Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Scientia horticultrae*, 256, 108537.
- Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2013).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technology*, (9), 14.
- Brassesco, M. E., Brandão, T. R., Silva, C. L., & Pintado, M. (2021).** Carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) : A new perspective for functional food. *Trends in Food Science & Technology*, 114, p 310-322.
- Castello, I., Polizzi, G., & Vitale, A. (2023).** Major Pathogens Affecting Carob in the Mediterranean Basin: Current Knowledge and Outlook in Italy. *Pathogens*, 12(11), 1357.
- Celikel, N., & Kavas, G. (2008).** Antimicrobial properties of some essential oils against some pathogenic microorganisms. *Czech journal of food sciences*, 26(3), 174.
- Chaabi, M. (2008).** Etude phytochemistry and biology of vegetables in Africa: *Euphorbia steclada* Bail. (Euphorbiaceae), *Anogeissus leiocarpus* Guill. & Perr. (Combretaceae), *Limoniastrum feei* (Girard) Batt. (Plumbaginaceae). This is a doctor. Constantine Mentouri University and Louis Pasteur University.
- CHABANE, K. (2018).** Diversité phénotypique, biochimique et moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Algérie Occidentale (Doctoral dissertation).
- Chait, Y. A., Gunenc, A., Bendali, F., & Hosseinian, F. (2020).** Simulated gastrointestinal digestion and in vitro colonic fermentation of carob polyphenols: Bioaccessibility and bioactivity. *Lwt*, 117, 108623.
- Choi, Y. M., Noh, D. O., Cho, S. Y., Suh, H. J., Kim, K. M., & Kim, J. M. (2006).** Antioxidant and antimicrobial activities of propolis from several regions of Korea. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7), p 756-761.
- Christou, A., Stavrou, I. J., & Kapnissi-Christodoulou, C. P. (2021).** Continuous and pulsed ultrasound-assisted extraction of carob's antioxidants: Processing parameters optimization and identification of polyphenolic composition. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105630.

## Références bibliographiques

---

---

**Dahmani, W., Elaoui, N., Abousalim, A., Akissi, Z. L. E., Legssyer, A., Ziyat, A., & Sahpaz, S. (2023).** Exploring carob (*Ceratonia siliqua* L.): A comprehensive assessment of its characteristics, ethnomedicinal uses, phytochemical aspects, and pharmacological activities. *Plants*, 12(18), 3303.

**Davidian, G. E., Gültekin, L., & Korotyaev, B. A. (2017).** A new subgenus of the weevil genus *Otiorhynchus* Germar, 1822 (Coleoptera: Curculionidae: Entiminae) for a new species from Mediterranean Turkey associated with the carob tree, *Ceratonia siliqua* L.(Fabaceae). *Journal of Insect Biodiversity*, 5(4), p 1-14.

**Deghdak, H., Zaiter, R. (2014).** Evaluation de l'activité antioxydante et anti inflammatoire de la plante médicinale algérienne *Inula viscosa* .( Mémoire de master , Université Constantine ) .

**Diallo, A. (2004).** Etude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium guineense* Willd. (MYRTACEAE). This is a doctorate. University of Bamako, Mali.

**Diallo, D., Sanogo, R., Yasambou, H., Traoré, A., Coulibaly, K., Maiza, A. (2004).** Etude des usages de *Ziziphus mauritiana* Lam. (Rhamnaceae).

**Didouche Y, 2012.** Valorisation d'un déchet industriel impact écologique/économique. Thèse doctorat, chimie de matière et environnement, Boumerdes. 110.

**Dohou, R., Yamni, K., Tahrouch, S., Hassani, L. I., Badoc, A., & Gmira, N. (2003).** Screening phytochimique d'une endémique iberomarocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bulletin-Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142(1/4), p 61-78.

