

République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Saad Dahleb Blida-1



Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences alimentaires
Laboratoire science, Technologie Alimentaires et Développement Durable
Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Nutrition et pathologie
Filière : Sciences alimentaires
Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Thème :

Valorisation De La Caroube dans La Panification

Date de soutenance :16/07/2022

Présenté par :

- **DERBAL AMINA**
- **ALANE HANIFA**
- **HAMMOUDI Leila**

Devant le jury :

M^{me} KOUIDRI .A	MCA	Université Blida-1	Présidente
M^{me} HADJADJ.N	MCA	Université Blida-1	Examinatrice
M^{me} REBZANI.F	MCB	Université Blida-1	Promotrice

Promotion : 2021-2022

REMERCIEMENTS :

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir ouvert les portes du savoir et nous avoir données la volonté, la patience, la force ainsi que le courage afin de parvenir à la réalisation de ce travail.

-Nous remercions respectueusement s'adressent à notre promotrice, madame Rebzani. Maître de conférences B à l'université de Blida 1 pour nous avoir proposé cet intéressant sujet, nous la remercions aussi pour sa gentillesse et sa spontanéité, nous reconnaissons sa grande implication dans ce travail par ses directives, ses remarques et ses suggestions, mais aussi par ses encouragements et ses précieux conseils dans les moments clés de l'élaboration de ce mémoire qui durant lequel, elle a partagée avec nous ses connaissances et ses expériences et aussi de sa patience, et sa disponibilité et le temps qu'elle nous a accordée afin que nous puissions finaliser ce travail.

-Nos vifs remerciements, nos respects et notre gratitude vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions, en l'occurrence nos enseignants : Mme Kouidri. A, d'avoir acceptée de présider le jury et Mme Hadjadj. N qui a pris la peine d'examiner et d'évaluer notre travail.

Un grand merci pour tous nos professeurs de département d'Agro-alimentaire.

Enfin ne saurions oublier toutes les personnes de près ou de loin qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce modeste travail.

DÉDICACE

Mes remerciements vont tout d'abord au bon « **ALLAH** » pour la volonté et la patience qu'il m'a donné durant ces longues années d'étude afin que je puisse arriver à ce stade.

Je dédie ce modeste travail :

- Au personne le plus chère au monde Ma mère « **Akila** » qui est la lumière des mes yeux .pour votre amour, votre affection, votre soutien constant, et sans qui je ne serais pas arrivée jusqu'ici.
- À mon chère père « **Abdelkader** », que je souhaitais être avec moi ce jour-la, me voir ou il souhaitait.
- À mes chères cœurs **Razika** et **Asmaa**, vous étiez toujours là pour m'écouter.
 - À mon fiancé **Nasseredine**, Merci pour tout le soutien, m'encourager dans les moments difficiles.
 - À mes chères amies « **Khaoula , Maroua, Karima** »
 - À tous ma famille, Ma tante **Fatima**, mes oncles **Fayçal** et **Ibrahim**.
- À mes cousins « **Chahinez,Djihane, Alae, Abdelilah, iserae, kater nada** »

Amina.

DÉDICACE :

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail :

Aux deux personnes qui me sont les plus chères, mes parents, ceux qui m'ont éclairé le chemin de la vie et ne cessent jamais de m'encourager, qui m'ont soutenu avec leur patience et qui m'ont mené à cet aboutissement

Que Dieu protège ma mère et la garde et l'accorde la bonne santé, le bonheur et une longue vie, et ayez pitié de l'âme pure de mon père ; ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consenti pour mon éducation et ma formation et témoigne d'amour que j'ai toujours ressenti pour vous. J'espère qu'un jour, je pourrais leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi

A mes chères sœurs : Amina et Nacira et leurs maris, et mon petit frère Tadj eddine.

A ma très chère grand-mère.

A mon chère mari que dieu le protège pour le soutien qu'il me partage les moments de stress, de peur, de larmes et de joie.

A mes chères tantes ; Ghania , Merièm.

A tous mes oncles Ahmed, Mohamed, Belkacem, Mourad, Nessrdine....

A mes très chères cousins : Malek, Nazih, Yacine.

A mes adorables amies ; Maroua, Rania, Amina.

A mes chères Amina Derbal et Hammoudi leila que j'ai l'honneur de travailler avec elles et qu'on a partagé ensemble les moments de stress et la fatigue.. En leur souhaitant une bonne continuation dans leurs travaux.

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

A tous les étudiants de la promo 2021-2022 en Nutrition et Pathologie

A tous qui sacrifient leur temps pour la science et à tous ceux qui utilisent la science pour l'humanité.

Hanifa.

DÉDICACES

Je dédie cet humble travail :

- A mon cher et tendre **MAMA Aisha** est une source d'affection et de courage

De l'inspiration qui a tant sacrifié pour me voir

Jusqu'à ce jour.

- A Abi **Muhammad**, la source du respect, Pour exprimer ma profonde gratitude à Tous les efforts et le soutien continu qui ont toujours été amené.

_ À mon soutien moral, l'homme de ma vie est mon mari,

Chérif

- A toute ma chère famille et amis.

Leila.

Résumé

Le but de notre étude est orienté vers la possibilité d'utiliser la poudre de caroube comme source alimentaire, qui est une plante utilisée en médecine traditionnelle. La poudre de caroube, qui a une valeur nutritionnelle élevée, a été utilisée dans la formulation de six produits de crêpes. La caroube est broyée de façon artisanale et utilisée comme ingrédient de base dans des crêpes avec des valeurs (5%, 10%, 30%, 70%, 100%, 0%). Après avoir procédé à une analyse sensorielle, le produit a une valeur de 30% et 70% sur acceptation générale par les juges. De là, la poudre de caroube peut être utilisée pour d'autres préparations alimentaires.

Les mots clés :

Caroube, poudre de caroube, crêpe, analyse sensorielle

ملخص

الهدف من دراستنا هذه موجه نحو إمكانية استخدام مسحوق الخروب كمصدر للغذاء الذي يعتبر نباتاً استخدم في الطب التقليدي. تم استخدام مسحوق الخروب ذو قيمة غذائية عالية في صياغة ستة منتجات البانكيك. يطحن الخروب بطريقة تقليدية و يستخدم كمكون أساسي في البانكيك بقيم (5%، 10%، 30%، 70%، 100%، 0%). بعد إجراء التحليل الحسي حضي المنتج ذو قيمة 30% و 70% على القبول العام من قبل الحكام ، ومنه يمكن استخدام مسحوق الخروب لتحضيرات غذائية اخرى.

الكلمات المفتاحية:

خروب, مسحوق الخروب, بانكيك, التحليل الحسي.

summary

The aim of our study is oriented towards the possibility of using carob powder as a food source, which is a plant used in traditional medicine. Carob powder, which has a high nutritional value, was used in the formulation of six pancake products. The carob is ground in an artisanal way and used as a basic ingredient in pancakes with values (5%, 10%, 30%, 70%, 100%, 0%). After carrying out a sensory analysis, the product has a value of 30% and 70% upon general acceptance by the judges. From there the carob powder can be used for other food preparations.

keywords:

Carob, carob powder, crepe, sensory analysis

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- Figure I.1 : Gousses de caroube vertes et gousses de caroube mûres.
- Figure I.2 : Feuilles de Ceratonia silique
- Figure I.3 : Fleurs mâle et femelle
- Figure I.4: photo personnelle Fruits matures « gousse »
- Figure I.5 : Graines de caroube
- Figure I.6 : l'écorce de caroube

- Figure I.7 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde
- Figure I.8 : Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques
- Figure I.9 : Principales étapes du bouturage ligneux chez le caroubier
- Figure I.10 : Principales étapes de greffage en fente terminale chez le caroubier
- Figure I.11 : Production mondiale de la caroube en 2017

Chapitre II : La Panification

- Figure II.1 : Le pétrissage
- Figure II.2 : Le pointage
- Figure II.3 : Le boulage
- Figure II.4 : Le façonnage
- Figure II.5 : L'apprêt
- Figure II.6 : Incision superficielle des pâtons
- Figure II.7 : La cuisson
- Figure II.8 : le défournement (ressuage)
- Figure II.9: le pain de tradition française
- Figure II.10 : Pain de compagne
- Figure II.11 : Pain complet
- Figure II.12 : Pain Bio
- Figure II.13 : Pain bis
- Figure II.14: Pain au levain
- Figure II.15 : Pain au sigle
- Figure II.16 : pain de caroube
- Figure II.17:kesra
- Figure II.18 :Khobzeddar
- Figure II.19 :Microstructure par MEB des pains préparés avec : a : MCT (bon) ; b : LCT (moyen) ; c : beurre (mauvais) ; échelle de mesure (500um)

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

- Figure III.1 Caroube
- Figure III.2 Gousses de caroubes Moulin traditionnel
- Figure III. 3. Four à maison / Raffinerie (tamis)
- Figure III.4. Bouteille en verre
- Figure III.5. La caroube
- Figure III.6. Nettoyage
- Figure III.7. Préparation pour le séchage
- Figure III.8. Séchage au four pendant 15 minutes à 100 C°
- Figure III.9. Pendant le séchage
- Figure III.10. Après le séchage
- Figure III.11. Concassage
- Figure III.12. Séparation de la pulpe et les graines
- Figure III.13. La mise des pulpes dans le moulin traditionnel pour les broyés
- Figure III.14. Après le broyage
- Figure III.15. Le tamissage
- Figure III.16. L'obtention et la conservation de poudre de caroube
-
- Figure III.17. Poudre de caroube.
- Figure III.18. Farine de blé Agrodif
- Figure III.19 : photo personnel de préparation du pancake.
- Figure III.20 : les résultats de séchage des pancakes à la fonction de temps
- Figure III.21. : Photo personnelle des 6 échantillons de pancakes à base de la farine de la caroube.
- Figure III.22. : Répartition des résultats des produits testés pour (LE GOÛT)
- Figure III.23 : Répartition des résultats des produits testés pour (L'ASPECT GÉNÉRALE)
- Figure III.24. : Répartition des résultats des produits testés pour (L'ODORA)
- Figure III.25.: Répartition des résultats des produits testés pour (LA COULEUR)

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

- **Tableaux I.1** : Classification botanique du genre *ceratonia*
- **Tableau I :2** : Production mondiale de caroube
- **Tableau I : 3** : Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (Tableau établi par l'auteur à partir des données fournies par la DSA)
- **Tableau I :4** : Utilisations de la gomme de caroube et ses applications
- **Tableau I : 5** : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg)
- **Tableau I.6:** Valeurs moyennes de la teneur en vitamines de la poudre de caroube.
- **Tableau I : 7** : composition chimique de caroube.

Chapitre III : Valorisation de pancake a base de caroube

- **Tableau III.1** : Formulation utilisées pour déterminer la combinaison optimale d'ingrédients pour les différents échantillons
- **Tableau III.2** : le séchage des pancakes à la fonction de temps
- **Tableau III.3** : Niveau d'acceptabilité des produits élaborés (pancake à base de différents pourcentage de poudre de caroube et la farine) par le panel de dégustateurs (Gout et Aspect générale)
- **Tableau III.4** : Niveau d'acceptabilité des produits élaborés (pancake à base de différents pourcentage de poudre de caroube et la farine) par le panel de dégustateurs (Odora et Couleur)

La liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique

ans : année

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

Cm : centimètre

CO₂ : Dioxyde de carbone

DGF : Direction générale des forêts

DSA : Direction des Services Agricole de la wilaya de Tlemcen

E.coli : Escherichia coli

EPE : Entreprise publique économique

SPA : société par actions

FAOSTAT: Food and Agriculture Organisation Corporate Statistical Database

FAO: Food and agricultural organization

g : Gramme

Hectare h : heure

J.C : Jésus-Christ

kJ/g : kilojoule par gramme

Kg : Kilogramme

LBG : Locust Bean Gum ou galactomannanes de graines de caroube

LCT : Triacylglycérols à chaîne moyenne

MAPA : Ambulatoire de la Pression Artérielle

MCT : Triacylglycérols à chaîne moyenne

MEB : La Microstructure Electronique à Balayage

mg : Milligramme

Mg/Kg : Milligramme par kilogramme

min : minutes mm : millimètres

MS : Matière sèche

NaCl : Chlorure de sodium

La liste des abréviations

OMS : Organisation mondiale de la santé

Qx /ha : quintaux par hectare

µg: Microgrammes

% : pourcentage

C° : Degri Celsius

Introduction

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Historique	03
I.2. Généralité.....	04
I.3. Origine.....	05
I.4.Taxonomie.....	06
I.4.1.Le Genre	06
I.4.2.L'espèce	06
I.5. Description et classification botanique.....	06
I.5.1. Description botanique.....	06
I.5.1.1 Le système racinaire.....	07
I.5.1.2.L'arbre.....	08
I.5.1.3.Les feuilles.....	08
I.5.1.4.Les fleurs.....	09
I.5.1.5.Les fruits.....	10
I.5.1.6.Les Graines.....	11
I.5.1.7.L'écorce.....	11
I.5.2.Classification botanique.....	12
I.6.Répartition géographique du caroubier.....	12
I.7.Situation du caroubier.....	13
I.7.1.Au niveau mondial.....	13
I.7.2.Au niveau National.....	14
I.8.Culture et écologie	15
I.8.1.Culture du caroubier.....	15
I.8.2. Multiplication du caroube	15

I.8.2.1.Le semis.....	15
I.8.2.2.Le bouturage.....	15
I.8.2.3.Le greffage.....	16
I.8.2.4.La micro propagation ou la culture in vitro du caroubier.....	17
I.9.Ecologie du caroubier.....	17
I.10.Production du caroubier	18
I.10.1.Mondiale.....	18
I.10.2.National.....	19
I.11.Importance de la caroube.....	20
I.11.1.L'importance écologique.....	20
I.11.2.L'importance économique.....	20
I.12.Utilisation de la caroube	21
I.12.1.Utilisationtraditionnelles.....	21
I.12.2.Utilisation thérapeutique.....	21
I.12.3.Utilisation cosmétique.....	22
I.12.4.Utilisation chimique.....	22
I.12.5.Utilisation de la pulpe de caroube	23
I.12.6.Utilisation de la graine de caroube.....	23
I.12.7.Utilisation en agroalimentaires	24
I.13.Composition biochimique et valeur nutritive	24
I.13.1.La composition et valeur de la pulpe.....	24
I.13.1.1 Les sucres.....	25
I.13.1.2.protéines et lipides	25
I.13.1.3.Les cendre.....	26

I.13.1.4.Les fibres.....	26
I.13.1.5.Les acides aminé.....	26
I.13.1.6.Les minéraux	27
I.13.2. L'humidité.....	28
I.13.3.Les cyclitols.....	28
I13.4.Les poly-phénols.....	28
I.14.La composition chimique et valeur du graine.....	29
I.14.1.La cuticule.....	29
I.14.2.L'endosperme.....	29
I.14.3. Le germe	30

Chapitre : La Panification

II.1.Généralité.....	32
II.1.1 La panification.....	32
II.1.2. Le pain.....	32
II.2.Technologie du Panification	32
II.2.1.matières premières.....	32
II.2.1.1. Farine.....	32
II.2.1.2.L'eau.....	32
II.2.1.3.Sel.....	33
II.2.1.4.Agents de fermentation.....	33
II.2.1.4.1.Levain.....	33
II.2.1.4.2. Levure de boulangerie.....	33
II.2.1.5.Améliorants.....	33
II.3.Les étapes de la panification	33

II.3.1.Patrissage.....	33
II.3.2.Première fermentation « pointage ».....	34
II.3.3.Division de la pâte en pâtons.....	35
II.3.4.Boulage.....	35
II.3.5.Détente.....	35
II.3.6.Façonnage.....	35
II.3.7 Deuxième Fermentation « apprêt ».....	36
II.3.8.Incision superficielle des pâtons	37
II.3.9.Cuisson	37
II.3.10.Ressuage.....	38
II.4.La conservation du pain.....	39
II.5.Les différents types de pains commercialisée.....	39
II.5.1.Le pain de tradition française (la baguette française).....	39
II.5.2.Le pain de compagne	40
II.5.3.Le pain complet.....	40
II.5.4.Le pain bio.....	41
II.5.5.Le pain bis.....	42
II.5.6.Le pain au levain.....	42
II.5.7.Pain spéciaux.....	43
II.5.7.1.Pain de mie.....	43
II.5.7.2.Pain viennois.....	43
II.5.7.3.Pain brioché.....	43
II.5.8.Pain au seigle.....	43
II.5.9.Pain fantaisies	43

II.5.9.1.Pain sportif.....	43
II.5.9.2.Autres pain.....	43
II.5.10.Le pain à base de la caroube	44
II.5.11.Kesra.....	44
II.5.12.Khobzeddar.....	44
II.6.Qualité du pain.....	45
II.7.Critères de qualité du pain.....	46
II.7.1.Volume.....	46
II.7.2.Texture.....	46
II.7.3.Structure alvéolaires	47
II.7.4.Humidité finale.....	47
II.7.5.Microstructure.....	48
II.7.6.Qualité nutritive.....	48
II.7.7.Carectères	49

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de la caroube

III.1.Objectifs	50
III.2.Origine de la caroube	50
III.3.Technologie de la poudre de caroube.....	50
➤ Matériel et méthode	50
III.3.1.Les matières premières.....	50
III.3.2. Procède d'obtention de la poudre de caroube...50	
III.3.3.La mouture de la caroube	51
III.3.3.1.Matériel.....	51

III.3.4.Les étapes de mouture de la caroube.....	52
III.4.Préparation de pancake.....	56
III.4.1.Les matières premières.....	56
III.4.2.Panel interne des jurys.....	56
III.4.3.Analyse sensorielle	58
III.5.Résultats et discussion	59
III.6.Conclusion.....	63
Conclusion.....	

L'utilisation des fruits de caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) dans l'alimentation est peu connue dans la plupart des régions du monde. Cependant, la caroube est loin d'être un aliment nouvellement découvert. Souligné par **Brandt (2002)**, l'utilisation de la caroube dans l'alimentation remonte à l'Antiquité. **Marakis (1996)** a rapporté que les populations pauvres dans le monde (par exemple en Grèce) ont consommé la caroube comme aliment de base pendant des centaines d'années.

Dans la société moderne, la principale utilisation industrielle de la caroube, ayant une forte valeur économique, réside dans ses graines d'où la gomme est extraite (**Albanell et al.1993 ; Biner et al.2007 ; Tous et al. 2009**). Cette gomme est communément appelé « gomme de caroube », obtenue en broyant l'endosperme des graines (**Goncalves et Romano, 2005**). La gomme de caroube présente de bonnes propriétés de rétention d'eau, elle est utilisée en industrie alimentaire comme stabilisant, épaississant et émulsifiant dans une large gamme de produits alimentaires (**Mattaus et ozcan, 2011**).

La pulpe de caroube, obtenue après séparation des graines, constitue une bonne source de fibres alimentaires, de sucres et d'une gamme de composés bioactifs tels que les *polyphénols*. Les composés bioactifs présents dans cette pulpe se sont révélés bénéfiques pour le contrôle de nombreux problèmes de santé tels que le diabète, les maladies cardiaques et le cancer du côlon en raison de leurs activités antidiabétiques, antioxydants et anti-inflammatoires (**Nassar-Abbas et al. 2016**). La pulpe de caroube a un haut potentiel d'utilisation en tant qu'ingrédient alimentaire (**Tsatsaragkou et al. 2014**). En effet, elle peut être transformée en poudre qui peut servir comme matière première pour l'industrie agroalimentaire. Des recherches ont montré que la caroube peut constituer un bon candidat pour être utilisée comme un aliment fonctionnel ou comme un ingrédient alimentaire (**Arribas et al.2019 ;Biernacka et al. 2017**) du fait qu'elle peut constituer une bonne source de *polyphénols* antioxydants (**Owen et al. 2003**). Une fois torréfiée, la pulpe de caroube développe des caractéristiques sensorielles (goût et couleur) similaires à ceux de la poudre de cacao (**Durazo et al. 2014**), mais et contrairement au cacao, la caroube ne contient pas le *théobromine* (stimulants), la caféine et l'acide oxalique (composé toxique lorsqu'il est consommé en grandes quantités) (**Biner et al. 2007**).

La **fabrication du pain** ou **panification** est le procédé technique qui permet de transformer de la farine en pain elle demande la maîtrise de la fermentation et de la cuisson. (**Djamel Drider, 20mai2009**). Pour faire un bon pain, il convient de choisir une bonne farine, riche en *caroténoïdes*, une eau de qualité sans excès de chlore ou de nitrates, et d'y incorporer une faible dose de sel et de levure. (**C.-M. Bourgeois,19 janvier 2006**).

L'homme et le pain partagent une longue histoire. Jamais le pain n'avait ressemblé à notre baguette. Demain, il changera encore, et il évoluera vers d'autres formes, d'autres compositions et d'autres goûts. L'évolution de l'agriculture, la sélection des blés ont aussi considérablement transformé la nature des farines. Demain, il faudra également définir les critères nutritionnels acceptables pour une farine, loin des seules caractéristiques physicochimiques de la valeur boulangère. Au final, il faut espérer que le pain restera l'aliment de base d'une partie de l'humanité, en se diversifiant et en améliorant sa valeur nutritionnelle. (**M. De Angelis et al. 2006**)

Longtemps le pain a été l'aliment de base le plus important des populations, ce qui explique qu'il soit porteur d'une image symbolique forte d'aliment nutritif essentiel à partager. Avec le changement des modes alimentaires, son avenir est loin d'être assuré surtout si sa genèse et sa consommation ne correspondent pas aux critères d'une alimentation durable et préventive. D'amont en aval, du champ à l'assiette, la filière blé-pain peut faire l'objet de nombreuses critiques. **(K. Poutanen *et al.* 2009)**

L'objet de ce travail est d'étudier la possibilité d'incorporation de la poudre de la caroube dans les produits alimentaires comme les pains.

Notre étude est articulée autour d'une :

-Partie bibliographique portant 2 chapitres autour des généralités sur la caroube et la panification.

-la deuxième partie est dédiée à une étude théorique sur le pancake à base de la caroube.

-Une conclusion générale

I.1 Historique

Le lieu d'origine du caroubier demeure inconnu. Selon **Petit et Pinilla (1995)**, cet arbre a été introduit par les Arabes dans la région méditerranéenne, en particulier en Espagne. Toutes les composantes de l'arbre sont utiles. Le fruit, très sucré, a été consommé dans les régions défavorisées, en particulier en temps de famine, même si la consommation humaine directe du fruit est actuellement anecdotique. Mais il peut aussi être utilisé pour l'alimentation des animaux domestiques (**Abi Azar, 2007**). Le bois est un bon combustible. Cette espèce ligneuse a été domestiquée depuis le néolithique (4000 ans avant J.C.), et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. (**Batlle et Tous, 1997**).

Le caroubier a été introduit très anciennement par les Grecs, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce, en Italie, en Espagne et au Portugal (**Rejeb, 1994**). Il a donc été cultivé par l'Homme depuis l'Antiquité.

Toutefois, le caroubier ne supporte pas des températures inférieures ou égales à -4°C et il ne peut survivre à des températures inférieures à -7°C . En revanche, il peut supporter des températures élevées allant jusqu'à 40°C accompagnées de vents secs (**Balle et Tous, 1997**).

Le caroubier dont l'origine semble être l'Est de la méditerranée est domestique depuis le néolithique 4000 ans avant J.C, et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. Il était connu dans le proche Orient et les îles de la Méditerranée. En Egypte les pharaons ont utilisé la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIe Siècle avant J.C). Le caroubier a d'abord été propagé par les grecques, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce et en Italie, en Espagne et au Portugal, ensuite il a été introduit en Amérique du Sud, du Nord et en Australie par les Espagnols, actuellement le caroubier se trouve aussi aux Philippines, en Iran, en Afrique du sud et en Inde (**Berrougi, 2007**).

