

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد بوقرة بومرداس
Université M'Hamed Bougara – Boumerdès



Faculté des sciences
Département de Biologie
Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master
Filière : Biotechnologie– Biologie
Spécialité : Biotechnologie végétale et amélioration
Thème

CARACTERISATION DES GRAINES DE CAROUBE

Présenté par :

- ❖ RATNI Asma
- ❖ IBBARI Hassiba

Date de soutenance : 15/07/2021

Composition du jury :

M ^{me} SAADAOUI N.	MCB. Univ. DeBoumerdes	Présidente
M ^{me} BENAMROUCHE S.	MCA. Univ. DeBoumerdes	Promotrice
M ^{me} HEZIL D.	MCB. Univ. DeBoumerdes	Co-promotrice
M ^r MORSLI	MCB.Univ. deBoumerdes	Examineur

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le bon Dieu Allah notre créateur le plus puissant de nous avoir donné la force, la volonté et le courage, ainsi de nous avoir guidé vers le chemin de savoir à fin d'accomplir ce travail.

Je profite de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

*On tient à exprimer nos vifs remerciements pour notre promotrice, M^{me} **BENAMROUCHE S.** d'avoir accepté de nous encadré, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.*

On tient également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail ainsi que pour leurs remarques qui ne feront qu'améliorer ce modeste document

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

A mes parents : MOHAMED ET ZAHIA

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi..

À mes sœurs SIHEM MOUNIRA MAHDIA et à Mes frères AMINE TOUFIK HICHEM OUSSAMA WALID.

À Mes neveux et nièces ANES TASNIM MOHAMED

À mon binôme HASSIBA avec qui j'ai passé des moments de joie de dépression et de folie, tu es le meilleur binôme et amie qu'une personne peut avoir.

À mes amies ABIR NESSRIN MARIEM LAMIA IMENE RYM avec vous je n'en ai que de bons souvenirs.

A tous mes enseignants ;

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes collègues ;

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

ASMA

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

A ma mère : aldjia

Grâce à ses tendres encouragements et ses grands sacrifices, elle a pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

A mon père : Mohamed

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers lui.

Je prie le bon Dieu de le bénir, de veiller sur lui, en espérant qu'il sera toujours fier de moi.

À mes frères : Amirouche yacine Karim Lounes

A ma sœurs : sabrina

À mon binôme Asma avec qui j'ai passé des moments de joie de dépression et de folie, tu es le meilleur binôme et amie qu'une personne peut avoir.

A tous mes enseignants ;

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

A tous mes amis et mes collègues ;

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

HASSIBA

Résumé

L'objectif de notre étude est la valorisation des graines de caroubes par l'extraction et la purification de la gomme à partir de l'endosperme, la détermination du taux de fibres alimentaires brutes et l'estimation du taux des graines qui est un paramètre important conditionnant la rentabilité des composants analysés. Les résultats obtenus à l'issue de ce travail montrent que les rendements en gommes sont évalués à 39,44 % pour les gommes brutes et à 4,026 % pour les gommes purifiées. Le pourcentage de purification est estimé à 10,29%. Les résultats du dosage des fibres brutes montrent une richesse des graines en ces composés à effets physiologiques bénéfiques. La teneur en fibres brutes des graines de caroube analysées est évaluée à 8,39%. Le taux des graines est estimé à 8,79% du fruit.

Mot clés: Caroube, fibres brutes, gommes, graines, valorisation.

Abstract

The objective of our study is the valorization of locust bean seeds by the extraction and purification of the gum from the endosperm, the determination of the rate of crude dietary fiber and the estimation of the rate of the seeds which is a important parameter conditioning the profitability of the analyzed components. The results obtained at. The end of this work shows that the gum yields are evaluated at 39.44% for the crude gums and at 4.026% for the purified gums. The percentage of purification is estimated at 10.29%. The results of the crude fiber assay show that the seeds are rich in these compounds with beneficial physiological effects. The crude fiber content of the analyzed carob beans is evaluated at 8.39%. The seed rate is estimated at 8.79% of the fruit.