**El Batal, H., Hasib, A., Dehbi, F., Zaki, N., Ouatmane, A., & Boulli, A. (2016).** Assessment of nutritional composition of Carob pulp (*Ceratonia Siliqua* L.) collected from various locations in Morocco. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(9), p 3278-3285.

**El Kahkahi R, Moustaine M, Zouhair R, Errakhi R and Ait Chitt M.** Phytochemical, Nutritional and Pharmacological Potentialities of Carob (*Ceratonia siliqua* L.): A Review. *Austin J Plant Biol*. 2022 ; 8(1) : 1032.

## Références bibliographiques

---

---

**El Kahkahi, R., Moustaine, M., Mouhajir, A., Bachir, S., Lemrhari, A., Zouhair, R., & Errakhi, R. (2016).** Technical sheet on the culture carob tree (*Ceratonia Siliqua L.*) in Morocco.

**El Khorchani, A., Elhaj, A., MEZNI, F., Slama, A., Ayari, F., Bessouda, B., ... & Khaldi, A. (2023).** Guide sur les Techniques de Reproduction et de Multiplication du Caroubier en Tunisie.

**Essahibi, A., Benhiba, L., Ghoulam, C., & Qaddoury, A. (2021).** Effectiveness of arbuscular mycorrhizas in improving carob culture in the Mediterranean regions. *Symbiotic Soil Microorganisms: Biology and Applications*, p 129-145.

**Fidan, H., Stankov, S., Petkova, N., Petkova, Z., Iliev, A., Stoyanova, M., ... Ercisli, S. (2020).** Evaluation of chemical composition, antioxidant potential and functional properties of carob (*Ceratonia siliqua L.*) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), p 2404– 2413.

**Gadoum Abdelkader .**Contribution à l'étude de la biologie de *Cératonia siliqua L* :Effetsdudéficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Université des sciences et de technologie Houari Boumediene, 2020, 11.

**Gadoum, A., Chahbar, M., Adda, A., Sahnoune, M., & Aid, F. (2021).** Morphometrical Variation of Carob tree (*Ceratoniasiliqua L*) in Algeria. *Genetics & Biodiversity Journal*, 5(2), p 103-115.

**Georgieva, M., Manios, Y., Rasheva, N., Pancheva, R., Dimitrova, E., & Schaafsma, A. (2016).** Effects of carob-bean gum thickened formulas on infants' reflux and tolerance indices. *World journal of clinical pediatrics*, 5(1), 118.

**Gezer, B., Kose, U., Zubov, D., Deperlioglu, O., & Vasant, P. (2019).** Determining optimum carob powder adsorbtion for cleaning wastewater: intelligent optimization with electro-search algorithm. *Wireless Networks*, 26(8), p 5665-5679.

**Ghazi F., Sahraoui S., 2005.** Evolution des composés phénoliques et des caroténoïdes totaux au cours de la maturation de deux variétés de dattes communes : Tantboucht et Hamraïa. Mémoire d'ingénieur .Institut national d'agronomie. Alger, 81 .

**Gillet, S. (2018).** Etude des relations entre la Structure des Galactomannanes de Caroube et leurs Proprietes Fonctionnelles.

## Références bibliographiques

---

---

**Gillet, S., Blecker, C., Paquot, M., & Richel, A. (2014).** La relation structure chimique–propriétés physiques des galactomannanes extraits de la caroube. *Comptes Rendus Chimie*, 17(4), p 386-401.

**Giovino, A., Marchese, A., Bonanno, F., Sala, G., Marra, F. P., & Domina, G. (2024).** Morphological and molecular characterization of Sicilian carob (*Ceratonia siliqua* L.) accessions. *Caryologia*, 76(3), p 39-49.

**Gioxari, A., Amerikanou, C., Nestoridi, I., Gourgari, E., Pratsinis, H., Kalogeropoulos, N., ... & Kaliora, A. C. (2022).** Carob: A sustainable opportunity for metabolic health. *Foods*, 11(14), 2154.