La caroube est utilisée comme farine pour faire du couscous en Algérie. En Espagne et dans d'autres pays méditerranéens, elle est utilisée comme substitut du cacao pour la fabrication du chocolat et comme des sirop en Tunisie et en Egypte.

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* est dérivé du mot grec "Keras" signifiant petite corne et le nom d'espèce « *siliqua* » désigne en latin une siliqua ou gousse, en allusion à la dureté et la forme de la gousse. Cette espèce appartient au genre *Ceratonia* de la sous-famille des *caesalpinioideae*, de la famille des Fabacée (légumineuses), qui fait partie de l'ordre des *Fabales* (rosales), classe des *Magnoliopsida* (**Boudy, 1950**).

Le genre *Ceratonia* ; appartient à la famille des légumineuses, ordre des Rosales, sous famille des *Caesalpinioideae*. (**Quezel et Santa, 1962**).

I.2.Généralité.

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) de la famille des Fabacées, est une essence typiquement méditerranéenne largement répartie en Algérie sous forme de peuplements spontanés dans les zones côtières et semi-arides (**Benmahioul et al., 2011**) et cultivé depuis longtemps pour ses produits dérivés mais aussi pour sa résistance au déficit hydrique (**Biner et al., 2007**). Son fruit, la caroube, est utilisé depuis des milliers d'années pour traiter les maladies, tandis que son écorce et ses feuilles sont utilisées en médecine traditionnelle comme anti-diarrhéique et pour traiter la gastro-entérite infantile (**Ben Hsouna et al.,2011 ; El Bouzdoudi et al.,2017**). La caroube est utilisée par l'industrie alimentaire pour l'alimentation humaine et animale (**El Bouzdoudi et al.,2017**). Cet arbre peut également être planté pour limiter la propagation des incendies, ou à des fins décoratives dans les jardins et les bords de route. En définitive, le caroubier est toujours considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants du bassin méditerranéen. Car presque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorce et racines) sont encore utilisables.

Le caroubier a été utilisé depuis longtemps dans de nombreux en Algérie pour ces multiples intérêts (**Ait Chitt et al. 2007 ; Kaderi et al. 2015**). La caroube a été utilisée depuis la période précoloniale pour l'alimentation humaine et comme fourrage (**Sahle et al. 1992**). Elle est utilisée comme aliment d'engraissement et aliment énergétique (animaux de travail et de guerre) (**Louca et Papas, 1973**). Actuellement, la caroube est utilisée dans les industries des médicaments (**Aafi, 1996**) et agro-alimentaire comme épaississant, condiment, substitut de la gélatine, stabilisateur alimentaire et comme matière première pour la production du bioéthanol (**Ndir et al. 2000 ; Vourdoubas et al. 2002 ; Turhan et al. 2010 ; Bouhrem, 2019**).

On sait peu de choses sur l'utilisation du fruit de la caroube (*Ceratonia siliqua L.*) dans les aliments dans la plupart des régions du monde (**Ait Chitt et al. 2007 ; Kaderi et al. 2015**). Cependant, la caroube est loin d'être un aliment nouvellement découvert. (**Brandt.,2002**) souligne que l'utilisation de la caroube dans l'alimentation remonte à l'Antiquité (**Marakis.,1996**) rapporte que les pauvres du monde entier (par exemple en Grèce) consomment la caroube comme aliment de base depuis des centaines d'années.

Dans la société moderne, la principale utilisation industrielle de la caroube à haute valeur économique est la graine pour l'extraction de la gomme (**Albanell et al., 1993 ; Biner et al., 2007 ; Tous et al., 2009**). Souvent appelée « gomme de caroube », cette gomme est obtenue par broyage de l'endosperme des graines (**Goncalves et Romano, 2005**). La gomme de caroube a une bonne rétention d'eau et est utilisée dans l'industrie alimentaire comme stabilisant, épaississant et émulsifiant pour une variété d'aliments (**Mattaus et ozcan, 2011**)

La pulpe de caroube obtenue après séparation des graines est une bonne source de fibres alimentaires, de sucres et d'une gamme de composés bioactifs tels que les *polyphénols*. Les composés bioactifs présents dans cette pulpe se sont avérés bénéfiques dans la gestion de nombreux problèmes de santé, tels que le diabète, les maladies cardiaques et le cancer du

Chapitre I : Synthèse bibliographique

côlon, en raison de leurs activités antidiabétiques, antioxydants et anti-inflammatoires (Nassar-Abbas et al., 2016). La pulpe de caroube a un fort potentiel d'utilisation comme ingrédient alimentaire (Tsatsaragkou et al., 2014). En fait, il peut être transformé en une poudre pouvant être utilisée comme matière première pour l'industrie alimentaire.

La recherche suggère que la caroube pourrait être un bon candidat pour être utilisée comme aliment fonctionnel ou ingrédient alimentaire (Arribas et al., 2019 ; Biernacka et al., 2017), car elle pourrait être une bonne source de *polyphénols* antioxydants (Owen et al., 2003). Après torréfaction, le profil sensoriel (goût et couleur) de la pulpe de caroube est similaire à celui de la poudre de cacao (Durazo et al., 2014), mais contrairement au cacao, les graines de caroube ne contiennent pas de bromure de soufre (un stimulant), de caféine et d'acide oxalique. (Un composé toxique lorsqu'il est consommé en grande quantité) (Biner et al. 2007).

La caroube est une gousse constituée de pulpe entourant la graine. La pulpe est très riche en sucre, plus que la canne à sucre et la betterave (Ayaz et al.2007). Par conséquent, il est utilisé pour préparer des jus sucrés, des substituts de chocolat et de cacao, des biscuits, crème glacée, etc (Bengoechea et al., 2008). En plus des glucides, la pulpe est riche en fibres alimentaires et en protéines, ainsi qu'en tanins et en *polyphénols*, qui confèrent à la caroube son activité antioxydant (Makris et Kefalas, 2004 ; Bernardo-Gil et al., 2011 ; Sebai et al., 2013) et des propriétés thérapeutiques telles que néphroprotectrices (Ahmed, 2010) et antiprolifératives (Corsi et al.,2002), ainsi que les cendres (Yousif et Alghzawi et al., 2000). En Europe, cependant, la gomme de caroube reste la graine la plus utilisée industriellement, et la gomme de caroube est un texturant (E410) considéré comme un additif par l'industrie alimentaire, notamment dans les crèmes glacées (Goulas et al .,2016) . Au Liban, la pulpe est couramment utilisée pour préparer du sirop de caroube ou Dibs el Kharroub, un succédané de sucre qui ressemble à un sirop brun épais (Goulas et al .,2016).

I.3.Origine

Le centre d'origine du caroubier demeure aberrant, puisqu'il existe plusieurs hypothèses émanant d'un désaccord entre différents auteurs. (Schweinfurth.,1894) avait insinué qu'il est originaire des pays montagneux du Sud d'Arabie (Yémen). La découverte de la nouvelle espèce de caroubier *Ceratoniaoreoethauma* Hillc., Lewis and Verde., considérée comme une espèce plus ancienne que *Ceratoniasiliqua* et survivant dans les montagnes de l'Arabie (Oman) et de la Somalie (Hillcoat et al., 1980) semble appuyer la précédant hypothèse. Par contre, Vavilov (1951) et De Candolle (1983) ont rapporté qu'il serait natif de la région Est méditerranéenne (Turquie et Syrie). Tandis-que des études *archéobotaniques* menées à partir de restes carbonisés de bois et de fruits ont démontré que le caroubier était présent dans la méditerranée orientale au néolithique (4000 ans av. J.-C.) période initiale de la domestication des espèces ligneuses (Estrada et al., 2006). Par ailleurs, Zohary (1973) considère le caroubier comme une relique procédant de la flore Indo-Malaisienne dont sont aussi issus les groupes *Olea*, *Laurus*, *Myrtus*, et *Chamaerops*. Cette dernière hypothèse selon laquelle le

Chapitre I : Synthèse bibliographique

caroubier aurait une origine tropicale, trouve ses arguments à partir de caractéristiques physiologiques importantes propres à l'espèce notamment, l'existence d'une période de floraison tardive (Juillet-Octobre), inhabituelle chez les arbres et arbustes méditerranéens et la présence d'un contenu enzymatique photosynthétique de "type C4" (caractéristique des plantes de climat chaud) durant les premières étapes de son développement et qui par la suite est inhibé une fois la plante adulte (**Catarino et Bento-Pereira, 1976**). Aussi, la longévité des feuilles qui est quasiment le double que chez la majorité des espèces méditerranéennes, les plus communes, tend à confirmer l'origine tropicale de la plante (**Catarino, 1993**).

I.4 Taxonomie

I.4.1 Le Genre : *Ceratonia*

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des Légumineuse (*Fabaceae*) de l'ordre des Rosales (Fabales). Ce genre renferme en plus de *Ceratonia siliqua*, deux autres espèces : *Ceratonia aoreothauma* qui est natif d'Arabie (Oman) et *Ceratonia somalensis* originaire du nord de la Somalie (**Battle et Tous, 1997 ; Benmahioul et al., 2011**).

I.4.2 L'espèce : *Ceratonia siliqua* L.

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L., proposé par Linné est dérivé du nom latin *Ceratonia* où trouve ses racines dans le nom grec "Keras" signifiant « petite corne » en référence à ses caroubes, gousses en formes de cornes à maturité (**Albanell, 1990**). Le nom d'espèce *siliqua* désigne également mais en latin une silique ou gousse (**Battle et Tous, 1997**). Sa popularité lui a valu différentes appellations telles que : carouge, figuier d'Egypte, fève de Pythagore et Pain de Saint Jean-Baptiste, selon la croyance que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert, lequel a donné origine à la dénomination "pain de Saint Jean-Baptiste" (**Albanell, 1990 ; Berrogui, 2007**).

Le mot caroubier en français, il est connu en Angleterre sous les noms : Algaroba, carob, carob tree. Selon **Bock (2012)**, il est connu en Italie (carrubo), en Espagne (Algarrobo, Garrofer, Garrover), aux Pays-Bas (Johannesbroodboom), en Allemagne (Bockshornbaum, Johannisbrotbaum, Karobenbaum). Le nom commun serait d'origine hébraïque "Karuv" "dérivés tels al kharroube en arabe, tislighwa en tamazight et ahkhabon en berbère (**Rejeb, 1995 ; Battle et Tous, 1997 ; Abi azar, 2007**).

I.5. Description et classification botanique

I.5.1. Description botanique

Le fruit est appelé caroube c'est une gousse indéhiscente, allongée comprimée, droite ou courbé épaissi au niveau des sutures, 13 à 30 cm de long, 1,5 à 3,5 cm de large et environ 1cm d'épaisseur avec apex. Les gousses sont brunes avec une surface ridée et sont coriace à maturité. la pulpe comprend une couche externe coriace (*péricarpe*) et plus douce région

Chapitre I : Synthèse bibliographique

intérieur (*mésocarpe*). Les graines se trouvent dans la gousse transversalement, séparées par le mésocarpe (Batlle et al., 1996).

La caroube est riche en tanins et en sucres, dont le saccharose représente 65 à 75% des sucres totaux. Quant aux taux de protéines et de lipides, ils sont faibles (Petit et al., 1995).

La fève de caroube, dépourvue de ses graines, est un édulcorant naturel utilisé comme substituant du cacao et du chocolat, elle présente l'avantage d'être exempte de théobromine et de caféine contrairement au cacao et au chocolat qui en contiennent des quantités importantes (Yousif et al., 2000).

Pour les graines, elles constituent environ 10% de sa masse (Petit et al., 1995 ;Bouzouita et al., 2007).

Leur nombre varie généralement entre 10 et 15. Elles ont longtemps été employées comme unité de mesure des diamants et des pierres précieuses. Un carat correspond à la masse d'une graine de caroube soit environ 200 mg (Dakiaetal., 2003).



Figure I .1 : Gousses de caroube vertes et gousses de caroube mûres. (Photo prise à Hammam Melouane Blida 2021)

La graine de caroube est recouverte d'une enveloppe résistante de couleur brune : les téguments (Dakia et al., 2007).

En-dessous de ceux-ci se trouve l'endosperme (Figure 4). Il est majoritairement constitué de *galactomannanes* (Daas et al., 2000).

Après diverses étapes de purification de l'endosperme, la gomme de caroube est obtenue.

On remarque également la présence d'une radicelle. Celle-ci possède une valeur énergétique élevée due à son taux important de protéines principalement solubles dans l'eau et de lipides majoritairement insaturés. Elle est employée pour la nutrition du bétail et comme aliment diététique (Dakia et al., 2007).

I.5.1.1.Le système racinaire :

Cet arbre développe un système racinaire pivotant, qui peut atteindre 18m de profondeur (Benmahioul et al.,2011).Ce qui permet de classer cette espèce parmi celles qui présentent un

système racinaire très étendu et spécialement distribué en surface (Aafi, 1996 ; Melgarejo et Salazar, 2003).

Selon Martins Loução et Rodríguez-Barrueco (1982), Martins-Loução et al. (1996) et Hirsch et al. (2001), le caroubier est une légumineuse non ondulante. Toutefois, Missbah et al. (1996) ont pu isoler dans la région de Debdou (Maroc) des souches de rhizobium ondulant le caroubier. Cependant, Konate (2007) réactiva et purifia la collection des souches isolées par Missbah et al. (1996) ensuite il procéda à un test d'authentification en les inoculant sur deux accessions du caroubier (Marrakech et Taounate) cultivées dans des conditions axéniques. L'examen du système racinaire des plantes, effectué à 2, 4 et 6 mois après l'inoculation, n'a montré aucune formation de nodosité.

I.5.1.2. Arbre :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) est un arbre ou arbuste sclérophylle à croissance lente, pouvant atteindre dans les conditions propices une hauteur de 7-10 m et même 15 à 20 m en Orient et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3 m (Batlle et Tous, 1997 ; Ait chitt et al., 2007). Il possède une cime très étalée et arrondie. C'est un arbre xérophile avec une longévité importante dépassant les 200 ans (Rejeb et al., 1991 ; Benmahioul et al., 2011).

Il peut être également en verger comme plantation homogène destinée à la production commerciale basé sur sa faible exigence en culture, sa grande tolérance vis-vis des sols pauvres, le caroubier est de plus en plus recommandé pour la reforestation des zones côtières dégradées sous effet d'érosion ou désertification (Batlle et al ; 1997).

Actuellement, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers le plus performant, puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi ; 1996)

I.5.1.3. Les feuilles :

Ses feuilles sont persistantes, de 10 à 20 cm de longueur, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant généralement de 4 à 10 folioles, opposés de 3 à 7cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur verte luisante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (Diamantoglou et Mitrakos, 1981 ; Rejeb, 1995 ; Ait Chitt et al., 2007 ; Bock, 2012).

Occasionnellement chez les arbres cultivés et plus fréquemment chez les caroubiers sauvages, le nombre de folioles peut être impair chez quelques feuilles (Albanell, 1990).

Le caroubier perd ses feuilles tous les deux ans, au mois de juillet, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en Avril et Mai (Aafi, 1996 ; Ait chitt et al., 2007).



Figure I.2 : Feuilles de Ceratonia siliqua (**kaderi.,2015**)

I.5.1.4. Les fleurs :

Les fleurs groupées en grappes latérales sont de couleur pourpre et parfois rougeâtre (**Batle et Tous, 1997 ; Konate, 2007**) qui apparaît sur les vieux bois et parfois sur le tronc (**Bock, 2012**). Traditionnellement, le caroubier a été classé en fonction de la couleur de ses fleurs, distinguant ainsi entre arbres à "fleurs jaunes et rouges", mais ce critère semble être insuffisant et indépendant des autres caractéristiques florales (**Von Haselberg, 1998**).

La morphologie florale chez cette espèce est très complexe on peut distinguer :

- Des inflorescences mâles avec des étamines courtes ou longues.
- Des inflorescences femelles avec des étamines rudimentaires.
- Des inflorescences hermaphrodites (**Benmahioul et al.,2011**).

La floraison chez le caroubier a lieu en automne sur le bois de deux ans et les vieux bois.

Cette espèce est considérée comme la seule dans la région méditerranéenne qui fleurisse en été. Les floraisons femelles apparaissent à partir de juillet, tandis que les fleurs mâles apparaissent d'août à septembre (figure I.3) (**Benmahioul et al.,2011**).



Figure I.3 : Fleurs mâle et femelle (**Bejaia.,2015**)

I.5.1.5. Les Fruits :

Les caroubes sont les fruits du caroubier. Est classifié habituellement comme un fruit sec et cela malgré son aspect pulpeux (**Albanell, 1990**). La caroube est une gousse pendante qui se développe très lentement, nécessitant 9 à 10 mois pour atteindre la maturité (**Battle et Tous, 1997**).

Correspondant à trois stades de développement :

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

Ce sont des gousses indéhiscentes, de grande taille avec une longueur de 10 à 30 cm et une largeur de 1.5 à 3.5 cm et une épaisseur de 1 à 2.5 cm. Chaque gousse pèse 15 à 40 g (**Ait chitt et al., 2007**). La gousse est séparée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses transversales et renferme de 4 à 16 graines brunes soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction du cultivar, du climat, de l'efficacité de la pollinisation, de la conduite technique et l'entretien des arbres. (**Rejeb, 1995 ; Melgarejo et Salazar, 2003 ; Ait Chitt et al., 2007 ; Bock, 2012**).

La couleur de la caroube est d'abord verte, puis elle devient brune foncée, rouge ou noire à maturité selon les variétés, les gousses sont toujours très brillant, sinueux sur les bords, aplati, droit ou arqué à surface ridée, tannée lorsqu'elle est mûre et présente un tissu pulpeux sucré et rafraîchissant (**Battle et Tous, 1997 ; Konate, 2007**). Le nombre de fruits résultant de chaque inflorescence est variable selon la variété et il est généralement compris entre 1 et 6 fruits (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

La caroube est une gousse avec une forte accumulation de sucres et de tanins ; ces deux composés lui confèrent au début de son cycle un aspect charnu différentiable d'une variété à l'autre, ce qui présente un intérêt au moment de l'étude pomologique du fruit immature (état vert) (**Melgarejo et Salazar, 2003**).



Figure I.4: photo personnelle Fruits matures « gousse » (**Bouinane Blida. ;2021**)

I.5.1.6. Graines :

Les graines du caroubier sont petites et aplaties, d'une forme presque ovale, avec un pôle basal tronqué et écrasé en zone apicale (Figure I.5). Son tégument est normalement lisse, dur, de couleur brune rougeâtre et brillant (Albanell, 1990). 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 (Batlle et Tous, 1997 ; Gharnit et al., 2006 ; Mahdad et Guaour, 2016). Ces graines, toutes d'un poids sensiblement identique devenant très dures à maturité, ont été utilisées par les anciens comme unité de mesure pour peser les pierres précieuses, d'où le mot « carat » (1 carat = 205,3 mg) (Rejeb, 1995 ; Turnbull et al., 2006). Il apparaît donc que “*el kilate*” en espagnol ou “*carat*” en français (0,2 g) vient du nom arabe (*Al-karat ou qirât*) donné à la graine, laquelle est caractérisée par sa relative constance de poids (Albanell, 1990).



Figure I.5 : Graines de caroube (Blida.,2022)

I.5.1.7.Écorce :

Cette espèce ligneuse a une écorce lisse et grise à l'âge juvénile et brune, rugueuse à l'âge adulte. Son bois est blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune et devient rose veiné puis rouge foncé et dur en vieillissant (Benmahioul et al., 2011).



Figure I.6 : l'écorce de caroube (kaderi.,2015)

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.5.2. Classification botanique :

Tableaux I.1 : Classification botanique du genre *ceratonia* (Sbay H., 2008).

Règne	<i>plante</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliosida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Rosales</i>
Famille	<i>Legumineuses</i>
Sous-famille	<i>Caesalpinioideae</i>
Sous-tribu	<i>Ceratoninae</i>
genre	<i>Ceratonia</i>

I.6. Répartition géographique du caroubier :

La distribution originale de *C. siliqua* n'est pas claire car elle a subi de nombreuses culture depuis l'Antiquité. **Hillcoat et al. (1980)** ont suggéré son aire de répartition à l'état sauvage inclus la Turquie, Chypre, la Syrie, le Liban, Israël, le sud de la Jordanie, l'Égypte, l'Arabie,

La Tunisie et la Libye et qu'il s'est déplacé vers l'ouest à un stade précoce. La caroube est crue avoir été répandue par les Grecs en Grèce et en Italie, puis par les Arabes le long la côte de l'Afrique du Nord dans le sud et l'est de l'Espagne, d'où il a migré au sud du Portugal et au sud-est de la France. Sa présence sauvage dans le la Méditerranée occidentale est douteuse selon **Zohary (1973)**. Spontané les caroubes sont présentes dans de nombreux endroits autour du bassin méditerranéen occidental, mais elles sont considérées comme des dérivés sauvages de la culture fruitière qui ont probablement évolué sous domestication.

En tant que source de nourriture, les gousses de caroube peuvent être stockées et transportées sur de longues distances.

Dans la majeure partie de la région méditerranéenne, les caroubes sauvages et naturalisées sont distribuées dans plus ou moins la même ceinture géographique et climatique que les terres cultivées. Formes de les caroubes spontanées sont particulièrement fréquentes à basse altitude le long de la rivière espagnole Côte méditerranéenne, sud-ouest de l'Espagne, sud du

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Portugal, îles Baléares, sud-est de la France, les côtes du sud de l'Italie dont la Sicile, la côte Adriatique de La Croatie, la région égéenne en Grèce et en Turquie, le long du nord et du sud chaînes de l'île de Chypre, dans les îles de Malte, dans la ceinture maritime du Liban et Israël, le nord et le sud du Maroc et le littoral tunisien.

Le caroubier a probablement été introduit aux États-Unis depuis l'Espagne par les États-Unis Bureau des brevets en 1854. Dans les années 1950, *W. Rittenhouse et J.E. Coit* ont fait la promotion de cette espèce en Californie et ont introduit des greffons de cultivars sélectionnés de Chypre, d'philistine, Tunisie, Grèce, Yougoslavie, Crète, Portugal, Italie et Espagne. Les semis d'arbres cultivés pour l'ombre dans les rues des villes du sud de la Californie et de l'Arizona ont été sélectionnés pour production commerciale sur la base de leurs caractéristiques florales et fruitières (**Condit 1919; Coit 1949, 1967 ; Schroeder 1952; Coit et Rittenhouse 1970; Brooks et Olmo 1972**).

Dans les pays méditerranéens, la distribution de la sclérophylle à feuilles persistantes des espèces comme *C. siliqua* est contrôlée par le stress dû au froid hivernal (**Mitrakos 1981**). Le près espèce apparentée *C.oreothauma* semble être encore plus sensible au froid .Et donc ses limites sont plus restreintes. La caroube est l'une des arbres les plus caractéristiques et dominants dans la zone inférieure (0-500 m et rarement jusqu'à 900 m d'altitude) du maquis sempervirent méditerranéen (**Zohary et Orshan 1959 ; Folch et Guillen 1981**). Dans certaines zones le long des rives de la mer Méditerranée, sauvages les caroubes occupent des lieux non perturbés par la culture. La distribution de *C.oreothauma* est limité à Oman et à la Somalie, ce qui pourrait être dû au fait qu'il s'agit d'une espèce. Il n'est pas clair si la distribution des deux espèces apparentées se chevauche. Toutes les deux espèces, outre la dispersion probable par les animaux, dépendent de la dispersion par fruit.