Keywords: Carob, gums, raw fibers, seeds, valorization

ملخص

الهدف من دراستنا هو تثمين بذور حبوب الخروب من خلال استخلاص وتنقية الصمغ من السويداء ، وتحديد معدل الألياف الغذائية الخام وتقدير معدل البذور التي تعد معلمة مهمة لتكثيف الربحية. من المكونات التي تم تحليلها. بينت النتائج التي تم الحصول عليها في نهاية هذا العمل أن إنتاجية الصمغ تم تقييمها بنسبة 39.44% للصمغ الخام و 4.026% للصمغ المنقى. تقدر نسبة التنقية بـ 10.29%. تظهر نتائج فحص الألياف الخام أن البذور غنية بهذه المركبات مع تأثيرات فسيولوجية مفيدة. تم تقييم محتوى الألياف الخام في حبوب الخروب التي تم تحليلها بنسبة 8.39%. ويقدر معدل البذور بـ 8.79% من الثمار.

الكلمات المفتاحية: الخروب ، الألياف الخام ، اللثة ، البذور ، التثمين.

Liste des figures

Figure N° 1: Caroubier03
Figure N° 2 : Feuilles de caroubier	03
Figure N° 3 : Gousses de caroube.....	03
Figure N° 4 : Fleurs de la caroube (À) inflorescence male (B) inflorescence femelle (c) fleur hermaphrodite(D) inflorescence hermaphrodite	04
Figure N° 5 : Distribution du caroubier dans le monde	06
Figure N° 6 : Production mondiale de la caroube en 2017.....	06
Figure N°7: Coupe longitudinale d'une gousse de caroube.....	07
Figure N° 8 : Composants de la graine du caroubier.....	08
Figure N°9: Structure moléculaire des galactomannanes.....	09
Figure N° 10 : Flavonoïdes aglycones de la caroube.....	10
Figure N° 11 : Flavonoïdes glycosylés identifiés dans la caroube.....	11.
Figure N° 12 : des fruits (gousses) de caroubier.....	12
Figure N° 13 : Photographie des graines de caroube.....	12
Figure N° 14: Taux des graines de la caroube analysée.....	15
Figure N° 15 : Teneur en fibres totales des graines de caroube.....	16
Figure N° 16: Rendements en gommes brutes et purifiées des graines de caroube	18

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : Composition de la graine et de la pulpe de caroube09.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

Chapitre I : Partie théorique

I.1. Caroubier.....3

I.1.1. Description botanique du caroubier.....3

I.1.2. Taxonomie et terminologie commune.....3

I.1.3. Reproduction biologique.....4

I.1.4. Écologie du caroubier5

I.1.5. Répartition géographique.....5

I.1.6. Production mondiale et algérienne.....6

I.1.6. Intérêt du caroubier.....7

I.2. Graines de Caroube7

I.2.1. Anatomie du fruit et de la graine.....7

I.2.2. Composition chimique de la graine.....8

I.2.3. Utilisation de la graine.....11

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Collecte et préparation des échantillons.....12

II.2. Méthodes d'analyses utilisées.....12

II.2.1. Estimation du taux des graines.....12

II.2.2. Taux de fibres.....13

II.2.3. Gommages.....	13
II.3. Etude statistique.....	14
Chapitre III : Résultats et discussions	
III.1. Taux des graines	15
III.2. Teneur de fibres totales.....	15
III.3. Rendement en gommages.....	16
Conclusion.....	19
Références bibliographiques.....	20

Introduction

Partie théorique

Matériels et méthodes

Résultats et discussions

Conclusion

Introduction

Introduction

Le mot caroubier vient de l'arabe El kharroub. Il est connu sous le nom scientifique de *Ceratonia siliqua* L. *Ceratonia*, du grec keratia, désigne une petite corne et le nom d'épithète *siliqua*, désigne en latin une siliqua ou gousse. Il est aussi appelé Carouge, Pain de Saint Jean-Baptiste, figuier d'Egypte et fève de Pythagore (**Battle et Tous, 1997**). C'est un arbre typiquement méditerranéen de croissance lente jusqu' à 200 mètres et sa hauteur est de 15 mètres, c'est une espèce xérophile, thermophile originaire des zones arides et semi-arides (**Zouhair, 1996**).