**Goulas, V., & Georgiou, E. (2019).** Utilization of carob fruit as sources of phenolic compounds with antioxidant potential: Extraction optimization and application in food models. *Foods*, 9(1), 20.

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

**Guendouz, R., Mansouri, K., Helali, A. (2022).** Assistante en Pharmacognosie, M. Etude botanique et physico-chimique de l'écorce et de la feuille du Caroubier. Diplôme de docteur en pharmacie, Université Telemcen, Faculté de Medcine,95.

**Hagerman, A.E., Muller, H. I., Makkar, H.P.S. (2000).** Quantification of tanins in treefoliage. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture., Vienna. Haleng, J., Pinecemail, J., Defraigne, J.O., Charlier, C., Chapelle, J.P. (2007). The stress oxidant. *Revue Medicale de Liege*, 62(10), p 628-638.

**Harrar, A. (2018).** Activités antioxydante et antimicrobienne d'extraits de *Rhamnus alaternus* L (Doctoral dissertation).

**Hebi, M., & Eddouks, M. (2016).** Évaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*. *Phytothérapie*, 14(1), p 17-22.

**Higazy, M., ELDiffrawy, E., Zeitoun, M., Shaltout, O., & El-Yazeed, A. (2018).** Nutrients of carob and seed powders and its application in some food products. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 23(1), p 130-147.

## Références bibliographiques

---

---

**Hotantail, 1999.** Détergents et produits de soins corporels, Paris, Dunod, 479.

**Hsouna, A. B., Alayed, A. S., & Abdallah, E. M. (2012).** Evaluation of antimicrobial activities of crude methanolic extract of pods of *Ceratonia siliqua* L. against some pathogens and spoilage bacteria. *African Journal of Microbiology Research*, 6(14), p 3480-3484.

**Ikram, A., Khalid, W., Wajeaha Zafar, K. U., Ali, A., Afzal, M. F., Aziz, A., ... & Koraqi, H. (2023).** Nutritional, biochemical, and clinical applications of carob: A review. *Food Science & Nutrition*, 11(7), p 3641-3654.

**Iqbal, H., Moneeb, U.R., Rehman, K., Raiz, U., Zia, M., Naeem, K., Farhat, A.K., Zahoor, U., Sajjad, H. (2011).** Phytochemicals screening and antimicrobial activities of selected medicinal plants of Khyberpakhtunkhwa Pakistan African. *Jornal of Pharmacology*, 5(6), p 746-750.

**Kaderi, M., Hamouda, G. B., Zaeir, H., Hanana, M., & Hamrouni, L. (2015).** Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua* (L.). *Phytothérapie*, 2(13), p 144-147.

**Khelouf, I., Jabri Karoui, I., & Abderrabba, M. (2023).** Chemical composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of carob pulp (*Ceratonia siliqua* L.) from Tunisia. *Chemical Papers*, 77(10), p 6125-6134.

**Koffi, N., Beugré, K., Guédé, N.Z., Dossahoua, T., Laurent, A. (2009).** Screening the phytochemistry of medical plants if used in Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire). *Sciences & Nature*, 6(1), p 1-15.

**Konate, I. (2007).** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées.

**Laaraj, S., Hussain, A., Mouhaddach, A., Noutfia, Y., Gors, F. I., Yaqub, S., ... & Elfazazi, K. (2024).** Nutritional benefits and Antihyperglycemic potential of carob fruit (*Ceratonia siliqua* L.): an overview. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(3), p 124-132.

**Laaraj, S., Salmaoui, S., Addi, M., El-Rhouttais, C., Tikent, A., Elbouzidi, A., ... & Elfazazi, K. (2023).** Carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed constituents: A comprehensive review of composition, chemical profile, and diverse applications. *Journal of Food Quality*, 2023.