I.7.Situation du caroubier

I.7.1.Au niveau mondiale:

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est un arbre typiquement méditerranéen, originaire du moyen orient, il est distribué dans toute la région du pourtour méditerranéen, dont l'aire de répartition s'étend sur l'Asie mineure, l'Afrique du Nord, l'Europe méridionale et la péninsule ibérique. En effet on le rencontre actuellement en allant de l'Espagne et du Portugal jusqu'en Turquie, en Syrie, en Yougoslavie, en passant par le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Lybie, l'Egypte, la Grèce, le Liban, Chypre, l'Italie et la France (**Boudy 1950 ; Rejeb 1995 ; Sbay et Abourouh, 2006 ; Abi Azar, 2007**). Le caroubier a été également, introduit avec succès dans plusieurs autres pays ayant un climat méditerranéen. C'est le cas en Australie, en Afrique du Sud, aux Etats Unis (Arizona, Californie du Sud), aux Philippines et en Iran (**Evreinoff, 1947 ; dans Batlle et Tous, 1997**). Généralement, la distribution des espèces arborescentes, telle que *Ceratoniasiliqua* est limitée par des stress liés aux froids (**Mitrakos, 1981**). En effet, l'espèce *Ceratoniaoreothauma* qui semble être plus sensible au froid a une répartition restreinte et limitée seulement à Oman et à la Somalie (**Hillcoat et al. 1980**). Dans les zones basses méditerranéennes (0-500 m, rarement 900 m d'altitude), le caroubier

Chapitre I : Synthèse bibliographique

constitue une essence dominante et caractéristique du maquis des arbres sclérophylles (Zohary et Orsham, 1959).



Figure I.7 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997) .

1.7.2.AU NIVEAU NATIONAL:

En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Quezel et santa, 1963). On le trouve à l'état naturel en association avec l'amandier, *Olea Europea* et *Pistacia Atlantica* dans les états semi-aride, chaud, subhumide, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée ; avec une température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an (Rebour, 1968). Suivant ces critères climatiques ; on a établi l'aire de répartition du caroubier en Algérie. Ses lieux de prédilection sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales : Sahel algérois, Dahra, Grande-Kabylie et Petite-Kabylie, vallée de la Sommam (1074 ha) et de l'Oued-Isser, collines d'Oran et des coteaux Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaines de Bône, Mitidja et les vallées intérieures (1054 ha). Il descend jusqu'à Bou-Saâda, mais n'y porte pas de fruit, et dans la zone de Traras au Nord de Tlemcen (276 ha) (Zitouni, 2010).

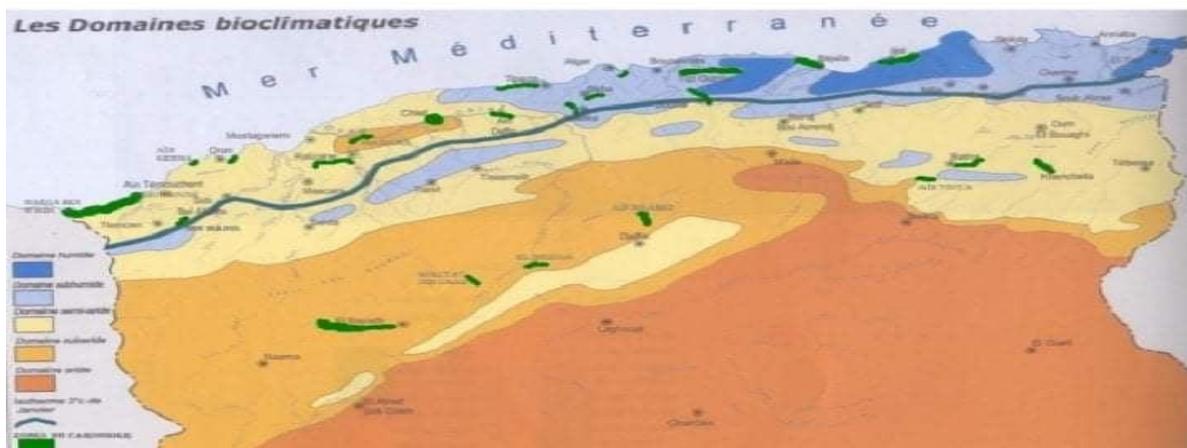


Figure I.8 : Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H,2004)

I.8.CULTURE ET ECOLOGIE

I.8 .1.Culture du Caroubier

La culture de la caroube demande de la patience les graines ne sont comestibles qu'au bout de quinze ans environ. En termes d'emplacement, le caroubier a besoin, D'une exposition ensoleillée ou un peu ombragée, D'un sol bien drainé, même si ce dernier est sec et pauvre. L'arbre n'est pas très rustique et supporte plutôt mal le gel et les températures négatives. S'il est bien protégé, le caroubier pourra se contenter d'un climat doux. Le caroubier est cultivé dans les pays méditerranéens, notamment en Espagne et en Italie du sud (Sicile), (**Batlle et Tous, 1997**).

I.8.2. Multiplication du caroubier:

Elle peut se faire par semis, bouturage, greffage, ou par micro propagation.

I.8.2.1.Le 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 l'impossibilité de connaître le sexe de la plante avant la maturation et la production tardive, qui peut prendre plus de 8 ans (**Rejeb, 1995 ; Gharnit, 2003**). Un prétraitement avec de l'eau bouillante, l'acide sulfurique (H_2SO_4) ou l'acide gibbérelline (AG3) peut améliorer considérablement le taux de germination (**Batlle et Tous, 1997**). Avec l'acide germination est spectaculaire, mais la durée de scarification est variable en fonction des cultivars et des provenances des graines. Le caroubier est une espèce dioïque, et par conséquent le semis donne des plants avec un ratio de 50% de femelles et 50% de mâles improductifs.

I.8.2.2. Le bouturage :

Moins utilisé, car il demande des soins très minutieux et une température édaphique élevée (**Rejeb, 1995**). Le bouturage consiste à prélever des portions de rameaux dans des conditions précises leur permettant de former un bourrelet cicatriciel et de pouvoir émettre des racines (**Batlle et Tous, 1997**).



Figure I : 9 : Principales étapes du bouturage ligneux chez le caroubier (**Sbay et Lamhamedi , 2015**)

- a) Coupe de bouture à partir de rameaux effeuillés,
- 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.
- 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.

1.8.2.3. Le greffage :

Il consiste à greffer les pieds mâles par les femelles. En effet il s'agit de transférer les bourgeons prélevés sur les pieds femelles et de les greffer sur les pieds mâles. Les 1ers rameaux apparaissent au bout de la 3ème semaine. Cette méthode permet aux arbres mâles de donner des fruits à partir de la troisième année, de produire des races garantissant la fructification et la préservation de la conformité des caractères sélectionnés chez la plante mère (Gharnit, 2003 ; Ait Chitt et al. 2007).



Figure I :10 : Principale 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 sure 2à3 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 file
- j) Etiquetage et mise en condition de confinement
- k) Ecllosion des bourgeons sur le greffon
- m) Plant greffé âgé d'un an
- n) Plants greffés en serre.

1.8.2.4. La micro propagation ou la culture in vitro du caroubier :

C'est une technique prometteuse, qui permet d'obtenir une plante conforme à la plante d'origine, elle a été réalisée à partir de plantules et de plantes adultes (**Sebastian et McComb, 1986 ; Batlle et Tous, 1997**), ainsi que de différents explants : nœuds prélevés des plantules issues de germination (**Belaizi et al. 1994**), bourgeons axillaires (**Saidi et al. 2007**).

Les techniques de culture in vitro ou «*micro propagation*» 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.

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. Ainsi à l'heure actuelle, l'application commerciale est limitée à la propagation d'espèces très précieuses ou à celles pour lesquelles les techniques de multiplication classique sont difficiles. Les tentatives de multiplication des arbres sélectionnés de caroubier à l'aide de culture in vitro ont eu un succès limité. (**Belaizi et al. 1994 ; Alorda et al., 1996 ; Romano et al. 2002**).

Un protocole de multiplication in vitro à partir de bourgeons axillaires a été développé toutefois, le brunissement, la contamination et la rhizogenèse restent les principales contraintes (**Konaté et al. 2001**).

1.9. 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 bien 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 (**Melgarejo et Salazar, 2003**). Le caroubier est une espèce qui résiste très bien à la sécheresse (**Zouhair, 1996 ; Sbay et Abourouh, 2006**), il n'est devancé que par le pistachier cultivé (**Evreinoff, 1955**). Les études de **Rejeb (1989)** confirment que le caroubier se comporte comme une véritable espèce résistante à la sécheresse en s'adaptant morphologiquement et physiologiquement au manque d'eau. De par ses aptitudes d'adaptation aux stress du sol et du climat, le caroubier pourrait contribuer au développement des zones défavorisées (**Gharnit et al., 2006**) 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 devançant ainsi entre autres le palmier dattier, le pistachier et l'olivier (**Gil Albert, 1998**). 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. Ceci démontre que le caroubier peut jouer un rôle très important dans les zones salines, qui arrivent de jour en jour à gagner des terrains considérables, notamment dans le Nord-ouest de l'Algérie et particulièrement dans la région de Relizane. Le caroubier avec *Pistacia lentiscus L. et Olea europaea L. var. sylvestris*,

Chapitre I : Synthèse bibliographique

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*) (Batlle et Tous, 1997)

I.10. Production du caroubier :

I.10.1. Mondiale :

Selon les données du **FAOSTAT 2010 (Food and Agriculture Organisation Corporate Statistical Database)**, l'aire totale de la production mondiale du caroubier est estimée à 102 939ha. La plus grande superficie, 83 574ha, est celle de l'Europe, contre une superficie estimée à 1000ha pour l'Algérie et 13 460ha pour les pays d'Afrique du Nord. Le caroubier présente une irrégularité de production très marquée dont on attribue généralement la cause à une mauvaise pollinisation, à des déficiences en soins culturaux et aux conditions climatiques (FAO, 2003). La production mondiale annuelle de caroube est estimée à 310 000 tonnes dont les principaux producteurs sont l'Espagne (42%), l'Italie (16%), le Portugal (10%), le Maroc (8%), la Grèce (6,5%), la Chypre (5,5%) et la Turquie (4,8%) (FAOSTAT, 2010). Ainsi, L'Espagne étant le plus grand pays producteur et exportateur des gousses de caroube avec une production d'environ 150.000 t/an, couvre 57,5% de la superficie cultivée, et 47,6% de la production mondiale (Petit & Pinilla, 1995 ; Matthausa & Ozcan, 2011).

Tableau I :2 : Production mondiale de caroube (FAOSTAT 2010)

Pays	Production en tonnes (2004)	Production en tonnes (2008)
Espagne	67000	76000
Italie	24000	31224
Maroc	40000	25000
Portugal	20000	23000
Grèce	19000	15000
Turquie	14000	12100
Chypre	7000	3915
Algérie	4600	3600
Liban	3200	2800
Tunisie	1000	1000
Monde	182680	191167

- Selon le **FAOSTAT (2019)**, la production mondiale totale de la caroube est estimée à 136 539 tonnes. la plus grande production, 41 909 tonnes, est celle du Portugal, contre une production de l'Algérie estimée à 4042 tonnes. (Figure I.11)

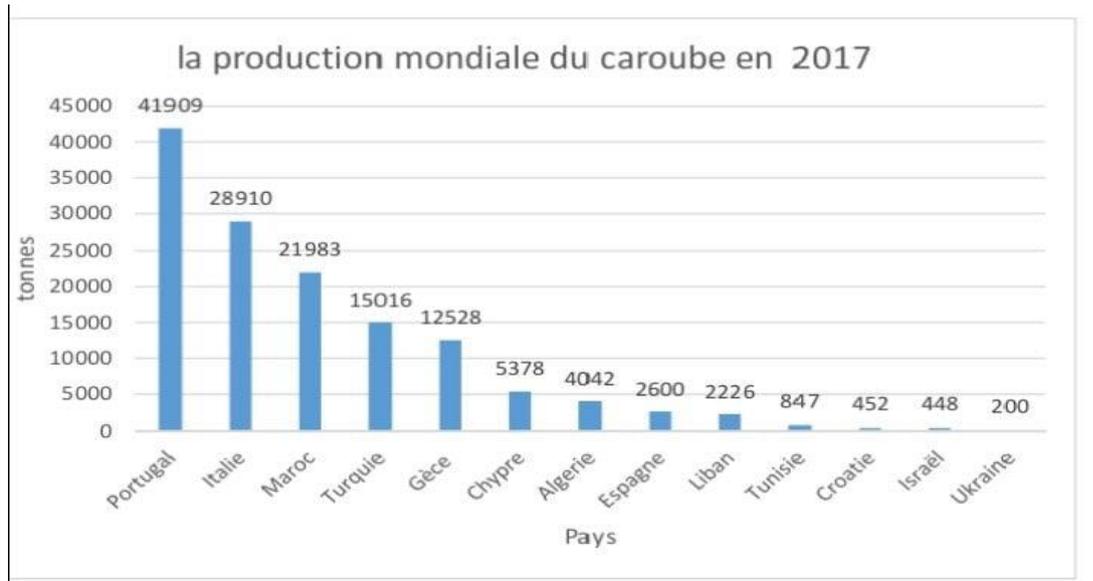


Figure I :11 : Production mondiale de la caroube en 2017 (FAOSTAT 2019)

Durant le siècle dernier, la production mondiale de caroube a connu une chute dramatique, elle est passée de 650.000t en 1945 (Orphanos et Papaconstantinou 1969) à 310.000t en 1997. La grande perte a été enregistrée en Espagne où la production a chuté de 400.000t en 1930 à 150.000t en 1990, MAPA, 1994 (Ambilatoire de la Pression Arérielle) .

I.10.2. National :

Production de caroubier La superficie cultivée totale du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011 (FAOSTAT). En 2009, cette superficie était de 927 ha dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia. La production nationale de la caroube est estimée à 33841 Qx et se concentre principalement dans la wilaya de Bejaia avec une production de 18.417 Qx, ce qui représente 54,42 % de la production nationale, suivie par la wilaya de Blida (23,79%) et Tipaza (16,55%). La superficie cultivée du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie (comprenant la wilaya de Tlemcen et Mascara) ne représente que 6 ha, soit 0,65 % de la superficie nationale, tandis que la production de la caroube est de seulement 0,39 %.

Tableau I : 3 : Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (Tableau établi par l'auteur à partir des données fournies par la DSA (Direction des Services Agricole de la wilaya de Tlemcen)

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Wilaya	Surface cultivée	Production	Rendement
Bejaia	645	18417	28,6
Tipaza	105	5600	53,3
Blida	100	8050	80,5
Boumerdes	32	1080	40,0
Bouira	22	144	6,9
Mila	10	80	8,0
Tlemcen	5	100	20,0
B.B.Arreridj	4	20	5,0
Ain Defla	2	300	150
Mascara	1	30	30,0
Tizi-Ouzou	1	20	20,0
Total	927	33841	36,5

- Les wilayas ont été classées par ordre décroissant selon la surface cultivée (ha).

1.11-IMPORTANCE DU CAROUBE :

1.11.1. L'importance écologique :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est une espèce *agro-sylvo-pastorale* ayant un énorme intérêt écologique, en raison de sa rusticité et de son adaptation aux contraintes de l'environnement. Le caroubier est de plus en plus recommandé pour le reboisement des zones arides et dégradées, comme étant une ressource précieuse de reforestation pour gérer l'érosion sur les terres marginales non adaptées à d'autres espèces agricoles (sols pauvres et salins et résistant à la sécheresse) ou la des certification (**Battle et Tous, 1997 ; Biner et al., 2007 ; Barracosa et al., 2007 ; Sbay, 2008**). Ainsi, il peut être utilisé dans le reboisement pour lutter contre la propagation des incendies, comme arbre d'ornement et d'ombrage en bordure des routes et dans les jardins (tout au long des allées de la Californie, de l'Australie) (**Battle et Tous, 1997**) et comme brise-vent compte tenu de sa couronne sphérique, et de son feuillage persistant, dense et brillant (**Winer, 1980 ; Sidina et al., 2009 ; Yousif et Alghzawi, 2000**). Il est retenu par la DGF (Direction général des forêts) pour son plan national de reboisement et lui accorde une place de choix pour certaines parties du barrage vert II et pour les zones d'ombres (DGF, 2021).

1.11.2.L'importance économique :

Le caroubier pourrait constituer des plantations de choix dans les programmes réguliers de reboisement pour assurer un développement durable des zones rurales et à l'économie de montagne et peut contribuer à l'amélioration des ressources pastorales du pays (**Rejeb, 1995 ; Battle et Tous, 1997**). En fait, la culture du caroubier et l'industrialisation de ses produits ont connu un développement remarquable en raison des multiples utilisations de ses graines et surtout la gomme de caroube est d'une grande importance dans l'industrie alimentaire (**Correia et Martins-Loucao, 1995, 2005 ; Gonçalves et al., 2005**). Ainsi, la caroube est une

source de bon marché d'hydrates de carbone actuellement explorées comme matériaux pour la production de bioéthanol, avec plusieurs avantages par rapport à d'autres cultures agricoles riches en sucre (**Vourdoubas et al., 2002 ; Sanchez et al., 2010 ; Turhan3 et al., 2010**). Cet arbre constitue une vraie source de profit pour les arboriculteurs puisque le prix de vente de la caroube est très encourageant et la main d'œuvre (pour la cueillette) est moins coûteuse en comparaison avec les pays concurrents (Espagne, Portugal, Italie...) (**Gharnit et al., 2006 ;Fadel et al., 2011**).

En Algérie, le caroubier constitue une véritable plus-value pour l'économie nationale, s'il est valorisé, sachant que les importations de l'Algérie de cacao sont passées de 5.000 tonnes en 2015 à 17.000 tonnes en 2019, alors qu'il était possible d'exploiter la poudre de caroube, reconnue mondialement par ses caractéristiques nutritionnelles, comme matière première dans la production du chocolat. L'exploitation de la poudre de caroube produite localement se veut une alternative à la poudre de cacao à même d'économiser des millions/an en devises, outre la création de postes d'emploi et le renflouement du Trésor public en devises, après le lancement de l'exportation de l'excédent de caroube (Algérie Presse Service, 2020).

I.12.UTILISATIONS DE LA CAROUBE :

I.12.1. Utilisations traditionnelles :

La farine de caroube est traditionnellement utilisée comme additif protéique dans les aliments pour animaux et les aliments destinés à la consommation humaine en raison de sa teneur en acides aminés bien équilibrée (**Feillet et Rolland 1998 ; Wang et al.2001**). La farine de germe de caroube a été identifiée comme possédant des propriétés similaires au gluten dans un brevet de 1935. Lorsqu'il était utilisé dans un système de pain levé à la levure contenant environ 30 % de farine de germe de caroube et environ 70 % farine sans gluten, un pain présentant des qualités similaires à celles d'un pain de seigle européen (**Bienenstock et al, 1935**).

I.12.2. Utilisations thérapeutiques :

Le caroubier est un remède naturel et particulièrement conseillé en cas de troubles digestifs, de reflux gastriques fréquents, d'irritation du côlon, de vomissements persistants, d'acidité gastrique, de stéatorrhée (terme médical utilisé pour désigner l'excès de graisses dans les selles), d'hémorroïdes, d'anémie et de carences nutritionnelles. (**Ayaz et al. 2009**). Actuellement, la caroube est considérée comme une plante d'investigation de nouveaux antioxydants naturels contenus dans l'enveloppe de la graine et la pulpe du fruit. Cette activité antioxydant est attribuée à la présence de composés phénoliques et fibres. Le caroubier est également un excellent allié dans les régimes amincissants. Des études scientifiques ont démontré que cette plante officinale permet de traiter les problèmes associés au surpoids et à l'obésité en inhibant certaines enzymes digestives grâce à une teneur élevée en tannins, et en créant une sensation de satiété (**Kawamura., 2008**). Il est utilisé notamment dans les préparations des aliments diététiques humains ou comme ingrédient potentiel dans les aliments dérivés des céréales pour les personnes cœliaques. Les fibres et la farine de cette plante sont utilisées dans la régulation des niveaux de glucose dans le sang et dans la réduction du niveau de cholestérol total. Des études biologiques ont montré les capacités bactéricides de la pulpe de caroube vis-à-vis de *staphylococcus aureus*. La caroube

Chapitre I : Synthèse bibliographique

adsorberait aussi les *entéro-toxines* produites par certaines souches d'*Escherichia coli* et de *staphylocoques* ainsi que par le *vibrion cholérique*, ce mécanisme d'adsorption pourrait être expliqué par la présence des tanins dans la caroube (**Battle et Tous, 1997**).

1.12.3. Utilisation cosmétique :

Dans l'une des applications industrielles, la gomme de caroube est utilisée en cosmétique (savons, crèmes, dentifrices...) pour sa capacité à former une solution très visqueuse, à une faible concentration en raison de ses propriétés épaississantes, émulsifiantes et stabilisantes (**Houkas, 1998; Roukas, 1993**).

1.12.4. Utilisation chimique :

Certains travaux ont déjà montré l'application de la farine de caroube (gousses broyées) pour l'extraction du sucre, la fermentation de l'éthanol (**Roukas, 1993; Roukas, 1996**), et la production d'acide citrique (**Roukas1998 ; Roukas1999**). De même, le bois du caroubier est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon et l'écorce et les racines sont employées dans le tannage.

Tableau I :4 : Utilisations de la gomme de caroube et ses applications techniques **Droste (1993)** mentionné dans (**Battle et Tous, 1997**)

Utilisation industrielles	Applications
Pharmaceutiques	Produits anti cœliaques, pommades, comprimés, dentifrice
Cosmétiques	Emulsions et ousses, mousses à raser
Textiles	Epaississant et coloration
Papier	Produit de flottation pour matériel de couverture épaississant pour traitement de surface
Chimiques	Colles, coloriage, polissage, teinture, allumettes, pesticides
Pétrole	Adjuvant de floculation pour augmenter la stabilité
Mines	Produit de flottation
Béton	Renforcement de la solidification
Explosifs	Liant d'eau pour les explosifs

1.12.5. Utilisation de la pulpe de caroube :

La farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, peut servir comme matière première pour l'industrie agroalimentaire. Des recherches ont montré que la caroube peut constituer un bon candidat pour être utilisée

Chapitre I : Synthèse bibliographique

comme aliment fonctionnel ou comme un ingrédient alimentaire (Tsatsaragkou et al., 2014 ; Biernacka et al., 2017 ; Arribas et al., 2019 ; Salih et jilal, 2020) du fait qu'elle peut constituer une bonne source de polyphénols antioxydants (Owen et al., 2003). Une fois torréfiée, la pulpe de caroube développe des caractéristiques sensorielles (goût et couleur) similaires à ceux de la poudre de cacao (Durazzo et al., 2014), mais et contrairement au cacao, la caroube ne contient pas le *théobromine* (stimulants), la caféine et l'*acide oxalique* (composé toxique lorsqu'il est consommé en grandes quantités) (Biner et al., 2007). La farine de caroube est appréciée pour son effet épaississant à faible concentration et son effet de retardement de la viscosité lors de la préparation au moment de la cuisson. Elle est extrêmement employée dans la fabrication des glaces, dont elle améliore la texture à la tenue dans le temps à l'acidité tout en réduisant les effets de cristallisation de l'eau (Ait Chitt et al., 2007). Les posés bioactifs présents dans cette pulpe se sont révélés bénéfiques pour le contrôle de nombreux problèmes de santé tels que le diabète, les maladies cardiaques et le cancer du côlon en raison de leurs activités antidiabétiques, *antioxydants et anti-inflammatoires* (Nassar Abbas et al., 2016 ; Rtibi et al., 2016). De nombreuses études cliniques ont souligné l'efficacité de la poudre de caroube dans le traitement des diarrhées aiguës infantiles (serairi et al., 2000), ce qui a été confirmé par l'étude clinique menée par loeb et al. (1989). la pulpe est recommandée contre la tuberculose pulmonaire et les affections des bronches. En décoction, elle est, toutefois, anti diarrhéique et légèrement purifiante. Elle est utilisée pour le traitement de certaines maladies comme la gastrite, l'entérite, les angines, les rhumes, le cancer... (crosia et al., 2002 ; gharnit, 2003 ; ait chitt et al., 2007). 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, la caroube possède aussi une activité antimicrobienne et antioxydant selon ben hsouna et al. (1986). par ailleurs, la pulpe a été le premier produit d'horticulture utilisé en fermentation, dans plusieurs pays méditerranéens (merwin, 1981), pour la production industrielle de bioéthanol (makris et kefalas, 2004). Les extraits de gousses de caroube sont également utilisés pour la production d'éthanol par *saccharomyces cerevisiae* (turhan et al., 2010b ; yatmaz et al. 2012 ; germeç et al., 2015), pour l'acide citrique (makris et kefalas, 2004), pour la production de β -mannanase (yatmaz et al., 2016 ; germec et al., 2017) et pour l'amélioration de la production d'acide lactique par *lactobacillus casei* (turhan et al., 2010a).