Le caroubier possède un intérêt socio-économique et écologique considérable, toutes les parties du caroubier sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines. Le caroubier est utilisé non seulement dans l'alimentation animale mais aussi dans la médecine et l'alimentation humaine. La grande valeur du caroubier est connue grâce à ses gousses et ses graines. Sa pulpe est très riche en sucre, même plus riche que la canne à sucre et la betterave sucrière, elle est aussi riche en composés phénoliques ce qui lui donne un pouvoir anti oxydant remarquable (**Hariri et al., 2009**) mais aussi en fibres et en minéraux. La pulpe est souvent grillée et broyée pour obtenir une poudre de couleur marron à arôme de chocolat qui est utilisée comme un substitut naturel de cacao utilisé pour la préparation de chocolat et aussi utilisée traditionnellement comme remède contre les diarrhées et certaines maladies gastriques (**Berrougui, 2007**).

Les graines quant à elles, elles étaient utilisées au part avant comme unité commerciale pour le poids des substances et du matériel précieux. Mais elles sont surtout utilisées pour l'extraction de la gomme de caroube (connu sous le code normalisé E410), elle substitut la pectine et la gélatine (**Benmahioul et al., 2011**). La gomme de caroube est utilisée dans la formulation des aliments, dans le cosmétique et en industrie pharmaceutique comme agent épaississant, gonflant, liant et stabilisant dans les préparations des émulsions (**Calixto et Canellas, 1982 ; Sandoloet al., 2007**).

En Algérie, le caroubier reste très négligé et n'a pas encore eu la place qu'il mérite dans les programmes de reboisement et ce, malgré les retombées socio-économiques que cette plante peut avoir à l'échelle nationale et surtout régionale et cela malgré l'engouement et l'intérêt qui lui sont portés depuis quelques décennies par les industriels.

Introduction

Ce travail a comme objectif la valorisation du caroubier par la caractérisation de ses graines, source de composés bioactifs. Le présent travail est divisé en deux parties :

- Une partie théorique qui comporte des généralités sur le caroubier et des notions sur la composition chimique de ses graines.
- Une partie pratique qui précise la démarche expérimentale et donne les méthodes d'analyses et les résultats correspondants.

Chapitre II. Matériels et méthodes

II.1. Collecte et préparation des échantillons

Le matériel végétal, constitué de gousses de caroubier mûres, a été collecté dans une forêt à Bouzagza (région située à la wilaya de Boumerdès). La récolte a été faite d'une manière aléatoire à partir de plusieurs arbres en mois d'Aout 2020 (**Fig.12**).

Au laboratoire, nous avons séparé les pulpes des graines (**Fig.13**). Une partie a été conservée telle quelle (pour l'extraction des gommages) et une autre partie a été broyée, et conservée à l'abri de la lumière dans des flacons en verres fumés pour la détermination du taux de fibres brutes.



Fig. 12 : Photographie des fruits (gousses) de caroubier.



Fig. 13: Photographie des graines de caroube.

II.2. Méthodes d'analyses utilisées

II.2.1. Estimation du taux des graines

Le principe consiste à évaluer le taux des graines du fruit par rapport à son poids total. Chaque lot de 10 fruits entiers est pesé avant et après séparation des graines à l'aide d'une balance de précision. Le taux des graines (TG%) est exprimé en pourcentage de masse, est donné par la formule suivante :

$$TG\% = (m_2/m_1) \times 100$$

Avec : TG% : Taux de graines en g pour 100g de fruits entiers ; m1, la masse des fruits entiers (en g) et m2, la masse des graines (en g).