## Références bibliographiques

---

---

**Lakache, Z., Tigrine, C., Aliboudhar, H., & Kameli, A. (2021).** Composition chimique, activités anti-inflammatoire, antalgique et cytotoxique in vivo de l'extrait méthanolique des feuilles d'*Olea europaea*. *Phytothérapie*, 19(2), 83.

**Loullis, A., & Pinakoulaki, E. (2018).** Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications. *European Food Research and Technology*, 244, p 959-977.

**Lukić, M., Pantelić, I., & Savić, S. D. (2021).** Towards optimal pH of the skin and topical formulations: From the current state of the art to tailored products. *Cosmetics*, 8(3), 69 .

**Mahdad, M. (2022).** Caractérisation Par L'outil Morphométrique, Physico-chimique Et Moléculaire De La Diversité Génétique Chez *Ceratonia Siliqua L.* : Identification Et Sélection Des Premiers Cultivars De Caroubier En Algérie [Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen].

**Mahdad, M. Y., & Gaouar, S. S. (2016).** Le Caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans le Nord-ouest de l'Algérie : Situation et perspectives d'amélioration. Éditions universitaires européennes.

**Mahdad, Y. M., & Gaouar, S. B. S. (2023).** Origin, distribution and domestication of the carob tree (*Ceratonia siliqua L.*). *Turkish Journal of Botany*, 47(2), p 89-96.

**Mansouri, F. E., Silva, J. C. E., Cacciola, F., Asraoui, F., Tayeq, H., Ben Amar, Y. M., ... & Brigui, J. (2022).** Evaluation of different extraction methods on the phenolic profile and the antioxidant potential of *Ceratonia siliqua L.* pods extracts. *Molecules*, 27(19), 6163.

**Martins-Loução, M. A., Correia, P. J., & Romano, A. (2024).** Carob: A Mediterranean Resource for the Future. *Plants*, 13(9), 1188.

**Meziou–Chebouti, N., Merabet, A., Behidj, N., Kirouani, M., & Aliouat, S. (2015).** Chemical composition and antibacterial activity of *Ceratonia siliqua L.* growing in Boumerdes (Algeria). In *Proceedings of the International Conference on Biology and Biomedical Engineering (BBE 2015)*. Vienna, Austria (pp. 96-99).

## Références bibliographiques

---

---

**Mumtaz, S., Mumtaz, S., Ali, S., Tahir, H. M., Kazmi, S. A. R., Mughal, T. A., & Younas, M. (2021).** Evaluation of antibacterial activity of vitamin C against human bacterial pathogens. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e247165.

**Najjaa, N., Zouari, S., Arnault, I., Auger, J., Emna, A., Neffati, M. (2011).** Differences and similarities in secondary metabolism in different genres *Allium Alliumroseum* L. and *Allium ampeloprasum* L. *Acta Bot. Gallica*, 158(1), p 111-123.

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

**NDIOR, T., NIANG, L., Kébé, M., Ndour, M. L., Faye, A., Ibrahima, B. A., ... & Moussoukoye, D. I. O. P. (2023).** A comparative study of the antioxidant activities of three series of first-and second-generation PPI dendrimers (G1 and G2) functionalized by 2-hydroxy-P-naphthoquinone. *Baghdad Journal of Biochemistry and Applied Biological Sciences*, 4(03), p 124-135.

**Ouis, N., & Hariri, A. (2018).** Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils of *Ceratonia siliqua*. *Banat's Journal of Biotechnology*, 9(17), p 13-23.

**Ouzounidou, G., Vekiari, S., Asfi, M., Gork, M. G., Sakcali, M. S., & Ozturk, M. (2012).** Photosynthetic characteristics of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) and chemical composition of its fruit on diurnal and seasonal basis.

**Palaiogianni, A., Stylianou, M., Sarris, D., & Agapiou, A. (2022).** Carob-agro-industrial waste and potential uses in the circular economy. In *Mediterranean Fruits Bio-Wastes: Chemistry, Functionality and Technological Applications* (pp. 765-797). Cham: Springer International Publishing.