I.12.6. Utilisations de la graine de caroube :

Tous les constituants de la graine du caroubier (tégument, endosperme et cotylédon), jouent un rôle industriel et médical important, mais la gomme de caroube, obtenue en broyant l'endosperme des graines (goncalves et romano, 2005) reste la plus importante. cette gomme est utilisée à cause de *polyphénol* antioxydant contenu naturellement dans l'enveloppe tégumentaire (makris et kafalas, 2004), comme épaississant connu sous le code normalisé e410, agent stabilisateur, gélifiant, fixateur dans différents domaines de l'agroalimentaire (fromage, mayonnaise, salades...etc), la cosmétique (crèmes, dentifrices..etc), l'industrie pharmaceutique (médicaments, sirops..etc) (batista et al., 1996 ; biner et al., 2007 ; dakia et al., 2007 ; sandolo et al., 2007 ; matthaus et ozcan, 2011 ; prajapati vipul et al., 2013). De par ses multiples usages, son application dans les domaines techniques est très large, elle est

Chapitre I : Synthèse bibliographique

utilisée en imprimerie, la photographie, les textiles, les matières plastiques, l'encre, le cirage et les matières adhésives (**batlle et tous, 1997**) elle est principalement utilisée dans les aliments pour les enfants (**lizardo et al., 2002**). Elle est également utilisée dans l'alimentation diététique humaine (**dakia et al., 2007**) ou comme ingrédient potentiel dans les aliments dérivés des céréales pour les personnes *cœliques* (**feillet et roulland, 1998**). Elle est aussi utilisée dans la fabrication d'un condiment aromatique du Sénégal appelé *nététu* (**ndir et al., 2000 ; kaderi et al., 2014**). En plus de toutes ces vertus, l'étude **de parrado et al. (2008)** a démontré que la gomme de caroube, lorsqu'elle est utilisée comme *biofertilisant* après avoir été transformée en un extrait enzymatique hydrosoluble, exerce une *action phyto-hormonale* bénéfique et significative sur la croissance de la plante, le nombre de fleurs et le nombre de fruits par plant.

1.12.7. Utilisations en agroalimentaire :

Les gousses de caroube sont utilisées depuis longtemps comme matière première production d'additifs alimentaires (**Biner et al., 2007**). La gomme du caroubier connue sous le code E-410 est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire comme épaississant, stabilisant, liant et gélifiant ou comme agent dispersant. Elle est aussi utilisée dans le domaine de l'impression, la photographie, le textile, la pharmacie et la cosmétique (**Batlle et Tous, 1997**). En raison de sa douceur et sa saveur semblable au chocolat, ainsi que son bas prix, les gousses moulues en farine sont largement utilisées en Méditerranée substituant du cacao dans les confiseries, les biscuits et les produits transformés, production de boissons (**Ayaz et al., 2009**). De plus, l'avantage d'utiliser de la poudre de caroube comme substituant du cacao c'est qu'il ne contient ni caféine ni théobromine (**Bengoechea et al., 2008**). C'est un épaississant, stabilisant et aromatisant naturel, qui est couramment ajouté à une grande variété de produits, par exemple : crèmes glacées, des bonbons et des soupes (**Biner et al, 2007**).

I.13.COMPOSITION BIOCHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE :

Sur le plan photochimique, les recherches scientifiques ont démontré que la (**Sbay et Abourouh, 2006 ; Konaté, 2007**). La caroube est un mélange complexe de métabolites primaires et secondaires, la présence de sucres et de fibres étant caractéristique de ces fruits, suivis d'une grande diversité de poly phénols. De nombreux minéraux et acides aminés sont également présents dans les caroubes (**Goulas et al., 2016**). Selon plusieurs auteurs, la composition chimique des différents constituants dépend, en général de 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 cultivar, le sexe, de l'origine ou de la zone de culture et parfois de la période de récolte mais aussi aux conditions édapho-climatiques. (**Orphanos et Papaconstantinou, 1969 ; Vardar et al., 1972 ; Calixto et Cañellas, 1982 ; Albanell et al.,1991 ; Sbay et Abourouh,2006 ; Youssef et al., 2013**).

1.13.1. La composition et valeur de la pulpe :

La pulpe de caroube, constitue une bonne source de fibres alimentaires, de sucres et d'une gamme de composés bioactifs tels que les poly phénols. Elle est très riche en sucres (30-60%), en particulier, le saccharose (65 à 75 % des sucres totaux), le fructose et le glucose (15 et 25 % des sucres totaux, respectivement), elle contient également des quantités appréciables de

fibres jusqu'à 40 % (**Khelifa et al., 2013**), mais pauvre en protéines (2-6 %) et en lipides (0,4-0,8 %) dont les acides saturés et insaturés sont en proportions égales (**Marakis, 1996; Santos et al., 2005 ; Silanikove et al., 2001 in press ; Yousif et Alghzawi, 2000 ; Berrougui, 2007**). La composition chimique de la pulpe varie en fonction des cultivars, de l'origine géographique, du temps de la récolte et des facteurs environnementaux (**Owen et al., 2003 ; Ayaz et al., 2007 ; Biner et al., 2007 ; El Batal et al., 2011**). Ainsi, Thomson (1971) a trouvé dans 40 cultivars un taux de sucres de 37 à 62 %, des protéines brutes de 2,2 à 6,6 %, des fibres brutes de 4,2 à 9,6 % et une teneur en cendre de 1.5 à 2.4 %. Alors que d'autres auteurs ont rapporté un contenu riche en poly phénols (16-20 % essentiellement des tanins) et en fibres alimentaires (jusqu'à 39,8 %) (**Albanell et al., 1991 ; Yousif et Alghzawi, 2000 ; Santos et al., 2005 ; Biner et al., 2007 ; Youssef et al., 2009**). **Avallone et al. (1997)** et **Bengoechea et al. (2008)** ont rapporté des taux élevés en glucides (>50 %) avec une faible quantité de protéines (1-2 %) et des teneurs négligeables en matières grasses (0,5-0,7), et environ 18 % de cellulose et d'hémicellulose, et une teneur appréciable en minéraux.

1.13.1.1. Lessucres :

Les gousses de caroube sont caractérisées par une teneur élevée en sucres (environ 500 g/kg) plus élevée que celle présente dans la betterave ou dans la canne à sucres (environ 200 g/kg) (**Petit et Pinilla, 1995**). Il est bien connu que le saccharose est le sucre le plus abondant dans la gousse de caroube (**Calixto et al., 1982 ; Gubbuk et al., 2010**), suivi par le glucose et le fructose, les teneurs des autres sucres (xylose, maltose) sont plus faibles et la cellulose et l'hémicellulose représentent un taux de 18 %. Cependant, ces proportions varient selon les auteurs (**Karkacier et Artik, 1995 ; Biner et al., 2007 ; El Batal et al., 2011 ; Haddarah et al., 2013**). Ces différences au sein de la littérature sont attribuées à de nombreux facteurs tels l'origine géographique, les conditions climatiques, la diversité entre les variétés, la récolte et le stockage, et les facteurs technologiques tels que l'extraction et les méthodes d'analyse (**Owen et al., 2003 ; Papagiannopoulos et al., 2004 ; Ayaz et al., 2007**). En général, les caroubes cultivées ont une teneur en sucres plus élevée que les caroubes sauvages (**Turhan et al., 2013**). La gousse du caroubier présente une valeur énergétique importante (17,5 KJ/g de M.S) (**Avallone et al., 1997 ; Biner et al., 2007**) et d'autres composés comme les vitamines.

1.13.1.2. Protéines et lipides

La farine de gousse de caroube broyée contient à peu près 4,45% de protéines. L'acide aspartique + asparagine, l'alanine, l'acide glutamique + glutamine, la leucine et la valine ; ensemble, représentent 57% de la teneur en acides aminés total des gousses (**Ayaz et al., 2009**). L'embryon ou la farine de germe est riche en protéines (52% avec une teneur élevée en lysine et arginine) et en carbohydrates (27%). La teneur en protéines de la farine de germe de caroube obtenue à partir des graines est plus élevée que celle observée pour les autres haricots comme la féverole, pois et le soja. **Mazaheri et al. (2012)** ont trouvé des valeurs de 48,4% pour la teneur en protéines du germe de caroube (lipides éliminés). La caroubine, protéine insoluble dans l'eau, isolée à partir d'embryons de caroube, est un mélange composé d'un grand nombre de protéines polymérisées de taille différente (**Wang et al., 2001, Bengoechea et al., 2008**). Certains auteurs, **Wang (2001) et Smith (2010)**, indiquent que ce système de protéine possède les mêmes propriétés rhéologiques que le gluten, mais la caroubine a une

Chapitre I : Synthèse bibliographique

structure plus ordonnée, avec des changements mineurs dans la structure secondaire lorsqu'elle est hydratée. Il est bien connu que les protéines de germe de caroube ont une composition bien équilibrée en acides aminés (**Bengoechea et al., 2008**). Ces protéines pourraient être utilisées comme ingrédients sains dans les aliments nutraceutiques et peut constituer une nouvelle source de nourriture pour les différents secteurs de population.

I.13.1.3. Les cendres :

Selon plusieurs auteurs (**Calixto et al., 1982 ; Albanell et al., 1991 ; Avallone et al., 1997 ; Batlle et Tous, 1997 ; Yousif et Alghzawi et al., 2000 ; Iipumbu et al., 2008 ; Youssef et al., 2009**), la teneur en cendres présentes dans la poudre de caroube variait entre 2 % et 6 % selon le type de caroube (**Albanell et al., 1991 ; Avallone et al., 1997 ; Iipumbu et al., 2008**).

I.13.1.4. Les fibres :

Les fibres alimentaires sont un groupe hétérogène de substances, généralement divisées en fibres solubles et insolubles. La fibre de caroube est produite par extraction à l'eau de la pulpe de caroube pour éliminer la majorité des glucides solubles ; la teneur totale en fibres alimentaires variait habituellement de 30 à 40 % de la pulpe de caroube (**Haber, 2002**). Une méthode de fabrication de la fibre naturelle de caroube a été également brevetée (**Marco et al., 1997**). La fraction de fibres alimentaires insolubles se compose de cellulose, d'hémicelluloses, de lignine et de *polyphénols* insolubles et sa teneur minimale dépasse 70 % de fibres de caroube. La forte proportion de *polyphénols* présents dans la fibre de caroube la différencie des autres sources de fibres alimentaires. En général, la fibre de caroube est considérée comme une fibre principalement insoluble et pratiquement non fermentescibles (**Nasar-Abbas et al., 2016**). D'autre part, la quantité de fibres alimentaires solubles est significativement plus faible (max 10 g 100 g-1 fibres de caroube) et contient des glucides simples. Enfin, la fibre de caroube a un grand effet sur la rhéologie de la pâte lorsqu'elle est utilisée comme ingrédient dans les produits de boulangerie (**Tsatsaragkou et al., 2014 ; Goulas et al., 2016**). Par conséquent, la différence dans la quantité de fibres rapportés dans la poudre de caroube est très probablement due aux différentes méthodes appliquées pour calculer les différentes fractions de fibres (**Iipumbu et al., 2008**). Chez l'homme, la consommation de fibres de caroube a démontré un pouvoir antioxydant élevé (**Kumazawa et al., 2002**) et un abaissement du taux de cholestérol et des triglycérides sérique (**Zunft et al., 2003**).

I.13.1.5. Les acides aminés :

A partir d'extrait de gousses, cinq acides aminés, en l'occurrence, l'alanine, la glycine, la leucine, la proline et la valine ont été isolés par **Vardar et al. (1972)** et deux autres composés, la tyrosine et le phénylamine, ont été rapportés par **Charalambous et Paconstantinou (1966)**. La teneur en acides aminés des caroubes se compose d'un mélange de 17 résidus (acide aspartique, acide glutamique, sérine, glycine, histidine, arginine, thréonine, alanine, tyrosine, valine, proline, méthionine, isoleucine, leucine, cystéine, phénylalanine et lysine) (**Ayaz et al., 2009 ; Sigge et al., 2011**). L'acide aspartique, l'asparagine, l'alanine, l'acide glutamique, la leucine et la valine représentent ensemble environ 57 % de la teneur totale en

Chapitre I : Synthèse bibliographique

acides aminés des gousses (Ayaz et al., 2007). En général, les caroubes peuvent être considérées comme une bonne source d'acides aminés selon les normes de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) pour les protéines. Plus précisément, il contient les sept acides aminés essentiels (thréonine, méthionine, valine, isoleucine, leucine, phénylalanine et lysine) à des concentrations conformes aux normes de l'OMS. La farine de caroube broyée contient à peu près 4,45 % de protéines (Ayaz et al., 2009).

1.13.1.6. Les minéraux :

Les caroubes sont un excellent réservoir de potassium et de calcium. La teneur en potassium varie entre 970 mg 100 g-1 poids sec et 1120 mg 100 g-1 poids sec, alors que la concentration en calcium atteint 300 mg 100 g-1 poids sec (Ayaz et al., 2007 ; Ayaz et al., 2009 ; Sigge et al., 2011 ; Oziyci et al., 2014). Compte tenu du fait que le lait de vache contient en moyenne 1200 mg de calcium par litre (une portion de caroube contient une concentration presque équivalente de calcium avec une tasse de lait) (Singh et al., 2007). Des macro minéraux tels que le phosphore et le magnésium ont également été trouvés dans les caroubes à des concentrations plus faibles. Les gousses de caroube contiennent également de nombreux micro minéraux, dont le fer, le cuivre, le zinc, le manganèse, le nickel, le baryum, le cobalt, etc. Parmi les micros minéraux, le fer a la concentration la plus élevée. Enfin, ses graines contiennent généralement des macros minérales et des micros minéraux plus élevés que les gousses (Ayaz et al., 2007 ; Ayaz et al., 2009 ; Sigge et al., 2011 ; Oziyci et al., 2014). De plus une étude minéralogique récente faite par El Bouzdoudi et al. (2017) sur des caroubes cultivées au Maroc ont identifié cinq macroéléments et trente microéléments dans la gousse entière, la pulpe et la graine et ses divers constituants. La teneur en minéraux de la gousse est très variable. La richesse de la pulpe et des graines de caroube en éléments minéraux reflète l'importance attribuée à cet aliment depuis longtemps pour les nutritionnements animale et humaine.

Tableau I : 6 : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg) (. Kamal E. Youssef et al., 2013)

Minéral	Mg/Kg
Mn	10,24
Zn	24,71
Fe	381,80
Cu	4,84
Se	9,79
Ca	2123
Na	505,97
K	8637,64
P	2255,21
S	17 577,80

Vitamines Unités	Unités
Vitamines Liposoluble	µg/100g
A	1 407

Chapitre I : Synthèse bibliographique

E	5377
D	4,9
Vitamines Hydrosoluble	Mg/100g
C	830,08
B2	0,38
Niacine	185,68
B6	23,80
Acide Folique	41,97
B12	41,97

Tableau I.7 : Valeurs moyennes de la teneur en vitamines de la poudre de caroube (M. kamalE.Youssef et al.,2013)

I.13.2. L'humidité :

La poudre de caroube contient une humidité qui varie selon les auteurs de 6 % à 15,6 % (Calixto et al., 1982 ; Avallone et al., 1997 ; Yousif et Alghazwi, 2000 ; Iipumbu et al.,2008 ; Youssef et al., 2009). Batlle et Tous (1997) et Iipumbu et al. (2008) ont expliqué que cette variabilité est due aux conditions environnementales (pluie et humidité), aux cultivars de caroubier, à la durée de maturation, au moment de la récolte et à la durée de stockage (Albanell et al., 1991 ; Avallone et al., 1997 ; Iipumbu et al., 2008).

I.13.3. Les cyclitols :

Comme toutes les légumineuses, un ensemble de cyclitols avec ses multiples bénéfices pour la santé a été confirmé dans la caroube (Livesey, 2003). Le principal cyclitol est le *D-pinitol* (3-O-méthyl-D-chiro-inositol) et son contenu était très diversifié (1,0 à 8,5 g 100 g-1d.m.) dans la caroube. La concentration de *D-pinitol* est influencée par des facteurs génétiques et environnementaux, surtout la teneur moyenne en *D-pinitol* des caroubes sauvages est plus élevée que celle des caroubes cultivés (Turhan, 2013). Le *D-pinitol* revêt une grande importance, car il peut être utilisé comme marqueur de la falsification de la caroube par le cacao (Baumgartner et al., 1986). En outre, la caroube peut être considérée comme un excellent réservoir de *D-pinitol* et son procédé d'isolement a été breveté (Camero et Merino, 2004). Récemment, l'extraction assistée par ultrasons et l'extraction par fluide supercritique ont été proposés pour l'isolement de *D-pinitol* dans la caroube (Haber, 2002 ; Custodio et al., 2015). Enfin, le *myo-inositol*, D-(+) -chiro-inositol, *ononitol* (4-O-méthyl-myo-inositol), *sequoyitol* (5-O-méthyl-myo-inositol) et le *bornésitol* (1-O-méthyl-myo-inositol) n'a été détecté qu'à des concentrations infimes (Baumgartner et al., 1986).

I.13.4. Les poly-phénols :

Les poly phénols constituent l'un des groupes de substances les plus répandus chez les plantes après les terpénoïdes. Plusieurs milliers de polyphénols sont connus, englobant une grande variété de molécules constituées d'un ou de plusieurs cycles aromatiques avec des degrés variables d'hydroxylation, de méthylation et de glycosylation (Manganaris et al., 2014). Les principales catégories de composés phénoliques présents dans la caroube sont les acides

phénoliques, les gallo tannins et les flavonoïdes (Goulas et al., 2016). La caroube est une bonne source de polyphénols principalement les tannins (16-20 %) (Owen et al., 2003 ; Biner et al., 2007 ; Haddarah et al., 2013). Cependant, les résultats sont très différents au sein de la littérature, non seulement en fonction des facteurs technologiques tels que les méthodes d'extraction et d'analyse, mais aussi de la génétique, de l'origine géographique, des conditions climatiques, de la récolte et du stockage (Papagiannopoulos et al., 2004 ; Markis et Kefalas, 2004 ; Cavdarova et al., 2014). Les polyphénols de caroube ont suscité un intérêt scientifique ; ainsi, de nombreuses méthodes d'extraction ont été proposées pour récupérer les polyphénols de la caroube (Cavdarova et al., 2014 ; Roseiro et al., 2013 ; Almanasrah et al., 2015). En outre, un brevet pour l'extraction et la purification de composés phénoliques a été enregistré par Baraldi et al. (2004).

1.14. La composition chimique et valeur de la graine :

La composition chimique de la caroube et ses différentes parties a fait l'objet d'études approfondies pour différents pays de la région méditerranéenne. Il avait été observé que cette composition ne dépend pas seulement de facteurs technologiques tels que l'extraction et la méthode d'analyse, mais aussi sur le génotype de la plante, l'origine géographique, les conditions climatiques ; la récolte et les procédures de stockage (Owen et al., 2003 ; Biner et al., 2007 ; El Kahkahi et al., 2015). Les graines de caroube sont constituées de trois différentes parties mais fortement liées. Il s'agit, de l'extérieur vers l'intérieur, deux enveloppes distinguant, l'une externe appelée testa, colorée et dure et l'autre interne nommée tegmen qui est plus blanche et molle (cuticule marron, 30-33 %), un endosperme ou albumen, il se situe sous l'épisperme et constitue le tissu de réserve pour la germination de l'embryon (blanc et translucide, 42-46 %) un embryon ou un germe (23-25 %) (Neukom, 1988 ; Melgarejo et Salazar, 2003 ; Gharnit et al., 2006). Elle contient essentiellement des antioxydants et de polysaccharides (galactose et mannose dans une proportion de 1 pour 4), l'enveloppe tégumentaire est considérée comme étant une source naturelle pour la production de poly phénols antioxydants (Batista et al., 1996 ; Makris et Kefalas, 2004).

1.14.1. La cuticule :

La cuticule ou l'enveloppe contient principalement de la cellulose, de la lignine et des tanins, des antioxydants (Batista et al., 1996 ; Melgarejo et Salazar, 2003). Ces antioxydants naturels ne sont que les polyphénols naturellement présents dans l'enveloppe de la graine, qui sont valorisables dans l'industrie alimentaire (Makris et Kefalas, 2004).

1.14.2. L'endosperme :

La partie la plus intéressante de la graine de caroube est l'endosperme qui est constitué de 2 téguments enrobant un germe. Sa composition chimique est pauvre en minéraux en fibres et en protéines. Par contre elle contient une quantité appréciable de lipides (Bouzouita et al., 2007). Economiquement, c'est la partie la plus intéressante de la graine grâce à sa teneur élevée en galactomannane ou gomme de caroube. Cette partie de la graine est obtenue par décorticage afin de séparer les enveloppes et le germe des graines. Une fois broyés, les téguments donnent la gomme de caroube non purifiée (Kök et al., 1998). Cette gomme est une poudre blanche à blanc crème obtenue à partir de l'endosperme de la graine de caroube.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Elle est composée d'un polysaccharide de haute masse moléculaire composé de galactomannane et sa concentration peut atteindre jusqu'à 85 % de la graine de caroube.

La composition typique de la gomme (LBG : Locuste Bean Goum ou galactomannanes de graines de caroube) de haute pureté est de 10 à 13 % d'humidité, 5 % de protéine, 1 % de cendres, 1 % des fibres de et le reste est de 80 à 85 % de galactomannane (**Maier et 1993**).