II.2.2. Taux de fibres

1g d'échantillon séché et broyé est ajouté à 150ml de H₂SO₄ (1,25%). Après préchauffage et juste au début de l'ébullition, on ajoute trois gouttes de N-octanol et on chauffe pendant 30minutes. Après filtration le résidu est lavé trois fois avec 30ml de l'eau distillée chaude puis hydrolysé avec 150 ml de KOH à 1.25 %. Après préchauffage et juste au début de l'ébullition, on ajoute trois gouttes de N-octanol et on chauffe pendant 30minutes. Après filtration, on procède à un deuxième lavage trois fois avec 30 ml d'eau distillée chaude. Le résidu est lavé pour une dernière fois 3 fois avec 25 ml d'acétone.

Le résidu est séché dans une étuve réglée à 105°C jusqu'à poids constant (M1) ; ce poids représente les fibres brutes plus la teneur en cendres par rapport au poids initial. Pour éliminer le poids des cendres il est nécessaire de poursuivre l'opération en incinérant le résidu dans un four à moufle à 550°C jusqu'à ce que la couleur des résidus devienne blanche grisâtre et peser le poids (M2). La teneur des fibres brutes est calculée par la formule présentée ci-dessous :

$$F \% = (M2 - M1) \times 100$$

Avec : F : pourcentage des fibres brutes (**Henneberg et Stohmann, 1860**).

II.2.3. Gommages

L'extraction a été réalisée selon protocole décrit par **Dakia et al. (2007)**.

- **Décorticage par voie acide** : Un traitement acide a été appliqué pour le décorticage, qui consiste à faire macérer 100g de graines dans l'acide sulfurique dilué (60/40 ml) H₂SO₄ /H₂O pendant 60 minutes à 60°C dans un bain marie d'eau préchauffée tout en agitant périodiquement.
- **Lavage et trempage** : Un lavage intensif à l'eau est réalisé et les graines décortiquées ont été trempées dans de l'eau distillée pendant toute une nuit pour faire gonfler l'endosperme et faciliter la séparation manuelle du germe.
- **Séchage et broyage** : Les endospermes ont été lavés et séchés dans un four à 105°C pendant 4-5 heures, broyés avec un broyeur pour obtenir ce qu'on appelle la gomme de caroube non purifiée

Matériels et méthodes

Afin de purifier la gomme 1g de gomme de caroube, non purifiée, sont additionné à un volume d'eau distillé, chauffer au bain marie pendant 30 min à 80°C, laisser toute une nuit à température ambiante. Le mélange est centrifugé pendant 15 minutes à 4500 tours par minute et le surnagent est récupéré et précipité avec 70 ml d'éthanol absolue qu'on laisse décanter. Le résidu est récupérer, gardé toute une nuit dans l'isopropanol et séché à 40°C pendant toute une nuit. Le rendement (R) a été déterminé par la formule suivante :

$$\text{Rendement en gomme brutes} = (\text{masse de la gomme brute} / \text{masse des graines}) \times 100$$

$$\text{Rendement en gomme purifiées} = (\text{masse de la gomme purifiée} / \text{masse des graines}) \times 100$$

II.3. Etude statistique

Toutes les données représentent la moyenne des trois essais \pm écart type.