**Papaefstathiou, E., Agapiou, A., Giannopoulos, S., & Kokkinofa, R. (2018).** Nutritional characterization of carobs and traditional carob products. *Food science & nutrition*, 6(8), p 2151-2161.

**Popovici, C., Saykova, I., Tylkowski, B. (2009).** Evaluation of the anti-oxidant activity Composed of phenols due to the reaction with the radical libre DPPH. *Revue of the generation industry*, 4, p 25-39.

## Références bibliographiques

---

---

**Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., ... & Trotin, F. (2000).** Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of ethnopharmacology*, 72(1-2), p 35-42.

**Ribereau – Gayon p (1968).** Les composés phénoliques des végétaux. Edition Dumond, paris.

**Rima, K. (2021).** Morpho-ecological and phytochemical characterization of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Algeria. Ph.D., (Doctoral dissertation, University Ziane Achour, Djelfa).

**Rodriguez-Solana, R., Romano, A., & Moreno-Rojas, J. M. (2021).** Carob pulp: A nutritional and functional by-product worldwide spread in the formulation of different food products and beverages. A Review. *Processes*, 9(7), 1146.

**Rtibi, K., Selmi, S., Grami, D., Amri, M., Eto, B., El-Benna, J., ... & Marzouki, L. (2017).** Chemical constituents and pharmacological actions of carob pods and leaves (*Ceratonia siliqua* L.) on the gastrointestinal tract: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 93, p 522-528.

**Sbay H. (2008).** Le caroubier au Maroc Un arbre d'avenir, Centre de recherche forstière Rabat. Maroc.

**Sbay, H. & Lamhamedi M. S. (2015).** Guide pratique de multiplication végétative des espèces forestières et agroforestières : Techniques de valorisation et de conservation des espèces à usages multiples face aux changements climatiques en Afrique du Nord. Royaume du Maroc, haut-commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, centre de recherche forestière, p 1-34.

**Tous, J., Romero, A., & Batlle, I. (2013).** The Carob tree: Botany, horticulture, and genetic resources. *Horticultural Reviews* Volume 41, p 385-456.

**Tzatzani, T. T., & Ouzounidou, G. (2023).** Carob as an Agrifood Chain Product of Cultural, Agricultural and Economic Importance in the Mediterranean Region .*Journal of Innovation Economics & Management* :I140 à 21.

**Varnava, A. I., Manganaris, G. A., & Stavriniades, M. C. (2023).** Assessing the biodiversity and the impact of pollinators on carob production. *Plos one*, 18(10), e0291431.

## Références bibliographiques

---

---

**Vivian, O. P., Nathan, O., Osano, A., Mesopirr, L., & Omwoyo, W. N. (2014).** Assessment of the physicochemical properties of selected commercial soaps manufactured and sold in Kenya.

**Yatmaz, E., & Turhan, I. (2018).** Carob as a carbon source for fermentation technology. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 16, p 200-208.

**Ydjedd, S., Chaala, M., Richard, G., Kati, D. E., López-Nicolás, R., Fauconnier, M. L., & Louaileche, H. (2017).** Assessment of antioxidant potential of phenolic compounds fractions of Algerian *Ceratonia siliqua* L. pods during ripening stages. *International Food Research Journal*, 24(5).

**Zahra, G. F., Larbi, B., Meriem, B., Houria, M., Chaima, M., & Badiia, B. (2021).** Phytochemical constituents and biological activities of *Ceratonia siliqua* L. leaves grown in western Algeria. *Int J Res Biosci IJRBS*, 1, p 9-16.

**Zeaiter, A. (2018).** Intensification par détente instantanée contrôlée (DIC) de la fonctionnalisation physico-chimique [sic] des graines végétales (caroube et tournesol) (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle ; Université Libanaise).