La gomme de caroube, extraite soit par traitement de la graine de caroube par l'eau bouillante (LBGw) ou par l'acide (LBGa), possède une grande portion d'eau et de protéines, et peu de lipides. Elle possède également des teneurs variables en sucres (**Dakia et al., 2007**). **Dakia et al. (2007)** ont aussi exploré les teneurs de la gomme de caroube en sucres. Il s'est révélé que les teneurs en mannose et en galactose sont élevées par la technique d'extraction LBGa (respectivement 64,9 % et 17,9 %) que par la technique d'extraction LBGw (respectivement 51,9 % et 14,6 %). Contrairement à ces valeurs, **Rizzo et al. (2004)** ont démontré que la gomme de caroube extraite par LBGw a des teneurs plus faibles en galactose et en mannose, respectivement ~40% et ~10 %. Récemment, quelques études ont également évoqué ce sous-produit de l'industrie comme une bonne source de polyphénols (**Bernardo-Gil, 2011 ; Bouaziz et al., 2013**). La taille et la structure moléculaires des galactomannanes revêtent une grande importance, car elles affectent grandement les propriétés fonctionnelles de la gomme de caroube (**Rizzo et al., 2004**). Les propriétés fonctionnelles de la gomme telles que la solubilité, la rhéologie, la viscosité, le taux d'hydratation, la formation de gel synergique et l'adsorption de l'eau ont été étudiées (**Barak et Mudgil, 2014 ; Gillet et al., 2014**). Enfin, de nombreux travaux décrivent la nouvelle utilisation de la gomme (LBG) dans les produits alimentaires tels que les gelées, les aliments pour bébés, etc (**Aoki et al., 2001 ; Bergmann et al., 2012**). La gomme (LBG) est également exploitée pour le développement de nouvelles barrières visant à améliorer les caractéristiques organoleptiques des produits alimentaires (**Yan et al., 2016**).

1.14.3. Le germe :

La farine de germe (embryon) est riche en protéines (52 %) et en carbohydrates (27 %), avec 8 % de lipides (neutre), 7 % d'eau et 6 % de cendres. La caroubine, la protéine insoluble dans l'eau isolée à partir d'embryons de caroube, est un mélange composé d'un grand nombre de protéines polymérisées de taille différente (**Wang et al., 2001 ; Bengoechea et al., 2008**). Certains auteurs (**Wang et al., 2001 ; Smith et al., 2010**) indiquent que ce système de protéine possède les mêmes propriétés rhéologiques que le gluten, mais la caroubine a une structure plus ordonnée, avec des changements mineurs dans la structure secondaire lorsqu'elle est hydratée. Aussi, l'analyse de la composition chimique de la farine du germe du caroubier a montré une haute quantité d'acides aminés comme l'acide glutamique, l'acide aspartique et l'arginine (**Bengoechea, 2008**). Le germe comprend une concentration plus élevée de tanins (16,2 mg condensés tanins/g et tanins hydrolysables à 2,98 mg/g), alors que leur concentration dans les graines de caroube existe dans traces. Selon **El Bouzdoudi et al. (2017)** les graines présentent une teneur élevée en potassium (6,2 g/kg de MS, 4,3 g/kg de MF et 0,305mg/graine) et une très faible teneur en sodium (0,17 mg/kg de MS, 0,13 mg/kg de MS et 0,01 mg/graine).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau I : 8 : composition chimique de caroube (Makris et al, 2004)

Composition	Pourcentage
Pulpe 90%	Glucide 48-72
	Protéine 1-2
	Matières grasses 0.5 – 0.7
	Cellulose et hémicellulose 18
	Minéraux (Ca, Mg, K, P) 2 - 5.3
	Pectines et fibres 4.2 – 9.6
	Cendres 1.5 – 2.4
	Poly phénols 16-20
Graines 10%	L'enveloppe tégumentaire (cuticule) 30-33
	L'endosperme (albumen) 42 -46
	L'embryon (germe) 23- 25

II.1. Généralités :

II.1. La panification

La panification est l'ensemble des transformations physiques, de réactions chimiques et d'activités biologiques complexes se produisant au sein d'un mélange de farine, d'eau, de sel, de levure et parfois de quelques autres ingrédients (acide ascorbique, farine de fièvre, enzyme exogène, émulsifiants ...) sous l'action d'un apport contrôlé d'énergie mécanique et thermique. (**Ladraa, 2012**).

Pour obtenir du pain, il faut au départ trois composants dont l'action est complémentaire et indissociable qui sont l'amidon qui fournit les sucres, le gluten qui forme le fin réseau élastique et assure la cohésion de l'ensemble et en fin la levée qui produit, comme son nom l'indique, la levée et l'allègement de la pâte. (**Mosiniak, 2018**).

II.1.2. Le pain :

Le pain est un aliment obtenu par cuisson au four d'une pâte pétrie, mise en forme et fermentée, composée essentiellement de farine (blé ou seigle), d'eau, de sel et d'un agent de fermentation (levure ou levain). (**Roussel et al. 2010**).

Le pain fait fut créé il y a plusieurs milliers d'années. Il est l'aliment de base de la population humaine. On peut situer le début de la fabrication dans l'Égypte antique au X X II e siècle avant J.C. Quelques années après les Égyptiens, les Grecs créent les métiers de boulanger et inventent plus de 70 variétés de pains et au moyen Age, la place du pain dans l'alimentation prend encore plus d'importance. (**Fredot, 2009**)

II.2. Technologie du Panification :

II .2.1- Matières premières:

II .2.1.1.-Farine:

Elle doit être de bonne qualité c'est-à-dire extraite d'un blé sain, satisfaisant à des conditions strictes d'humidification, de grosseurs des grains et de taux maximum d'impuretés (**Fredot, 2009**).

II .2.1.2-Eau :

L'eau servant à la fabrication du pain est nommée « eau de coulage ». Elle doit être potable, non calcaire et ne doit pas contenir trop de chlore ce qui inhiberait la fermentation. Elle permet d'hydrater le gluten et l'amidon et elle est indispensable à cohésion de la pâte (**Fredot, 2009**).

II .2.1.3-Sel:

Il est important mais non indispensable, il améliore les qualités organoleptiques de la pâte et il permet de régulariser la fermentation (en la freinant), participe à la bonne coloration de pain et retarde sa dessiccation (**Fredot, 2009**).

II .2.1.4-Agents de fermentation:

II .2.1.4.1-Levain:

Afin de fabriquer du levain, le boulanger prélève une petite quantité de pâte sur l'une des fournées du jour. Il la laisse ensuite reposer plus de 12 heures en ajoutant régulièrement de la farine et de l'eau. De minuscules micro-organismes capables de faire gonfler la pâte se forment alors peu à peu. Ils constituent la flore de levain constituée précisément d'un mélange de bactéries acidifiantes (lactiques et acétiques) et de levures sauvages (*Saccharomyces minor*). La fermentation au levain fait donc appel à une fermentation naturelle (**Fredot, 2005**).

II .2.1.4.2-Levure de boulangerie:

C'est un agent de fermentation plus facile à utiliser que le levain car il est produit industriellement et assure un résultat plus rapide et plus uniforme (**Fredot, 2009**).

II .2.1.5-Améliorants:

Pour corriger les déficiences de certaines farines ou faciliter certains types de panification, des produits peuvent être additionnés en boulangerie (additifs, adjuvants, auxiliaires technologiques 'naturels, synthétiques') (**Fredot, 2009**).

II .3- Etapes de panification:

II .3.1-Pétrissage:

Le travail mécanique vise à mélanger les différents composants, incorporer de l'oxygène à la pâte et développer l'élasticité du gluten (l'eau et la levure apporte la souplesse à la pâte) c'est-à-dire appliquer une force mécanique afin d'assurer l'homogénéisation des différents ingrédients (**Daupin et al, 1992, Peighambardoust et al, 2014**). L'oxygène est utilisé en 15 secondes par les levures. La vitesse de pétrissage modifie les durées de fermentation (**Roudaut et lefrancq, 2005**). La pâte lisse et homogène est formée au cours de pétrissage rapide (20-25 min). La levure peut être remplacée par du levain (**Alais et al, 2005**).

-Le pétrissage se compose de deux phases : le frasage et le pétrissage en tant que tel. Ces deux phases sont effectuées dans le pétrin, l'une à la suite de l'autre. Le frasage s'effectue à vitesse lente afin de mélanger les ingrédients et d'hydrater la farine. Ce procédé incorpore l'eau au gluten de l'amidon de la farine. Les particules de gluten gonflent et forment un réseau semblable à un échafaudage. Le pétrissage se réalise à vitesse plus rapide (environ deux fois plus vite que celle du frasage) Ce traitement consiste à développer le réseau glutineux (**Alvardo, 2014**).

-Le pétrissage permet de réorganiser les protéines en un réseau viscoélastique, qui va contrôler l'expansion de la pâte pendant la fermentation. En fait, plus on pétrit, et plus on ensemence en levure, plus on aère le pain, ce qui conduit à un volume important (**Rémésy et al, 2014**).



Figure II .1 : Le pétrissage (www.espace-pain-info.com)

II .3.2- Première fermentation « pointage »:

Dans un milieu qui n'est pas strictement anaérobie : la levure fermente les glucides libres de la farine (environ 1%) pendant ce temps, la β -amylase attaque les granules d'amidon endommagés au cours de la mouture (**Alais et al ,2005**). On laisse reposer la pâte dans le pétrin à 20-25°C pour permettre l'activité de la levure ou de levain qui réalisent leurs fermentations respectives en utilisant les oses résiduels de la farine. Durant le pointage, l'essentiel des arômes est formé en particulier de l'acide propénoïque et aussi par d'autres

Acides, ces acides non seulement exhausteurs d'arômes mais qui freinent aussi le rancissement (**Fredot, 2009**).



Figure II .2 : Le pointage (**Touyarou 2012**)

II .3.3-Division de la pâte en pâtons:

La pâte est découpée en pâtons de poids identiques et cette phase se réalise grâce à une peseuse – diviseuse. Elle doit être faite pour assurer un poids de pain constant et garanti à la vente (Ladraa, 2012 et Fredot, 2009).

II .3.4- Boulage:

Afin d'obtenir des pâtons réguliers en vue de façonnage, ces derniers sont « boulés ». Cette étape permet également de contrôler la force des pâtes et de la corriger éventuellement en boulant plus ou moins serré (Fredot, 2009).



Figure II .3 : Le boulage (www.espace-pain-info.com)

II .3.5- Détente:

Les pâtons sont laissés au repos une nouvelles fois ce qui permet au gluten de se détendre après les différentes étapes de division et de boulage. Sans cette phase, le réseau de gluten aurait en effet tendance à se déchirer au moment du façonnage (Ladraa, 2012).

II .3.6- Façonnage:

C'est une mise en forme de la pâte. Il consiste à donner à chacun des pâtons sa forme voulue selon le type de pain (baguette, épi, boule, couronne...) (Fredot, 2005), Pendant cette phase, il y a encore production de sucres fermentescibles (glucose et maltose) : toujours grâce à l'action des amylases sur l'amidon qui subiront la deuxième fermentation (Doumandji et al, 2003 et Fredot, 2009).



Figure II .4 : Le façonnage (Touyarou 2012).

II .3.7-Deuxième fermentation « apprêt » :

Elle est appliquée aux pâtons boulés (Landarf, 2002) et se pratique aussi dans une enceinte thermo statée (20-25°C) et à hygrométrie suffisante pour éviter le « croûtage » des pâtes (Doumandji et al, 2003). Le volume de chaque pâton est ainsi triplé avec la production de nombreux arômes. Il s'agit de la fermentation qui s'échelonne de la tourne à la mise au four.

La levure utilise encore les sucres fermentescibles pour produire du CO₂ en grande quantité. Retenu par le film élastique et continu du réseau de gluten, ce CO₂ ouvre alors une multitude de petites alvéoles qui font de plus en plus gonfler la pâte. Plus le taux d'extraction de la farine est faible et plus le réseau de gluten ne se distend sous la poussée du CO₂. (Fredot, 2005).

L'apprêt représente la fermentation finale (Ladraa, 2012). Elle dure entre 1h30 min et 2h. Des petits coups de lame sont donnés sur la partie supérieure des pâtons ce qui forme des incisions ayant pour but d'éviter lors de la cuisson, les déchirures peu esthétiques de la croûte. Elles permettent aussi d'obtenir de belles arêtes qui sont des éléments importants de l'esthétique du pain (Fredot, 2009).



Figure II .5 : L'apprêt (www.espace-pain-info.com)

II .3. 8-Incision superficielle des pâtons :

Des petits coups de lame sont donnés sur la partie supérieure des pâtons ce qui forme des incisions. Elles ont pour but d'éviter les déchirures peu esthétiques de la croûte sous la très forte poussée du CO₂ et sous l'action de la chaleur lors de la cuisson. Elles permettent aussi d'obtenir de belles arêtes appelées grignes dorées et croustillantes qui sont un élément important du « bon pain » (**Fredot, 2005**)



Figure II .6 : Incision superficielle des pâtons (www.espace-pain-info.com)

II .3.9-Cuisson:

La cuisson a pour but essentiel de gélatiser l'amidon et de coaguler les protéines afin d'accroître leur digestibilité. Elle permet en plus d'assurer une durée de conservation convenable au produit par destruction des enzymes et des microorganismes (**Potus et Drapron, 1990**).

Il y a une dilatation des alvéoles gazeuses ce qui permet au pain d'obtenir un volume suffisant et grâce à la gélatinisation de l'amidon et la coagulation du gluten, le pâton se fixe dans sa structure finale (**Dupin et al, 1992**). La mie et la croûte vont se former progressivement au cours de la cuisson qui se fait dans un four dont l'atmosphère est saturée en vapeur d'eau. La cuisson du pain est réalisée environ 250°C. Le four doit être préchauffé car une certaine quantité de chaleur est perdue à l'introduction des pâtons, la cuisson dure typiquement entre 40 et 60 minutes, selon la taille des pains à cuire (**Alvarado, 2014**) Il reproduit les transformations suivantes : accroissement brusque du volume de pain par la production accélérée de CO₂ et la saturation en gaz de la pâte ; en même temps, il se forme en surface un film précurseur de la croûte. Ces deux changements s'arrêtent lorsque la température interne s'élève vers 60°C, alors l'alcool produit s'évapore (**Doumandji et al, 2003 et Alais et al, 2005**).



Figure II .7 : La cuisson (www.espace-pain-info.com)

II .3.10-Ressuage:

C'est la période durant laquelle le pain se refroidit. Ce refroidissement est accompagné d'un départ de vapeur d'eau et CO_2 entraînant une légère perte d'humidité au niveau de la mie et pour le pain une perte de poids. Le pain chaud est refroidi lentement, de manière à ce que fraîcheur dure de 12 à 18 heures. C'est donc un produit fragile ; il rassit même en atmosphère humide (ce n'est pas une simple dessiccation).

Divers additifs ont été préconisés pour freiner le rassissement ; en particulier, les agents tensioactifs, comme les monoacylglycérols, qui formeraient un complexe avec l'amylose et empêcheraient sa diffusion (Doumandji et al, 2003 et Alais et al, 2005).

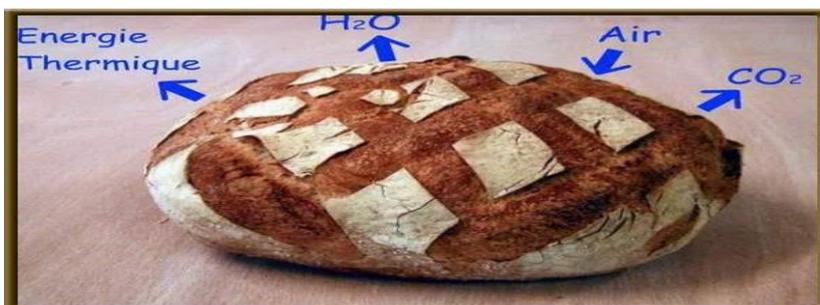


Figure II .8 : le défournement (ressuage) (www.espace-pain-info.com)

II .4- La conservation du pain:

Du fait que le pain est sujet à des attaques de plusieurs sortes de microorganismes, les règles d'hygiène doivent être strictement suivies en matière de stockage, d'emballage et de vente pour minimiser les contaminations (**Giroux et Galdy, 1999**). Ces mesures allongeraient la conservation.

Il est recommandé de conserver et stocker le pain dans un endroit sec et propre et de préférence, dans un sac en lin, en coton ou en papier ou dans une huche en bois. Ainsi, ne jamais le conserver dans des récipients en métal ou en plastique, dans des sacs plastiques, voire dans le réfrigérateur. (**Fredot, 2005**)

Si le pain a été bien cuit, il va rester agréable à la consommation pendant 48 heures. Progressivement, l'humidité contenue dans la mie va s'évaporer et le pain va se dessécher : c'est le rassissement. **D'après Bechetel et al, (1953)**, le rassissement est un terme qui traduit la décroissance d'acceptabilité d'un produit de cuisson, en raison des modifications de la mie autres que celles résultant d'une action des microorganismes. Le rassissement est l'une des propriétés texturales les plus importantes liées à la qualité des pains.

Le pain peut être attaqué par les micro-organismes provenant soit des locaux de stockage, soit des locaux de conditionnement, soit de différentes manipulations provoquant sa détérioration. Parmi les micro-organismes attaquant le pain, on a : les bactéries et les *champignons* dont les *moisissures* et les *levures* (2012).

II .5- Les différents types de pains commercialisés:

Il existe une très grande variété de pains qui se différencient par leurs recettes de fabrication mais également leurs formes (baguettes, boule, épi, fougasse...) (**Carbol 2006**)

II .5.1- Le pain de tradition française (la baguette française) :

Il est fabriqué à partir d'un mélange de farine de blé, d'eau potable, de sel de cuisine de levure ou levain et contient éventuellement une très faible quantité de farine de fève, de soja, de malt de blé, d'amylases fongiques et de gluten (**Cbrol, 2006**).



Figure II .9: le pain de tradition française (www.observatoiredupain.fr)

II .5.2-Le pain de compagne:

Il est à base de farine blanche ou bise (=farine blanche + son), avec addition ou non de farine de seigle. (Important pain) sa fabrication doit être conduite de façon à développer une saveur légèrement acidulée et à obtenir une plus longue conservation. (Cabrol 2006)



Figure II .10 : Pain de compagne (www.espace-pain-info.com)

II .5.3-Le pain complet:

Est préparé avec de la farine complète ou intégrale issue du grain de blé entier, y compris le germe et l'enveloppe (farine de type 150) (Cabrol 2006)

Sa teneur plus élevée (environ 7 %) confère à ce pain un risque plus faible de constipation et de troubles intestinaux (Fredot 2005).



Figure II .11 : Pain complet (www.espace-pain-info.com)

II .5.4-Le pain bio:

Il est fabriqué à partir de blé non traité, les grains sont écrasés à la meule : la farine sera donc riche en vitamines, son et sels minéraux. Il est fabriqué avec du levain et soumis aux normes régissant l'agriculture biologique (AB) (Fredot 2005).



Figure II .12 :Pain Bio (WWW.observatoiredupain.fr)

II .5.5-Le pain bis:

Le pain bis est préparé avec une farine de blé de types 80 ou 110, dite bise (Cabrol, 2006).



Figure II.13 : Pain bis (www.observatoiredupain.fr)

II .5.6-Le pain au levain:

Doit être préparé à partir d'un levain défini comme une pâte composée de farine de blé ou de seigle, éventuellement additionnée de sel, et soumise à une fermentation naturelle (Cabrol, 2006)



Figure II.14: Pain au levain (www.observatoiredupain.fr)

II .5.7-Pains spéciaux:

II .5.7.1. Pain de mie :

Il est enrichi en sucre et en matières grasses et cuit dans un moule. Sa valeur nutritionnelle est la suivante : protéines 8%, glucides 50%, lipides 4%.(Fredot 2005).

II .5.7.2. Pain viennois :

C'est un pain de mie avec en plus du lait et des extraits de malt (Fredot 2005).

II .5.7.3. Pain brioché :

Il est enrichi en sucre, matières grasses et œufs, (Fredot 2005).

II .5.8-Pain au seigle:

Il doit contenir au moins 10% de farine de seigle complété par de la farine de blé (Fredot 2005).



Figure II.15 : Pain au seigle (www.espace-pain-info.com)

II .5.9-Pains fantaisies:

II .5.9.1. Painsportif :

Il est fabriqué avec de la farine de blé, de seigle, de soja ou de coton. Il peut être enrichi en germes de blé, fruits secs, son, graines de courge (Fredot 2005).

II .5.9.2. Autres pains :

Au muesli (mélange de céréales et de fruits secs) (Fredot 2005).

II .5.10-Le pain à base de la caroube:

Il est fabriqué avec de la farine du caroubier .il est riche en fer, magnésium, calcium et vitamines qui aident à la satiété (**kezih et al, 2014**).



Figure II.16 : pain de caroube (www.mcooker-ar.icdself.com)

II .5.11-Kesra:

Le terme « Kesra » signifie fraction. Elle comprend quatre pains plats cuits à la maison : Mathlouaa, Maadjouna, Rakhsis et Harcha. Ces appellations varient dans toute l'Algérie, mais les recettes et les diagrammes sont semblables (**Kezih et al, 2014**).



Figure II.17:kesra(www.observatoiredupain.fr)

II .5.12- Khobzeddar:

C'est un pain traditionnel Algérien fabriqué à base de semoule de blé dur et caractérisé par une croûte croustillante et une mie légère (**Bourekoua et al, 2016**).

Cela signifie littéralement pain de maison (**Dagher, 1991**), il diffère de Kesra par son recette (matière grasse, œufs et certains additifs) et par son diagramme de fabrication (**Dagher, 1991**).

Ce pain traditionnel est préparé lors des grandes célébrations comme les mariages et les fêtes religieuses. Son recette est complexe à cause de nombreux ingrédients utilisés (fine semoule, graisse, lait, sel, levure, œufs, sésame et graines de nigelle). Le pain est cuit dans un four de boulanger ou dans un four ménager. Le produit fini a une croûte croustillante et une mie tendre et délicieuse (**Cheriet, 2009**).



Figure II.18 :Khobzeddar (www.observatoiredupain.fr)

II .6-Qualité du pain:

La qualité du pain dépend à la fois de la formule choisie et du processus de fabrication. La production de pain consiste à pétrir, à lever et à faire cuire la pâte. Chacune de ces étapes est responsables des différentes propriétés finales du pain (**Bloksma, 1990**).

Le pain est majoritairement fabriqué à partir de blé et l'amélioration de sa valeur nutritionnelle peut s'effectuer au niveau de la matière première, des procédés de mouture et des modes de panification (**Lioger et al, 2007**).

Les boulangers ne font pas usage d'ordinaire d'une farine provenant de la mouture d'une seule sorte de blé. Il est rare qu'une telle farine présente à la fois toutes les qualités requises pour la production économique d'un bon pain. La composition chimique des diverses farines, surtout en ce qui concerne la proportion des matières azotées, est extrêmement variable. Elle dépend non seulement de la variété du blé qui produit la farine, mais encore, pour une même variété de blé, des conditions de la culture, richesse du sol, humidité, température. Les considérations principales qui guident le meunier sont : la teneur en gluten, la dureté du grain et son rendement en farine (les blés durs donnent un plus grand rendement), la couleur de la farine à obtenir, Le pain d'une farine de blé tendre est bien blanc, si le taux de blutage est suffisamment élevé ; la farine de blé dur employée seule, exige beaucoup plus de force pour la

confection des levains ; loin d'être à craindre à ce point de vue, est une protection contre le brunissement. Si pour une raison quelconque une farine a été conservée trop longtemps, elle peut être devenue absolument impropre à la panification, à cause de l'altération de son gluten, et cependant il peut suffire d'y ajouter une certaine proportion de farine fraîche très riche en gluten pour en obtenir un pain parfaitement salubre et satisfaisant pour le goût. (**Feuillet, 2009**).

La qualité du blé est déterminée par la force du gluten et est affectée par les protéines dans la farine de blé (**Tao et al, 2018**). Son qualité nutritionnelle se définit aussi par son index glycémique, c'est-à-dire sa capacité à plus au moins augmenter la glycémie postprandiale (**Fardet et al, 2006**). Pour améliorer l'index glycémique du pain, il faudrait donc adoucir au maximum les procédés de pétrissage et panifier plutôt au levain (**Rémésy et al, 2014**).

L'amidon intervient de différentes manières au cours de la fabrication du pain qui est une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la multiplication et la croissance des levures, les interactions qui se développent entre l'amidon et les protéines du gluten peuvent modifier les propriétés des pâtes et aussi les interactions qui se forment entre l'amidon et les protéines des farines de qualités supérieure seraient un facteur favorable à un volume de pain élevé (**Feuillet, 2009**).

II .7-Critères de qualité du pain:

II .7.1-Volume:

Le volume du pain est le plus important critère utilisé pour déterminer et évaluer la qualité du pain (**Rózylo et Laskowski, 2011 ; Dogan et al, 2012 ; Hager et Arendt, 2013**). La méthode la plus commune et la plus utilisée pour déterminer le volume du pain est la méthode basée sur le déplacement des grains sphériques de natures différentes (colza, orge perlé, etc.) (**Alaunyte, 2013**). D'autres instruments, y compris les techniques d'analyses d'image et les capteurs laser, ont été aussi développés, bien que la plupart des chercheurs utilisent la méthode de déplacement des grains. D'après les résultats de **Caley et al. (2005)**, il y a une corrélation significative entre la méthode classique de déplacement des grains et la technique des capteurs laser ($R^2=0,993$, $P<0,05$) lors de la mesure du volume du pain.

II .7.2-Texture:

La texture du pain se réfère aux caractéristiques physiques qui peuvent être détectés par les récepteurs mécaniques, tactiles, visuels et auditifs. Elle est liée à la déformation de la mie du pain pendant le temps (**Bourne, 1982 ; Ndangui, 2015**). La texture est une propriété importante de la qualité finale du pain qui influence fortement l'acceptabilité de ce dernier par le consommateur. Le paramètre le plus important pour évaluer la qualité du pain est la dureté, qui présente la force maximale de la première compression de la mie (**Alaunyte, 2013**).

L'analyse de la texture du pain par des instruments mécaniques permet d'obtenir des paramètres texturaux ayant une corrélation avec certains paramètres d'appréciation sensorielle

(Nedangui, 2015). Pour déterminer la texture du pain, des tests subjectifs et objectifs ont été développés. Le test de compression subjectif consiste à appliquer une force de compression par un paneliste qui comprime les tranches de la mie du pain avec les dents pour évaluer sa dureté (Cauvainet Young, 2006). Le test objectif ou mécanique, c'est le test le plus utilisé par les chercheurs, il consiste à effectuer une compression de la mie à travers une distance standard par des sondes spéciales, où la force requise pour déformer la mie est mesurée et enregistré sous forme des courbes. Différents paramètres texturants peuvent être calculés à partir de ces courbes de forces et par différents analyseurs de texture (Alaunyte, 2013 ; Ndangui, 2015 ; Ronda et al, 2017).

II .7.3-Structure alvéolaire:

La structure alvéolaire de la mie du pain est définie comme la structure cellulaire exposée, lorsqu'une tranche du pain est découpée (Kamman, 1970). La structure alvéolaire contribue à la détermination de la résistance mécanique, la texture, l'apparence visuelle et la qualité finale de la mie du pain. En effet, la structure alvéolaire de la mie du pain représente environ 20% de la pondération dans l'évaluation de la qualité du pain (Alaunyte, 2013).

Des paramètres, tels que le nombre et la taille des alvéoles, la répartition spatiale des alvéoles (uniformité) et l'épaisseur des parois cellulaires, sont tous utilisés pour évaluer la structure alvéolaire de la mie. Le pain de bonne qualité doit posséder des qualités alvéolaires, telles que des parois cellulaires minces mais fortes, afin de pouvoir résister à la déformation et une structure uniforme avec des alvéoles de petites tailles ou des tailles homogènes, (Liu et Scanlon, 2003). Ces paramètres sont généralement obtenus à partir des pains fabriqués à base de blé. Un pain de mauvaise qualité alvéolaire présente une structure grossière, des cellules irrégulières à volume élevé avec des parois épaisses et une densité de mie élevée (Alaunyte, 2013).

L'analyse d'image est considérée comme une méthode objective et elle est devenue presque la norme dans l'évaluation de la structure alvéolaire des miettes des pains dans les dernières décennies par utilisation de différents outils informatiques (Zayas, 1993 ; Chtioui et al, 1996 ; Verdu et al, 2016 ; Jha et al, 2017). Un nombre important de publications existe déjà sur l'analyse d'image et indique que cette dernière est un outil utile pour quantifier des caractéristiques de la mie de pain telles que la taille et la distribution des alvéoles, la fraction de vide et le facteur de forme (Svec et Hruskova, 2004 ; Romano et al, 2013 ; Svec et Hruskova, 2013 ; Scheuer et al, 2015).

II .7.4-Humidité finale:

La teneur finale de l'eau dans le pain n'est pas un paramètre clé dans la détermination de la qualité du pain mais elle est importante à évaluer lors de la conservation du pain car la qualité du pain est affectée par sa teneur en humidité, ce qui implique des changements dans la mie et la croûte, réduisant ainsi l'acceptabilité du produit par le consommateur (Sanina et al, 1996 ;

Maghirang et al, 2006 ; Alaunyte, 2013). He et Honese (1990) ont montré que le pain avec un taux d'humidité plus élevé se raffermissait plus lentement et avait une fermeté finale inférieure par rapport à un pain d'humidité inférieure.

II .7.5- Microstructure:

La caractérisation de microstructure de la pâte et du pain final est utilisée pour déterminer les changements qui se produisent dans la pâte à pain au cours du processus de la panification ou lors de l'addition de nouvelles substances (Fleming et Sousulski, 1978).

La Microstructure Electronique à Balayage (MEB) est la plus utilisée pour la description de la microstructure de la pâte et du pain. Elle permet d'obtenir des images de surfaces et de l'intérieur de l'échantillon, à des échelles allant de celle de la loupe ($\times 10$) à celle du microscope électronique à transmission ($\times 500.000$ ou plus), (Fleming et Sosulski, 1978 ; Aguilera et Stanely 1999). Elle permet d'identifier les changements sur la microstructure de l'échantillon, mais pas les mécanismes entraînant ces changements. Elle ne permet pas de localiser un composé d'intérêt (Ndangui, 2015). Cette analyse sert comme une photographie du produit fini à une échelle de grossissement plus élevée.

La microscopie électronique à balayage est utile dans la recherche des différences engendrées par l'addition d'autres composés au pain. (Toyosaki et al, 2015) ont montré des différences dans la microstructure du pain fabriqué avec divers lipides : Triacylglycérols à chaîne moyenne (MCT), Triacylglycérols à longue chaîne (LCT) et le beurre. Les résultats de la MEB permettent d'observer une surface lisse formée dans le cas du pain MCT avec un certain nombre de pores qui ne figure pas dans le cas du pain LCT et le pain ou beurre. Ce dernier est caractérisé par des petits pores

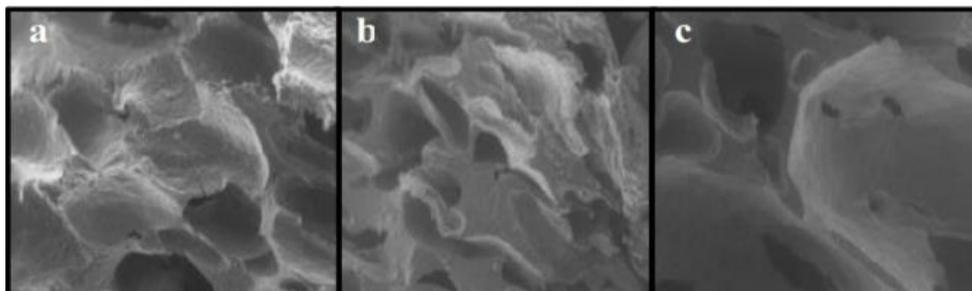


Figure II.19:Microstructure par MEB des pains préparés avec : a : MCT (bon) ; b : LCT (moyen) ; c : beurre (mauvais) ; échelle de mesure (500um) (Toyosaki et al, 2015).

II .7.6-Qualité nutritive:

Le nombre des consommateurs informés sur l'importance des aliments fonctionnels a augmenté considérablement (Sivam et al, 2010). Les aliments qui possèdent un niveau élevé en antioxydants sont fortement demandés en raison de leurs avantages pour la santé et la

protection contre les maladies, comme le cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies dégénératives (**Boyer et Liu, 2004 ; Dewettinck et al, 2008**).

Le pain est l'aliment commun dans l'alimentation humaine, sa consommation importante lui confère une position d'importance mondiale dans la nutrition internationale. Un pain idéal doit avoir un index glycémique bas. Il doit être une source importante en protéines, en fibres, en vitamines, en sels minéraux et en antioxydants (**Dewettinck et al, 2008**).

Pendant la fabrication du pain, les disponibilités et les niveaux de composés bioactifs dans les céréales peuvent diminuer ou augmenter (**Slavin et al, 2001**). Les interactions entre les différents composés sont également importantes et affectent les valeurs nutritionnelles du pain (**Jenkins et al, 1981**). La quantité de composés phénoliques est également influencée par le processus de fabrication du pain. En outre la valeur nutritionnelle du pain est en relation avec les ingrédients utilisés.

II .7.7-Carectères organoleptiques:

Les propriétés sensorielles du pain constituent un défi qui nécessite une meilleure compréhension des mécanismes de formation de la structure et de la texture finale (**Lapignano et al, 2013**). Il est bien connu que les propriétés sensorielles du pain sont liées fortement aux ingrédients utilisés lors de la fabrication, affectant ainsi le choix de consommateurs.

Différentes techniques ont été développées pour l'évaluation sensorielle des pains telle que le système de classement des produits par notation qui présente la technique la plus utilisée et qui a été normalisé en 2002 par la norme AFNOR (NF V03-716). La technique consiste à fabriquer les pains dans des conditions constantes et à présenter les échantillons à un panel de dégustation. Des notes spécifiques sont attribuées pour chaque critère d'évaluation, ces attribues sont en générale des descripteurs sensoriels de l'état du pain. Ces notes qui reflètent les appréciations sensorielles des dégustateurs sont utilisées par la suite et pondérées pour calculer une note globale pour chaque attribut (goût, arôme, couleur, acceptabilité globale, etc.) (**Shehzad, 2010**).

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

III.1. Objectifs :

Notre étude partie pratique vise à déterminer l'effet de la substitution de la farine de blé par la farine de la caroube à différents niveaux (5%, 10%, 30%, 70% et 100%) sur la qualité sensorielle des pancakes.

III.2 Origine de la caroube :

La caroube a été obtenue à partir de la région de Bouinane à Blida, elle nous a été livrée par un commerçant de caroube à Blida.

III.3. Technologie de la poudre de caroube :

III.3.1- Les matières premières :

- La caroube : la poudre de caroube environ 700 g qui a été récoltée au mois de août 2021, de la région de Blida.



III.1 Caroube (Bouinane-Blida.2022)

III.3.2- Procédé d'obtention de la poudre de caroube :

La poudre de caroube doit être obtenue à minima, lorsqu'elle est destinée à l'export ou à l'industrie, selon un procédé défini par la Food and Agricultural Organisation of the United Nations qui publie ces protocoles sous la forme de recommandations post-récoltes. Les gousses doivent être, avant tout procédé, nettoyées en les faisant bouillir dans l'eau jusqu'à ce qu'ils deviennent mous ou encore jusqu'à ce qu'on sente l'odeur caractéristique de la caroube, ce qui représente environ 45 minutes à 1 h. Ce procédé gélifie l'amidon pour permettre un séchage uniforme et élimine les traces et les odeurs de terre fraîche dans laquelle ils ont été cultivés. Cette étape doit avoir lieu au maximum dans les 3 jours après la récolte. Ensuite, ils sont séchés une première fois rapidement avant d'être coupés grossièrement à l'aide d'une machine spécialement développée pour les gousses de caroube. Le temps de séchage qui fait suite à cette opération doit durer 10 à 15 jours. Cette étape peut être réalisée au soleil mais elle ne fournit pas de caroube de bonne qualité. On préférera les sécher dans des tunnels ventilés et chauffés à la température de 60 °C, température qualifiée d'optimale.

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

Pour obtenir une poudre de la poudre de caroube, une ultime étape de broyage et de tamisage à travers plusieurs écrans doit être réalisée il faut d'abord séparer les deux principaux composants : pulpe et graines. Les caroubes sont écrasées mécaniquement, puis sont débarrassées des graines. Ce premier broyage grossier peut être suivi de la torréfaction et du meulage fin des morceaux de pulpe pour obtenir une poudre qui est commercialisée sous le nom de farine ou poudre de caroube.

III.3.3-La mouture de caroube :

III.3.3.1 Matériel



Figure III.2. Gousses de caroubes Moulin traditionnel



Figure III. 3. Four à maison

Raffinerie (tamis)

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube



Figure III.4. Bouteille en verre

III.3.4- Les étapes de mouture de la caroube :



Figure III.5. La caroube



Figure III.6. Nettoyage

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube



Figure III.7. Préparation pour le séchage



Figure III.8. Séchage au four pendant 15 minutes à 100 C°



Figure III.9. Pendant le séchage

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube



Figure III.10.Après le séchage



Figure III.11. Concassage



Figure III.12. Séparation de la pulpe et les graines

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube



Figure III.13. La mise des pulpes dans le moulin traditionnel pour les broyés



Figure III.14. Après le broyage



Figure III.15. Le tamissage

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube



Figure III.16. L'obtention et la conservation de poudre de caroube

III.4.1 Préparation de Pancake

Les matières premières

- La caroube : la poudre de caroube environ 700g qui a été récoltée au moins de août 2021 de la région de Blida et moulue à domicile le **14 avril 2022**
- La farine de blé «Agrodiv » formée au niveau de groupe Agro-industrielle Agrodiv EPE_SPA



Figure III.17. Poudre de caroube (bouinane-Blida) **Figure III.18.** Farine de blé Agrodiv

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

➤ Les autres ingrédients

Tableau III.1 : Formulation utilisées pour déterminer la combinaison optimale d'ingrédients pour les différents échantillons

Ingrédient	Formulation					
	Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C	Echantillon D	Echantillon E	Echantillon F
Poudre de caroube (g)	5% 2,5 g	10% 5g	30% 15g	70% 35g	100% 50g	0% 0g
Farine de blé de biscuit	95% 47,5g	90% 45g	70% 35g	30% 15g	0% 50g	100% 0g
Levure(g)	2,5g	2,5g	2,5g	2,5g	2,5g	2,5g
L'ait(ml)	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml
L'huile (ml)	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml	40ml
Œufs(unité)	1	1	1	1	1	1
Sucre (g)	20g	20g	20g	20g	20g	20g

Mélanger la poudre de caroube et la farine avec les autres ingrédients :

- Œufs -sucre
- levure -huile
- lait



Figure III.19 : photo personnel de préparation du pancake à ouledyaiche Blida. ; 2022

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

Tableau III.2 : le séchage des pancakes à la fonction de temps

Échantillon	A	B	C	D	E	F
Le temps	18min	20min	23min	30min	40min	15min

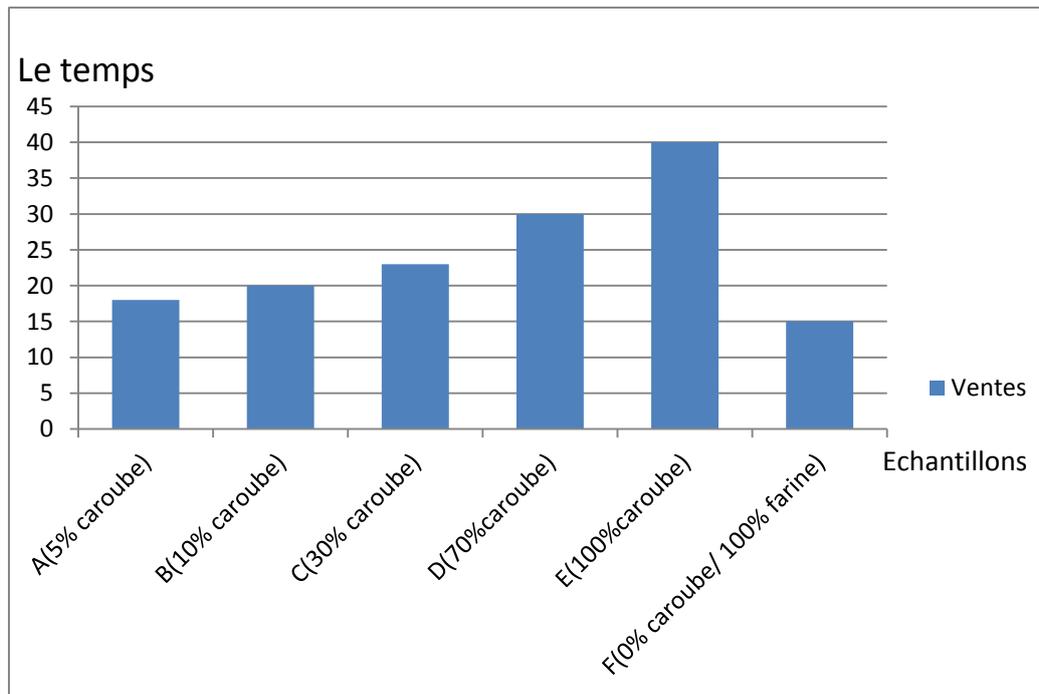


Figure III.20 : les résultats de séchage des pancakes à la fonction de temps

III.4.2. Panel interne des jurys

Le panel interne de juges a été composé de dix personnes semi-qualifiées relevant de la spécialité des sciences alimentaires. Ce panel, aux différents stades du processus de développement des produits, a examiné et discuté les résultats de chaque essai. Ces discussions ont été nécessaires et ont permis de fournir des informations et des orientations précieuses pour la poursuite du développement des produits jusqu'à atteindre une formulation finale pour les produits élaborés.

III.4.3. Analyse sensorielle

Une analyse sensorielle hédonique a été impliquée sur des sujets naïfs en testant leur préférence et une évaluation sensorielle par des jurys de la spécialité science alimentaires en testant plusieurs descripteurs des produits obtenus à l'instar la couleur, l'odeur, le goût et la saveurs.

- pour déterminer cette analyse nous avons utilisé la fiche sensorielle et dégustation suivante et les résultats sont représentés dans le tableau en bas.

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

UNIVERSITE DE BLIDA 1

FACULTE DES SCIENCES CE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT AGRO-ALIMENTAIRE



MASTER 2 : NUTRITION ET PATHOLOGIE

ANNEE UNIVERSITAIRE 2021-2022

FICHE SENSORIELLE ET DE DEGUSTATION

Date de la dégustation : //

NOM DU PRODUIT : PANCAKE A BASE DU CAROUBE

Âge :

Sexe : Masculin Féminin

Fumeur : Oui Non

Profession ;

Cochez une des 6 propositions suivantes qui vous semble la meilleur :

A :

B :

C :

D :

E :

F :

Légende :

A/Pancake1: 95% farine- 05% caroube.



B/Pancake2: 10% farine-90% caroube.



C/Pancake3: 30% farine- 70% caroube.



D/Pancake4: 70% farine – 30% caroube.



Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

E/Pancake5: 100% farine- 00% caroube.



F/Pancake6: 00% farine – 100% caroube.



1-Couleur

Claire :



Foncé :



très foncé :



2-Odeur :

Agréable :



Désagréable :



Aucune :



3-Gout :

Mauvais :



Bon :



Trés bon :



4-Saveur :

Normal :



Peu amer :



Amer :



Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

III.5. Résultats et discussion



Figure III.21. : Photo personnelle des 6 échantillons de pancakes à base de la farine de la caroube ouledyaich Blida. ; 2022

A base du test sensoriel (Gout et Aspect générale), les juges participants ne semblent avoir aucune différence significative sur le degré d'acceptabilité des produits autres que le produit 100% caroube (tableau III.3)

Le test a montré que le Pancake à base de 5% caroube reçu une acceptation élevée, et le Pancake à base de 100% farine de blé et 30% de caroube était acceptable, contrairement au pancake à base de 10% et 70% caroube a reçu une acceptation modérée, (et le contraire dans l'aspect général pancake à base de 10% était acceptable et 30% de caroube a reçu une acceptation modérée) contrairement au pancake à base de 100% caroube a été rejeté (Diagramme III.2et 3)

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

Tableau III.3 : Niveau d'acceptabilité des produits élaborés (pancake à base de différents pourcentage de poudre de caroube et la farine) par le panel de dégustateurs (Gout et Aspect générale)

Produits dégustés	Critères d'appréciation Aspect général	Critères d'appréciation (Aspect général et gout)		
		BIEN APPRECIE	MOYENNEMENT APPRECIE	PAS APPRECIE
PANCAKE 5%	Goût	85%	10%	5%
	Aspect général	100	0%	0%
PANCAKE 10%	Goût	50%	30%	20%
	Aspect général	80%	15%	5%
PANCAKE 30%	Goût	70%	20%	10%
	Critères d'appréciation	50%	30%	20
PANCAKE 70%	Goût	60%	30%	10%
	Aspect général	50%	25%	25%
PANCAKE 100%	Goût	00%	10%	90%
	Aspect général	00%	00%	100%
PANCAKE 00% (100% farine de blé)	Goût	70%	30%	00%
	Critères d'appréciation	90%	10%	00%

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

LE GOÛT

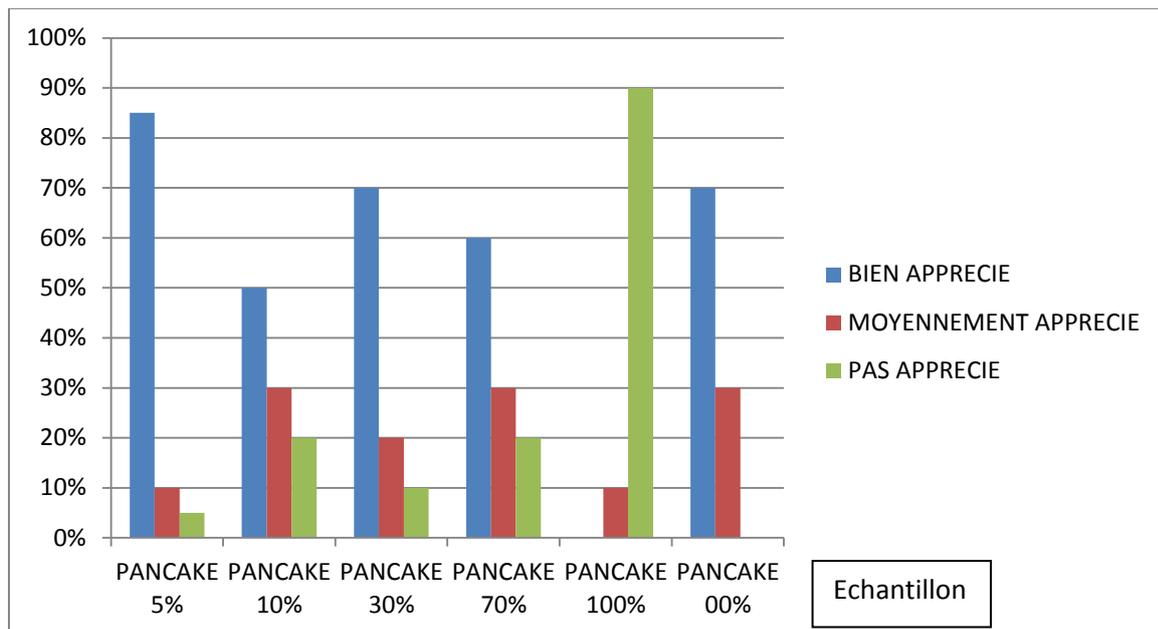


Figure III.22.: Répartition des résultats des produits testés pour (LE GOÛT)