**Zhu, B. J., Zayed, M. Z., Zhu, H. X., Zhao, J., & Li, S. P. (2019).** Functional polysaccharides of carob fruit: a review. *Chinese medicine*, 14(1), 40 p .

### Les Sites d'internet

**Site web 1 :** Nemchinova, I , Caroubes à la poudre de caroube. Gousses de caroube douce bio saines avec des graines et des feuilles sur fond blanc. Disponible sur : [https://fr.123rf.com/photo\\_132159639\\_carob-beans-with-carob-powder.-healthy-organic-sweet-carob-pods-with-seeds-and-leaves-on-white-background.html](https://fr.123rf.com/photo_132159639_carob-beans-with-carob-powder.-healthy-organic-sweet-carob-pods-with-seeds-and-leaves-on-white-background.html).

**Site web 2 :** *Ceratonia siliqua* - Carob Tree - The Seed Vine. (2024, 16 mai). The Seed Vine. Disponible sur : <https://theseedvine.com.au/product/ceratonia-siliqua/>

**Site web 3 :** Le Caroubier, *Ceratonia siliqua*. Disponible sur : <https://floredecrete.blogspot.com/2014/08/le-caroubier-ceratonia-siliqua.html?m=1>

**Site web 4 :** *Ceratonia siliqua*, commonly known as the carob tree or carob bush, St John's-bread or locust. Disponible sur : <https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/ceratonia-siliqua-commonly-known-carob-tree-1122263840>

## Références bibliographiques

---

---

**Site web 5:** Gerbeaud. (2024, 13 février). Caroubier (*Ceratonia siliqua*). Disponible sur : <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/caroubier-ceratonia-siliqua,3034.html>

**Site web 6:** *Ceratonia Siliqua* (Caroubier)-LA FORET COMESTIBLE. Disponible sur : <https://laforetcomestible.org/plante/ceratonia-siliqua-caroubier/>

**Site web 7:** Mifsud, S., *Ceratonia siliqua* (Carob) : MaltaWildPlants.com - the online Flora of the Maltese Islands. Stephen Mifsud (Malta) 2002-2022. Disponible sur : [https://www.maltawildplants.com/CSPL/Ceratonia\\_siliqua.php](https://www.maltawildplants.com/CSPL/Ceratonia_siliqua.php)

**Site web 8:** Chocolate-like Carob Tree (*ceratonia siliqua*) 2024. Disponible sur : <https://urbantropicals.com/product/chocolate-like-carob-tree-ceratonia-siliqua/>

**Site web 9 :** CAROB TREE ORGANIC SEEDS. Disponible sur : [https://www.etsy.com/fr/listing/1273463790/graines-biologiques-de-caroubier-graines?load\\_webview=1&bid=o-vo20mLAC\\_3yVTLLj9d46sT9QQc%E2%80%8F](https://www.etsy.com/fr/listing/1273463790/graines-biologiques-de-caroubier-graines?load_webview=1&bid=o-vo20mLAC_3yVTLLj9d46sT9QQc%E2%80%8F)

**Site web 10 :** *Ceratonia siliqua* L. . Disponible sur : <https://floraofgibraltar.myspecies.info/dicots/ceratonia-siliqua-1>

**Site web 11 :** The Carob tree (*Ceratonia siliqua*), Oludeniz (Turkey) Jun 20, 2012. Dutch name: Johannesbroodboom. Disponible sur : [https://www.jungledragon.com/image/67931/the\\_carob\\_tree\\_ceratonia\\_siliqua\\_oludeniz\\_turkey\\_jun\\_20\\_2012.\\_dutch\\_name\\_johannesbroodboom.html](https://www.jungledragon.com/image/67931/the_carob_tree_ceratonia_siliqua_oludeniz_turkey_jun_20_2012._dutch_name_johannesbroodboom.html)

**Site web 12 :** Growing trees from carob seed. Disponible sur : <https://www.greenidiom.com/carob-seed.html>