ASPECT GÉNÉRALE

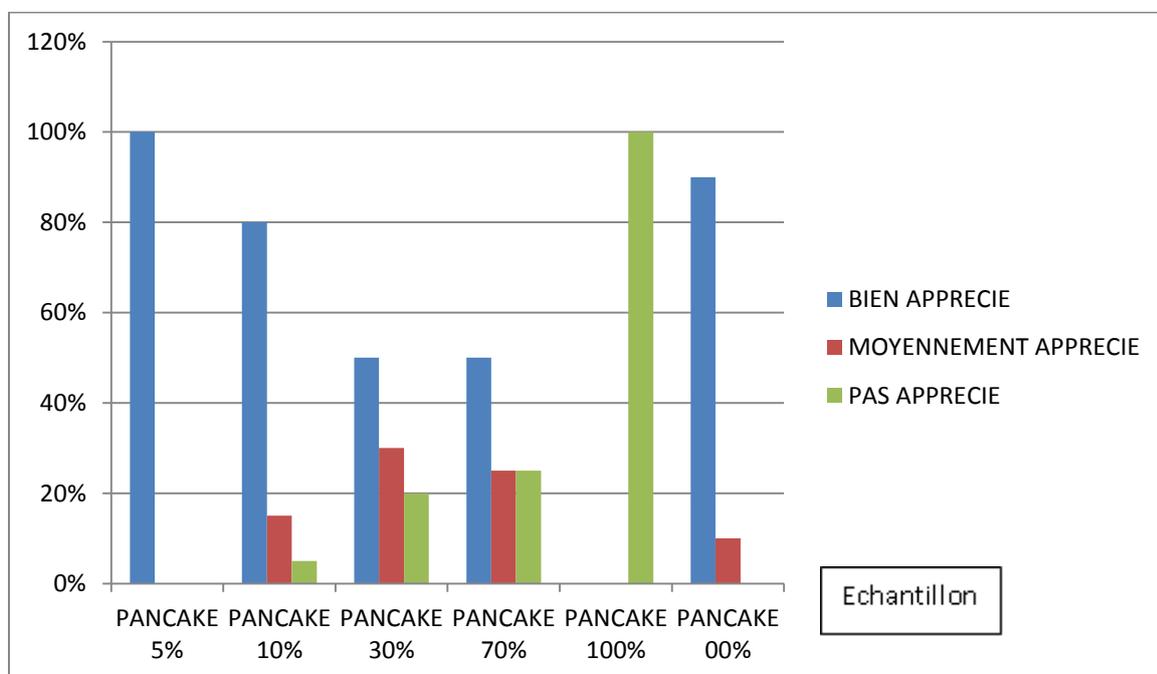


Figure III.23: Répartition des résultats des produits testés pour (L'ASPECT GÉNÉRALE)

Chapitre III : Valorisation de pancake à base de caroube

A base du test sensoriel (Odora et La Couleur), les juges participants ne semblent avoir aucune différence significative sur le degré d'acceptabilité des produits autres que le produit 100% caroube (**tableau III.4**)

Le test a montré que le Pancake à base de 5% caroube reçu une acceptation élevée, et le Pancake à base de 100% farine de blé était acceptable, contrairement au pancake à base de 10%, 30% et 70% caroube a reçu une acceptation modérée, (et le contraire dans la couleur pancake à base de 10% était une acceptation élevée, et le pancake à base de 30%, 70% caroube était acceptable) contrairement au pancake à base de 100% caroube a été rejeté (**Diagramme III.4 et 5**)

Tableau III.4 : Niveau d'acceptabilité des produits élaborés (pancake à base de différents pourcentage de poudre de caroube et la farine) par le panel de dégustateurs (Odora et Couleur)

Produits dégustés	Critères d'appréciation Aspect général	Critères d'appréciation (Aspect général et gout)		
		BIEN APPRECIE	MOYENNEMENT APPRECIE	PAS APPRECIE
PANCAKE 5%	Odora	90%	10%	00%
	Couleur	100%	00%	00%
PANCAKE 10%	Odora	30%	50%	20%
	Couleur	100%	00%	00%
PANCAKE 30%	Odora	30%	40%	30%
	Couleur	80%	20%	00%
PANCAKE 70%	Odora	15%	45%	40%
	Couleur	60%	30%	10%
PANCAKE 100%	Odora	00%	40%	60%
	Couleur	20%	00%	80%
PANCAKE 00% (100% farine de blé)	Odora	80%	20%	00%
	Couleur	70%	20%	10%

L'ODORA

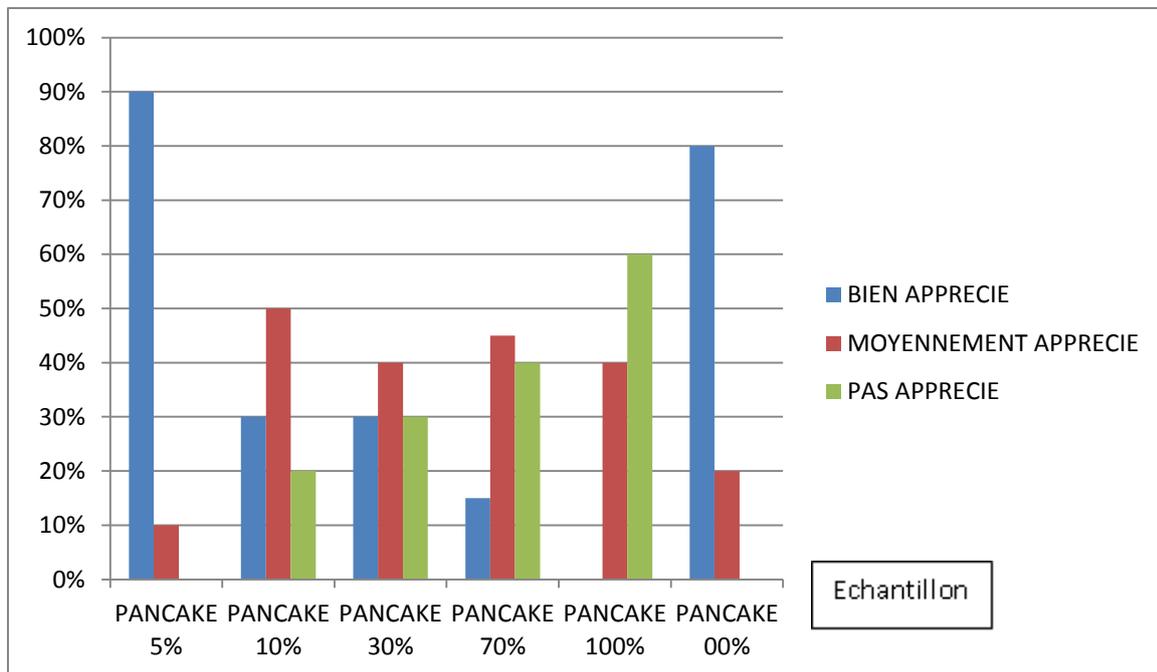


Figure III.24.: Répartition des résultats des produits testés pour (L'ODORA)

LA COULEUR

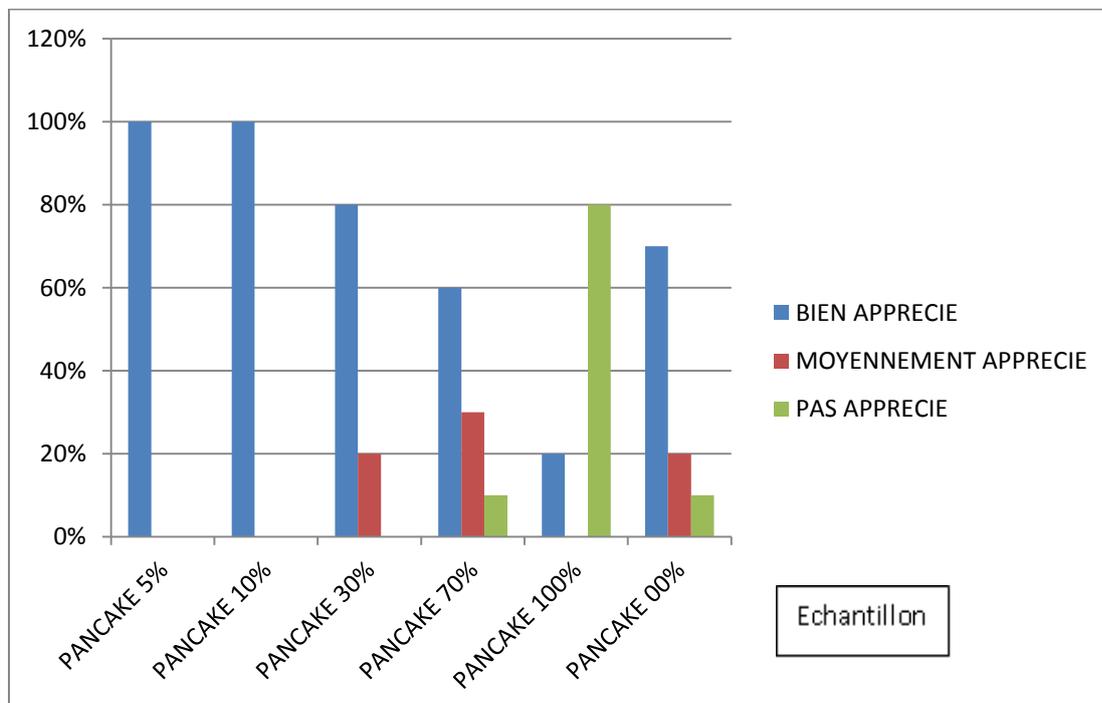


Figure III.25. : Répartition des résultats des produits testés pour (LA COURE)

III.6. Conclusion :

Le pain de caroube est de plus en plus recherché pour ses bienfaits et son goût agréable. L'idéal pour notre santé, est de choisir un pain avec moyenne de poudre de caroube, plus foncée et riche en fibres. La caroube est encore riche en fer, magnésium, calcium et vitamines, qui aident à la satiété. De manière générale, cette étude nous démontrons que l'ajout de la poudre de la caroube à une formulation de pain type pancake est réalisable, et cet ajout crée de nouvelles possibilités pour développer un pain de qualité fonctionnel répondant aux besoins diététiques des consommateurs.

La gousse de caroube et ses produits dérivés comme la pulpe, la farine sont de plus en plus employés dans l'industrie alimentaire en raison des multiples bénéfices qu'ils apportent aux produits finis comme la flaveur, la couleur et l'enrichissement en nutriments. Le présent travail s'intéresse à étudier le rôle de la pulpe de poudre de caroube sur quelques paramètres qualitatifs de la farine boulangère. Cette étude se fixe comme but de montrer l'influence de la poudre de pulpe de caroube sur les paramètres qualitatifs de la farine et de préciser les limites en supplémentation à ne pas dépasser. Une farine panifiable supplémentée avec des pourcentages différents en pulpe de poudre de caroube a été utilisée. L'ensemble des analyses sensorielles ont été effectuées en double en respectant les recommandations des méthodes officielles. L'ensemble des résultats ont été soumis à des tests statistiques. Ce pendant un test de panification s'avère indispensable pour mesurer l'impact direct des supplémentations sur le produit fini à savoir le pain.

Le pain de caroube est de plus en plus recherché pour ses bienfaits et son goût agréable.

L'idéal pour notre santé, est de choisir un pain avec moins de farine blanche, plus foncée et riche en fibres. La caroube est encore riche en fer, magnésium, calcium et vitamines, qui aident à la satiété.

**Annexe III.1 :Fiche sensorielle et de
dégustation**

A

- Aafi A., 1996.** Le caroubier : Caractères botaniques et écologiques, groupements végétaux, techniques d'élevage en pépinière, traitement et soins culturaux, utilisation et production. Centre national de la recherche forestière. Maroc, pp 1-7.
- AbiAzar, R., 2007.** Complexation des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus. Thèse de Doctorat. Agroparistech. 195 p.
- Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., (2007),** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, N° 153, IAV Rabat. 1-4. 3-Aafi, A. (1996). Le caroubier : Caractères botaniques et écologiques, groupements végétaux, techniques d'élevage en pépinière, traitement et soins culturaux, utilisation et production. Centre national de la recherche forestière. Maroc, 1-7.
- Ahmed, M.M., 2010.** Biochemical Studies on Nephroprotective Effect of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Growing in Egypt. *Nature and Science*; 8(3) : 41-47.
- Albanell E., 1990.** Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. Tesis doctoral. Barcelona. España, pp. 209.
- Albanell, E., Caja, G., Plaixats, J., 1991.** Characteristics of Spanish carob pods and nutritive value of carob kibbles. In : Tisserand J.-L. (Ed.), Alibés X. (Ed.). Fourrages et sous-produits méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM. p. 135-136 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n°16 :
- Aoki, K.K., Sasaki, J., Shiotani, T., 2001.** Jelly Foods Containing Agar, Xanthan and Locust Bean Gum. Europe Patent EP1, 074,183 A2.
- Almanasrah, M., Roseiro, L.B., Bogel-Lukasik, R., Carvalheiro, F., Brazinha, C., Crespo, J., Kallioinen, M., Mänttari, M., Duarte, L.C., 2015.** Selective recovery of phenolic compounds and carbohydrates from carob kibbles using water-based extraction. *Ind. Crop. Prod.* 70, 443–450.
- Alorda, M., estades, J., Galmes, J. et Medrano, H., 1996.** Promotion of rooting in carob cuttings. *Gartenbauwissenschaft*. 52 (1):31-34.
- Arribas C., Pereira E., Barros L., Alves M.J., Calhella, R.C., Guillamón, E., Ferreira, I.C. (2019).** Healthy novel gluten-free formulations based on beans, carob fruit and rice: Extrusion effect on organic acids, tocopherols, phenolic compounds and bioactivity. *Food chemistry*, 292: 304-313.
- Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M. & Monzani, A., (1997).** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, fat, carbohydrates, and tannins. *J. Food Com. Anal.* 10: 166-172.
- Ayaz F.A, Torun H., Ayaz S., Correia P.J, Alaiz M., Sanz C., Gruz J., Strnad M.,(2007),** Determination Of Chemical Composition Of Anatolian Carob Pod(*Ceratonia Siliqua* L.): Sugars, Amino And Organic Acids, Minerals And Phenolic Compounds, *Journal of food quality* , vol. 30, No6, pp. 1040-1055.

- Ayaz F. A., Torum H., R. H. Glew, Bak Z. D., Chuang L.T., Presley J. M. & Andrews R.(2009). Nutrient Content of Carob Pod (*Ceratoniasiliqua* L.) Flour Prepared Commercially and Domestically. *Plant Foods Hum Nutr* 64, 286–292.
- Alais C., Linden G., Miclo L. **Biochimie Alimentaire, 6e éd, France : Dupli-Print, 2005. p133-143.**
- Alvarado, P.G., 2014 : *Facteurs déterminants du pouvoir de panification de l'amidon de Manioc modifié par fermentation et irradiation d'UV. thèse pour obtenir le grade de docteur, 179. biochimie, chimie et technologie agroalimentaire, Montpellier: Faculté des sciences Montpellier.*
- AFNOR :(NF V03-716).2002
- Aguilera ET Stanely 1999: Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 4113-4117.

B

- Barak, S., Mudgil, D., 2014. Locust bean gum: Processing, properties and food applications—A review. *Int. J. Biol. Macromol.*, 66, 74–80.
- Baraldi, M., 2004. Extract of *Ceratoniasiliqua* Leaves and Pods Containing Polyphenols with Antioxidant and Antitumor Activities. U.S. Patent 20, 040,265,404 A1.
- Barracosa, P., Osório, J., Cravador, A., 2007. Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratoniasiliqua* L.) cultivars in Algarve region. *Scientia Horticulturae*. 114: 250-257.
- Batlle, I., Tous, J., 1997. Carob tree *Ceratoniasiliqua* L., Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 92 pages.
- Batista M. T., Amaral M. T. and Proença Da Cunha A., 1996. : « Carob fruits as source of natural antioxidant ». In Proceeding of the III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal.
- Baumgartner, S., Gennerritzmann, R., Haas, J., Amado, R., Neukom, H., 1986. Isolation and identification of cyclitols in carob pods (*Ceratoniasiliqua* L.). *J. Agric. Food Chem.* 34, 827–829.
- Ben Hsouna, A., Saoudi, M., Trigui, M., Jamoussi, K., Boudawara, T., Jaoua, S., et Feki, A. E.,2011. Characterization of bioactive compounds and ameliorative effects of *Ceratoniasiliqua* leaf extract against CCl 4 induced hepatic oxidative damage and renal failure in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 49(12), 3183–3191.
- Bengoechea, C., Romero, A., Villanueva, A., Moreno, G., Alaiz, M., Milla´ n, F., Guerrero,A., Puppo, M.C., (2008). Composition and structure of carob (*Ceratoniasiliqua* L) germ proteins. *Food Chemistry* 107, 675–683.
- Benmahioul B., Kaïd-Harche M. et Daguin F. (2011).Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranéenne*, 8p. -Biner B., Gubbuk H., Karhan M etAksu M. et Pekmezci M,2007, Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratoniasiliqua* L.) in Turkey, *Food Chemistry*, N°100. PP: 1453-1455.

- Bergmann, W., Reichel, M., 2012.**Producing a Locust Bean Gum Comprising Food Product, Preferably a Powdered Baby Food, Comprises Heating a Liquid Foodstuff Mixture and Spray Drying the Mixture. German Patent DE102, 011, 106,409A.
- Berrougui H., (2007).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. *Maghreb Canada Express* 5, 20. -Boudy P., 1950. *Economie forestière Nord-Africain (tome II) : Monographie et traitement des essences forestière.* Ed. Larose, Paris, 443-445.
- Biernacka B., Dziki D., Gawlik-Dziki U., Różyło R., Siastala, M. (2017).** Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber. *LWT*, 77: 186-192.
- Biner B., Gubbuk H., Karhan M et Aksu M. et Pekmezci M, 2007,** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey, *Food Chemistry*, N°100 . PP : 1453-1455.
- Bouaziz, A., Zidi, I., Mnif, W., 2013.** La gomme de caroube : trésor industriel ?. *Microbiol. Hyg. Alim.*-Vol 25, N° 72.
- Boudy P., 1950. Economie forestière Nord-Africain (tome II) : Monographie et traitement des essences forestière.** Ed. Larose, Paris, 443-445. **-Quezel P. et Santa. S., 1962/63 :** « Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales (tome 1) ». Edition du centre national de la recherche scientifique, Paris .PP : 557.
- Bouzouita N., Khaldi A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabouni M.M., Thonart P. (2007).** The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia. *Food Chemistry*. 101: 1508-1515.
- Bock, B., 2012.** Base de Données Nomenclature de la Flore de France. Tela Botanica. BDNFF v4.02. (<http://www.tela-botanica.org>).
- Brandt N., De Bock K., Richter E A., et Hespel P. (2010).** Cafeteria diet-induced insulin resistance is not associated with decreased insulin signaling or AMPK activity and is alleviated by physical training in rats. *Am J PhysiolEndocrinolMetab*. 299 : E215-E224.
- Bechetel 1953 :** le pain et produits céréaliers, alimentaires et nutrition humaines. ESF. 1992. p. 1533.
- Bloksma, A.H.** Effect on heating rate on viscosity of wheat flour dough. 10, *Journal of texture studies*, pp. 261-269.
- Boyer et Liu, 2004 :** Recueil De Connaissances Sur Les Descripteurs De Qualité Des Pâtes Et Des Pains Ou Variable D'état Pour La Panification Française. Glossaire Terminologique Appliqué Aux Pains Français, 66. Inra, Poulitec Paris UPMC.

C

- Calixto, F. S., et Canellas, J., 1982.** Components of nutritional interest in carob pods *Ceratonia siliqua*, *Journal of the Science of Food Agriculture* N°33, pp. 1319– 1323.
- Camero, B.M., Merino, C.S., 2004.** Method of Obtaining Pinitol from Carob Extracts. U.S. Patent 6699511 B2.7p.
- Catarino F., (1993).** Le caroubier une plante exemplaire. *Naturopa conseil de l'Europe. Centre Naturopa.* N° 73, pp. 14-15.
- Cavdarova, M., Makris, D.P., 2014.** Extraction kinetics of phenolics from carob (*Ceratonia siliqua* L.) kibbles using environmentally benign solvents. *Waste Biomass Valoris.* 5, 773– 779.

- Charalamabous, J. and Papaconstantinou, J., 1966.** Current result on the chemical composition of the carob bean. In the composition, uses of carob bean (J. Charalambous, ed.). Cyprus Agricultural Research Institute Ministry of Agriculture and Natural Resources Nicosia, Cyprus. 25 p
- Corsi L., R. Avallone, F. Cosenza, F. Farina, C. Baraldi, M. Baraldi, (2002).** Antiproliferative effects of *Ceratonia siliqua* L. on mouse hepatocellular carcinoma cell line, *Fitoterapia* 73 674–684.
- Custodio, L., Patarra, J., Albericio, F., Neng, N.R., Nogueira, J.M., Romano, A., 2015.** In vitro antioxidant and inhibitory activity of water decoctions of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) on cholinesterases, -amylase and -glucosidase. *Nat. Prod. Res.* 29, 2155–2159.
- Christian Cabrol P.B.M., 2006 : Pain Et Nutrition (Ed. 1er Edition). Observatoire Du Pain.

D

- Daas P. J. H., Schols H.A. & De jongh H. H. J., 2000,** On the galactosyl distribution of commercial galactomannans. *Carbohydrate research*, 329, 609-619.
- Dakia P.A, B. Wathelet et M. Paquot.(2007).** «Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.)seed germ food Chemistry Vol. 102, N°4, pp. 1368- 1374.
- Diamantoglou and Mitrakos K. (1981).**Leaf longevity in Mediterranean anevergreensclerophylls.In *Components of Productivity of Mediterranean Climate Region. Basic and Applied Aspects* (N.S.Margaris and H.A. Mooney, eds), pp: 17-19. Junk Publishers, The Hague ISBN. 90: 6193-9445.
- Durazzo, A., Turfani, V., Narducci, V., Azzini, E., Maiani, G., &Carcea, M. (2014).**Nutritional characterisation and bioactive components of commercial carobs flours. *Food Chemistry*, 153, 109-113.
- **Doumandji A., Doumandji S., Doumandji M B.** Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock « cours de technologie des céréales ». Alger : office des publications universitaires, 2003.126
- **Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud-Rouaud C., Berthier A-M.** Alimentation et nutrition humaine. Paris : ESF, 1992. p1533.
- **Dogan et al, 2012:** Fractionation- Reconstitution Experiments Provide Insight Into The Role Of Endoxylanases In Bread-Making. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry* 47: 1870-1877.
- **Dewettinck et al, 2008 :**Les Pains Français. Evaluation, qualité, production. Conflandey : Maé-Erti Editeurs, 2008.

E

- El Allagui, N., Tahrouch, S., Bourijate, M., et Hatimi, A., 2007.** Action de différents extraits végétaux sur la mortalité des nématodes à galles du genre *Meloidogynessp.*, *Acta BotanicaGallica*, 154:4, 503-509.
- El Batal, H., Hasib, A., Ouatmane, A., Boulli, A., Dehbi, F., Jaouad, A., 2013.** Yield and composition of carob bean gum produced from different Moroccan populations of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (2): 309-314.

- El Bouzdoudi, B., Saïdi, R., Embarch, K., El Mzibri, M., Nejjar El Ansari, Z., El Kbiach, M.L., Badoc, A., Patrick, M., Lamarti, A., 2017.** Mineral composition of mature carob (*Ceratonia siliqua* L.) pod : study. *Int. Food Sci. Nutr. Eng.* 7 (4), 91–103.
- El Kahkahi, R., Zouhair, R., Diouri, M., Ait Chitt, M., et Errakhi, R., 2015.** Morphological and biochemical characterization of Morocco carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). *Int. J. Biol Med Res.* 6 (2): 4946-4952.
- Estrada C., Vázquez M., Melis B. & Vadell J., (2006).** Fruticultura de secano. El Algarrobo. In: Labrador. J, Porcuna. J.L & Bello.A (Cords), *Manual de agricultura y ganadería ecológica.* Eumedica. España, pp. 186-195.
- **Evreinoff, V. A., 1947.** Agriculture tropicale ; Le caroubier ou *Ceratonia siliqua* L., *Rev. Bot. Appl.* 389-401.
- **Evreinoff, V.A., 1955.** Le pistachier. *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée.* 2: 389-414.

F

- FAO2003.** Data from the FAOSTAT Statistical data base. See www.fao.org.
- FAOSTAT. 2010.** The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. (www.faostat.fao.org).
- Feillet, P., and Roulland, T. M. (1998).** Caroubin: A gluten-like protein isolate from carob bean germ. *Cereal Chemistry*, 75, 488-492.
- **Feullet P.** Le grain de blé (composition et utilisation). Paris : INR, 2009. p 18-137.
- **Fardet A., Leenhardt F., Lioger D., Scalbert A., Remesy C.** Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutr. Res. Rev.*, 2006, 18-25.
- **Fredot E.** *Connaissance des aliments « Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique ».* 2e éd, Paris : Lavoisier, 2009. p 210-215.
- **Fredot E., 2005 :** *Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique.* [éd.] Lavoisier. 2° édition. s.l. : TEC et DOC, édition médicales et internationale, 2005. p. 397.
- **Fleming et Sosulski, 1978 :** Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 4113-4117.

J

- **Jenkins et al, 1981 :** *Connaissance des aliments « Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique ».* 2e éd, Paris : Lavoisier, 1981. p 210-215

H

- Haber, B., 2002.** Carob fiber benefits and applications. *Cereal Foods World*, 47, 365–369 .
- Haddarah A., Ismail A., Bassal A., Hamieh T., Ioannou I., Ghoul M., 2013.** Morphological and chemical variability of Lebanese carob varieties. *European Scientific Journal*, 9 (18): 353-369.:

-**Hillcoat D., Lewis G. &Verdcourt B., (1980).**A new species of *Ceratonia* (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic.Kew bull. 35: 261-271.

-**Hirsch, A.M., Lum, M.R. &Downie, J.A., 2001.** What makes the rhizobial-legume symbiosis so special? *Plant Physiol.* 127: 1484-1492. Hmamouchi, M., 1999. Les plantes médicinales et aromatiques marocaines. Prix ISESCO. ISBN: 99548007-0-0. 450p (389).

- **Hager ET Arendt, 2013:** Physicochemical and sensory properties of wheat- Apricot kernels composite bread. *LWT-Food Science and Technology*, 2013 ²², 7.

-

I

-**Iipumbu L., 2008.** Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia siliqua*) cultivars and development of nutritional food products for a range of marker sectors. Stellenbosch university. South Africa. 107 p.

G

-**Germeç, M., Turhan, İ., Karhan, M., Demirci, A., 2015.** Ethanol production via repeated batch fermentation from carob pod extract by using *Saccharomyces cerevisiae* in biofilm reactor. *FUEL*, vol.161, pp.304-311.

-**Germec, M., Yatmaz, E., Karahalil, E., Turhan, I., 2017.** Effect of different fermentation strategies on beta-mannanase production in fed-batch bioreactor system. *Biotech*, 7(1)77p.

- **Gharnit N., N. El Mtili, A. Ennabili, F. Sayah, (2006),** importance socio- économique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc), *Rev. Tela Botanica Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France BDNFF*, VOL.4.02 N°33

-**Gillet, S., Blecker, C., Aguedo, M., Laurent, P., Paquot, M., Richel, A., 2014.** Impact of purification and process on the chemical structure and physical properties of locust bean gum, *Carbohydr. Polym.* 108, 159-168.

-**Gonçalves S., Correia P.J., Martins-Loução M.A. & Romano A., 2005.**A new medium formulation for in vitro rooting of carob tree based on leaf macronutrients concentrations. *Biologiaplantarum* 49: 277-280.

-**Goulas, V., Stylos, E., Chatziathanasiadou, M.V., Mavromoustakous, T., Tzakos, A.G., 2016.** Review functional component of carob fruit : linking the chemical and biological space. *Int. J. Mol. Sci.* 17, 1875.

-**Gubbuk H., Kafkas E., Guven D., Gunes E. (2010).** Physical and phytochemical profile of wild and domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) genotypes. *Span. J. Agric. Res.* 8: 1129–1136.

- **Giroux et Galdy, 1999:** Les Enzymes In La Panification Française. Ed : Tec Et Doc Lavoisier, Paris.

K

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

- Karkacier, M., Artık, N., 1995.** Determination of physical properties, chemical composition and extraction conditions of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *Gıda* 20 (3), 131–136.
- Kawamura, Y. (2008).** CAROB BEAN GUM, Chemical and Technical Assessment (CTA).
- Khlifa, M., Bahloul, A., Kitane, S., 2013.** Determination of chemical composition of carobpod (*Ceratonia siliqua* L.) and its morphological study. *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (3), 348–353.
- Kök, M.S., Hill, S.E., Mitchell, J.R.A., 1999.** Comparison of the rheological behavior of crude and refined locust bean gum preparations during thermal processing. *Carbohydr. Polym.* 38, 261–265.
- Konaté, I., 2001.** Amélioration de la culture du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) via la multiplication in vitro et la fixation biologique de l'azote. Dans le mémoire du D.E.S.A., Univ. Ibn Tofail. Fac. Sci. - Kénitra, Maroc. 58p
- Konate I. (2007).** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées. thèse de doctorat en Biotechnologie et Biologie Moléculaire, université Mohammed v-agdal,196p.
- Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki,Y., Shimura,M., Kwon,M., Nakayama,T., 2002.** Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 373-377.

L

- Loeb, H., Vandenplas, Y., Wursch P., Guesry, P., 1989.** Tannin-rich carob pod for the treatment of acute-onset diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol.Nutr.* N°8, pp. 480-485.
- Louca, A., & Papas, A. (1973).**The effect of different proportions of carob pod meal in the diet on the performance of calves and goats. *Animal Science*, 17(2), 139-146.
- Livesey, G., 2003.** Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. *Nutr. Res. Rev.*16, 163–191.
- Lizardo R., J. Cañellas, F. Mas, D. Torrallardona, J. Brufau, (2002),** L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets, Journées de la Recherche Porcine, N°34, pp.97-101
- Landraf, F., 2002 : Produits et Procédés de panification;Techniques de l'ingénieur:Produit d'origine végétale. 1-16.**
- Lioger D., Fardet A., Rémésy C. Quels types de produits céréaliers pour le petit déjeuner. France : INRA, 2007. p311-315.**
- Ladraa N. Aptitude à la pacification de quelques variétés de blé dur Algérien. Ecole Nationale Supérieur d'agronomie El-Harrache. Alger, 2012. p39-43.**
- Lapignano et al, 2013. : Structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pate:Effet de la composition. 2 Décembre 2013. p. 340. Id:Pastle-00003695.**

M

- Makris, D.P., Kefalas, P., 2004.** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidant. *Food Technol. Biotechnol.*42 : 105-108

- Manganaris, G.A., Goulas, V., Vicente, A.R., Terry, L.A., 2014.** Berry antioxidants: Small fruits providing large benefits. *J. Sci Food Agric.*94, 825–833
- Mandala, I., 2014.** Effect of Carob Flour Addition on the Rheological Properties of GlutenFree Breads. *Food Bioprocess Technol* (7):868–876.
- MAPA. (1994),** Ministeriod'agriculture, Pesca Y Alimentación.Anuario de EstadísticaAgraria. Ed. Secretaría General Técnica, Madrid, Spain .
- Marakis S., 1996.**Carob bean in food and feed: current status and future potentials-A critical appraisal. *J Food Sci Technol.* 33, 365-383.
- Marco, A.M.R., De Mora, B.R.C., Diaz, C.S., 1997.** Method of Making Natural Carob Fiber. U.S. Patent 5, 609,905 A .
- Martins-Loucao, M.A., Cabrita, R. and Silva, J.M., 1996.** Pollination studies in Portuguese carob landraces. In: Proc. Third International Carob Symposium (Tavira, Portugal), University of Lisbon: Portugal.
- Mazaheri, D., Shojaosadati, S.A., Mousavi, S.M., Hejazi, P., Saharkhiz, S., 2012.** Bioethanol production from carob pods by solid-state fermentation with *Zymomonas mobilis*. *Appl Energ* 99 : 372–8.
- Merwin, M.L., 1981.** The culture of carob (*Ceratonia siliqua*) for food.Fooder and fuel in semi-arid environments. International Tree Crops Institute USA Inc., California.
- Matthausa B., Ozcan M. M., (2011).** Lipid evaluation of cultivated and wild carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed oil growing in Turkey.*Scientia Horticulturae* 130 181–184.
- Melgarejo P.; Salazar D.M., (2003).** Tratado de fructicultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa.España, pp. 19-162
- M. Kamal E. Youssef, Moshera M. El-Manfaloty, Hend M. Ali, (2013),** Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia siliqua* L.), *Food and Public Health* 2013, 3(6): 304-308.
- Missbah, M.E.I., Aujjar, N., Belabed, A., Dessaux, Y. & Filali-Maltouf, A., 1996.** Characterization of rhizobia isolated from carob (*Ceratonia siliqua* L.). *J. App. Bacteriol.* 80:165-173.
- Mitrakos K., (1981).** Temperature germination responses in three mediterranean evergreen sclerophylls. In: Margaris N.S. & Mooney H.A., (Eds). *Components of Productivity of Mediterranean-climate Regions - Basic and Applied Aspects.*Dr. W. Junk Publishers, The Hague/Boston/London. pp. 277-279.
- **Mosiniak M., Prat R., Roland J.C.** Du blé au pain. 2018.

N

- Nasar-Abbas S.M., e-Huma Z., Khan M.K., Esbenshade H., Jayasena V. (2016).** Carob kibble: A bioactive-rich food ingredient. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15: 63-72.
- **Ndangui ,2013:** Service de néphrologie, Unité d'hémodialyse adulte, Hôtel Dieu, CHU de Clermont-Fernand.

-**Ndir, B., Lognay, G., Wathelet, B., Cornelius, C., Marlier, M., & Thonart, P. (2000).** Composition chimique du ne te tu, condiment alimentaire produit par fermentation des graines du caroubier africain *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 4(2), 101-105.

-**Neukom, H., 1988.** Carob bean gum: properties and application. in *Proceedings of the II International Carob Symposium* (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain. Pp. 551- 555.

- **Ndangui ,2015** : Service de néphrologie, Unité d'hémodialyse adulte, Hôtel Dieu, CHU de Clermont-Fernand.

O

-**Orphanos P. I. and Papaconstantinou J. (1969)**, The carob varieties of Cyprus, *Tech. Bull. 5*. Cyprus Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture and Natural Resource, Nicosia.P25.

-**Owen R.W., Haubner R., Hull W.E., Erben G., Spiegelhalter B., Bartsch H., Haber B.,(2003).** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre.*FoodChemToxicol.* 41, 1727–1738.

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

P

-**Papagiannopoulos, M., Wollseifen, H.R., Mellenthin, A., Haber, B., Galensa, R. 2004.** Identification and quantification of polyphenols in carob fruits (*Ceratonia siliqua* L.) and derived products by HPLC-UV-ESI/MSN. *J. Agric. Food Chem.* 52, 3784–3791.

-**Prajapati Vipul D., Jani Girish K., Moradiya Naresh G., Randeria Narayan P.,Nagar Bhanu J., 2013.** Locust bean gum: A versatile biopolymer. *Carbohydrate Polymers* 94:814–821.

-**Parrado, J., Bautista, J., Romero, E.J., García-Martínez, A.M., Friaiza,V., et Tejada, M., 2008.** Production of a carob enzymatic extract: Potential use as a biofertilizer *Bioresource Technology* Vol. 99, N°7, pp. 2312-2318.

- **Peighambardoust, S.F., 2014.** Aeration Of Bread Dought Influenced By Different Way Of Processing. *Journal Of Cereal Science* (51 (1)), 89-95.

Q

-**Quezel P. et Santa. S., 1962/63** : « Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales (tome 1) ». Edition du centre national de la recherche scientifique, Paris .PP : 557.

R

-**Rebour H. (1968)**, fruits Méditerranéen, la maison rustique Paris, 330pp.

- **Rejeb, M.N., 1989.** Mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse du Caroubier, *RevResAméliorProd Milieu Aride I*, pp.47-55.

-**Rejeb M. N. (1995).** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans : *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?* Edit. AUPELF-UREF. John LibbeyEurotext. Paris. Pp : 79-85.

- Rizzo, V., Tomaselli, F., Gentile, A.; La Malfa, S., Maccarone, E., 2004.** Rheological properties and sugar composition of locust bean gum from different carob varieties (*Ceratonia siliqua* L.). *J. Agric. Food Chem.* 52, 7925–7930
- **Romano, A., Barros, S., et Martins-Louçao, M.A., 2002.** Micropropagation of the Mediterranean tree *Ceratonia siliqua*. In “Plant cell, tissue and organ culture”. Springer Science-, 68(1): 35-41.
- Roseiro L. B., Duarte L.C., Oliveira D.L., Roque R.M., Bernardo-Gil G., Martins A.I., Sepúlveda C., Almeida J., Meireles M., Gírio F., M, Rauter A. P., 2013.** Supercritical, ultrasound and conventional extracts from carob (*Ceratonia siliqua* L.) biomass: Effect on the phenolic profile and antiproliferative activity. *Industrial Crops and Products* 47:132–138.
- Roukas T., (1993).** Ethanol production from carob pods by *Saccharomyces cerevisiae*, *Food Biotechnology* 7,159–176.
- Roukas T., (1998).** Citric acid production from carob pod extract by cell recycle of *Aspergillus niger*, *Food Biotechnology* 12, 91–104.
- Rtibi K., Jabri M.A., Selmi S., Sebai H., Amri, M., El-Benna, J. et Marzouki, L.,2016 b.** *Ceratonia siliqua* leaves exert a strong ROS-scavenging effect in human neutrophils, inhibit myeloperoxidase in vitro and protect against intestinal fluid and electrolytes secretion in rats. *RSC Adv.*, 6, 65483-65493.
- **Rózylo et Laskowski, 2011** : La Boulangerie Moderne ; Ed Egriolle , P 459.
- **Roudaut H., Lefrancq E. Alimentation théorique. France :Doin, 2005.** p153- 154.
- **Rémésy C., Leenhardt F., Fardet A. Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d’une alimentation durable et préventive. Cahiers de nutrition et de diététique, 2014, 3.**
- **Roussel, Philippe et Chiron, Hubert ., 2010** : Les Pains Français. Evaluation, qualité, production. Conflandey : Maé-Erti Editeurs, 2010
-

S

- Sahle, M., Coleou, J., & Haas, C. (1992).** Carob pod (*Ceratonia siliqua*) meal in geese diets. *British poultry science*, 33(3), 531-541.
- Saidi R., Lamarti A., Badoe A., 2007.** « Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 146 : pp. 113-129.
- Salih, G., Jilal A., 2020.** Utilisation alimentaire de la pulpe de caroube : Formulation et test consommateur. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 8(2) : 249-252.
- Sandolo C., Coviello T., Matricardi P., Alhaique F. (2007).** Characterization of polysaccharide hydrogels for modified drug delivery. *Eur. Biophys. J.* 36 (7) : 693–700.
- Sánchez, S., Lozano, L.J., Godinez, C., Juan, D., Pérez, A. & Hernández, F.J., 2010.** Carob pod as a feedstock for the production of bioethanol in Mediterranean areas. *Applied Energy* 87: 3417-3424.

- Santos M., Rodrigues A, Teixeira J. A., (2005)**. Production of dextran and fructose from carob pod extract and cheese whey by *Leuconostocmesenteroides* NRRL B512(f), *Biochemical Engineering Journal* 25, 1–6..
- Sbay H. &Abourouh M. 2005 et 2006** : Apport des especes à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier ; Centre de recherche forestière haut-commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification , Rabat, 1-9p.
- Sbay, H., 2008**. Le caroubier au Maroc, Un arbre d'avenir. CRF Collection Maroc Nature.50 p.
- Schweinfurth G. (1894)**, Aicha Bouaziz, Ines Zidi, WissemMnif.*Microbiol.Hyg. Alim.- Vol 25, N° 72– mars 2013*.
- Sebai H., Souli A., Chehimi L., Rtibi K., Amri M., El-Benna J. et Sakly M. (2013)**.In vitro and in vivo antioxidant properties of Tunisian carob (*Ceratonia siliqua L.*).*Journal of Medicinal Plants Research*. 7(2) : 85-90.
- Sebastian K. T. and Mc Comb J. A., 1986**. « A micropropagation system for carob (*Ceratonia siliqua L.*) ». *Scientia Hort.* 28 :127-131.
- **Schroeder C.A. (1952)**, The floral situation of the Carob in California, *Proc. Am. Soc. hort. Sci.* N°74, pp. 248-251.
- Serairi-Beji, R., Mekki-Zouiten L., Tekaya-Manoubi L., Loueslati M.H., Guemira F., Ben Mansour A., 2000**. Can carob powder be used with oral rehydration solution for the treatment of acute diarrhea? *Med. Top.* 60: 125. *Med. Trop.* 60 (2): 125-8.
- Sigge, G.O., Lipumbua, L., Britza, T.J., 2011**. Proximate composition of carob cultivars growing in South Africa. *S. Afr. J. Plant Soil*, 28, 17–22.
- Silanikove, N., Gilboa, N., Nitsan, Z., 2001**. *Small Rum. Res.* 40: 95–99.
- Singh, G., Arora, S., Sharma, G.S., Sangwan, R.B., 2007**. Heat stability and calcium bioavailability of calcium-fortified milk. *Lebensm. Wiss. Technol.* 40, 625–631.7
- Smith B.M., Bean S.R., Schober T.J., Tilley M., Herald T.J., Aramouni F., 2010**. Composition and molecular weight distribution of carob germ protein fractions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58(13) : 7794-800.
- **Shehzad, 2010** : Les Fibres Alimentaires et Le Pain de Blé Entier. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université Laval .Québec.
- **Slavin et al, 2001** : Les Enzymes In La Panification Française. Ed : Tec Et Doc Lavoisier, Paris.
- **Sivam et al, 2010** : Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état, département de nutrition, de l'alimentation et des technologies agroalimentaires DNAT.AA. P. 19-34.

T

- Tous, J., Romero, A., Hermoso, J.F., Ninot, A., Plana, J., Batlle, I., 2009**.Agronomic and commercial performance of four Spanish carob cultivars.*HortTechnol.* 19, 465–470.
- Tsatsaragkou K., Gounaropoulos G., Mandala I. (2014)**. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. *LWT-Food Science and Technology*, 58: 124-129.
- Turhan, I., Bialka, K. L., Demirci, A., &Karhan, M. (2010)**.Ethanol production from carob extract by using *Saccharomyces cerevisiae*.*Bioresource technology*, 101(14), 5290-5296.

-**Turhan, I., 2013.** Relationship between sugar profile and D-pinitol content of pods of wild and cultivated types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *Int. J. Food Prop.* 17, 363–370.

- **Tao Z., Chang X., Wang D., Wang Y., Shaokang Ma., Yang Y., Zhao G.** Effects of sulfur fertilization and short-term high temperature on wheat grain production and wheat flour proteins. *Ann. Méd. Vét.*, 2018, vol. 153, 54-65.

- **Touyarou P., 2012 :** *Formulation, Caractérisation et Validation d'un Pain Satiétogène. Université de Bourgogne (UB), Cérélab, CSGA, E2S, 156. Science de l'alimentation, Bourgogne.*

-**Toyosaki et al 2015 :** *Formulation, Caractérisation et Validation d'un Pain Satiétogène. Université de Bourgogne (UB), Cérélab, CSGA, E2S, 156. Science de l'alimentation, Bourgogne.*

V

- **Vardar, Y., Seçurenand, Ö., et Ahmed, M., 1972.** Preliminary results on the chemical composition of the Turkish carob beans, *Qual. Plant Mater*, vol. XXI N°4, pp. 318- 327. M Tsatsaragkou, K., Yiannopoulos, S., Kontogiorgi, A., Poulli, E., Krokida, M., &

-**Vavilov, N.I., 1951.** *The Origin, Variation, Immunity, and Breeding of cultivated plants* [translated from the Russian by K.S Chester]. The Ronald Press Co., New York.

-**Von Haselberg, C., 1996.** Factors influencing flower and fruit development in carob (*Ceratonia siliqua* L.). ” in *Proceedings of the Third International Carob Symposium*, (Tavira: University of Lisbon). Portugal. p. 11.

-**Vourdoubas, J., Makris, P., Kefalas, J., & Kaliakatsos, J. (2002).** Studies on the production of bioethanol from carob. In *The 12th National Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Proceedings, Amsterdam* (pp.489-493).

W

-**Wang, Y., Belton, S. B., Bridon, H., Garanger, E., Wellner, N., Parker, M. L., Grant, A., Feillet, P., and Noel, T., (2001).** Physicochemical Studies of Caroubin: A gluten like Protein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 3414-3419.

-**Winer, N., 1980.** The potencial of the carob (*Ceratonia siliqua* L). *Int. Tree Crops J.* 1: 15.

Y

-**Yan, C., Given, P.S., Huvard, G., Mallepally, R.R., McHugh, M.A., 2016.** Method of Loading Flavor into an Aerogel and Flavor Impregnated Aerogel Based on Food Grade Materials. U.S. Patent 20, 160, 058,045 A1.

-**Yatmaz, E., Turhan, I., Karhan, M., 2012.** Optimization of ethanol production from carob pod extract using immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cells in a stirred tank bioreactor. *Bioresource Technology*.135:365-371.

-**Yatmaz, E., Karahalil, E., Germeç, M., İlgin, M., Turhan, İ., 2016.** Controlling Filamentous Fungi Morphology with Microparticles to Enhanced β -mannanase Production. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 39:1391–1399

-**Youssef, M.K.E., El-Manfaloty, M.M., Ali, H.M., 2013.** Assessment of proximate chemical composition, nutritional status, fatty acid composition and phenolic compounds of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Food Public Health* 304–308.

-**Youssif A.K. et Alghzawi H.M (2000)**, Processing and characterization of carob powder, Food chemistry, Vol.69, N°3. 283-287.

Z

-**Zitouni A., 2010.** « Monographie et perspectives d'avenir du caroubier (Ceratoniasiliqua) en Algerie. Th. Ing. Agrn., INA, El-Harrach, 201 p

-**Zohary M.; Orshan G., (1959).** The maquis of Ceratoniasiliqua in Israel. Palest. J. Bot. Jerusalem. 8: 385-397.

-**Zohary M., (1973).** Geobotanical Foundations of the Middle East, 2 vols. Stuttgart.

-**Zouhair O., (1996),** Le caroubier : situation actuelle et perspectives d'avenir, Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.

-**Zunft H.J., Luder W., Harde A., Haber B., Graubaum H.J., Koebnick C., Grunwald J, 2003.** Carob pulp preparation rich in insoluble fibre lowers total and LDL cholesterol in hypercholesterolemic patients. Eur J Nutr, 42, 235–242.