Chapitre I : Partie théorique

I.1. Caroubier

I.1.1. Description botanique du caroubier

Le caroubier est un arbre ou arbuste, qui peut atteindre 7 à 20 m de hauteur et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3m. Il a une écorce lisse et grise (**Rejeb et al., 1991 ; Ait Chitt et al., 2007**) (**Fig.1**). Les feuilles ont de 10 à 20 cm de longueur, persistantes, coriaces, alternes et caractérisées par un pétiole sillonné. Elles sont composées de 4 à 10 folioles, de couleur vert luisant sur la face dorsale et vert pâle sur la face ventrale (**Rejeb et al., 1991 Ait Chitt et al.2007**) (**Fig. 2**). Cet arbre développe un système racinaire pivotant, qui peut atteindre 18m de profondeur (**Aafi, 1996; Gharnit, 2003**). Les fleurs sont verdâtres, de petite taille (6 à 16 mm de longueur), spiralées et réunies en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires. Le fruit appelé caroube ou carouge, est une gousse indéhiscente à bords irréguliers. De forme allongée, rectiligne ou courbée le fruit est de 10 à 20 cm de longueur, 1,5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2,5 cm d'épaisseur (**Batlle et al., 1997**) (**Fig. 3**).



Fig. 1 : Caroubier



Fig. 2 : Feuilles de caroubier



Fig. 3 : Gousses de caroube

(**Rejeb et al., 1995**)

I.1.2. Taxonomie et terminologie commune

Selon **Santa (1962)**, le caroubier occupe la position systématique suivante :

Règne : *Plantae*.

Sous-règne : *Tracheobionta*

Partie théorique

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Rosidae*

Famille : *Fabaceae*

Ordre : *Fabales*

Genre : *Ceratonia*

Espèce : *Ceratonia siliqua* L.

I.1.3. Reproduction biologique

De nombreux aspects sont liés à la reproduction biologique du caroubier, tel que la floraison et la pollinisation. Le caroubier est dioïque et parfois hermaphrodite ; Les pieds mâles sont stériles et improductifs, il est considéré comme le seul arbre méditerranéen qui fleurisse en été, d'Août à Octobre (Aafi, 1996) ou en automne, de Septembre à Novembre (Fournier, 1977) (Fig.4). Cependant, la saison et la durée de la période de floraison dépendent des conditions climatiques.



Fig.4 : Fleurs de la caroube (A) inflorescence male (B) inflorescence femelle (c) fleur hermaphrodite (D) inflorescence hermaphrodite (Anonyme, 2020)

Partie théorique

La pollinisation des fleurs du caroubier est, en grande partie, assurée par les insectes (**Retana et al., 1990; Rejeb et al., 1991 ; Ortiz et al., 1996**) mais aussi par le vent (**Passos de Carvalho, 1988; Batlle, 1990**). Les fleurs sécrètent des substances nectarifères. La quantité et la contenance en sucre sont élevées dans la fleur femelle par rapport à son homologue mâle. La fructification chez le caroubier, se situe entre Juillet et Décembre de l'année qui suit la floraison selon les régions et les cultivateurs (**Ortiz et al. 1996**).

I.1.4. Écologie du caroubier

Le caroubier tolère les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocaillieux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH de 6,2 jusqu'à 8,6 ; mais il craint les sols acides et très humides (**Baum, 1989 ; Zouhair, 1996 ; Sbay et Abrouch, 2006**). Il s'adapte à plusieurs types de sols à l'exception des sols hydro morphes et salés et les croûtes schisteuses. On le rencontre sur sols marneux, sur sols pauvres superficiels et rocaillieux calcaires, sur des pentes rocheuses, des escarpements peu accessibles et des collines incultes (**Nabli, 1989**).

Le caroubier est une espèce typique de la flore méditerranéenne, bien définie dans l'étage humide, subhumide et semi-aride. Le caroubier résiste mieux au manque d'eau que le chêne vert, le thuya et l'oléastre qui lui y sont associés. C'est une essence, très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm/an). Il joue un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion et dans la lutte contre la désertification (**Zouhair, 1996**).

Selon **Rejeb et al. (1991)**, l'aptitude du caroubier à l'adaptation aux stress abiotiques est due à plusieurs raisons : les stomates sont situés sur une seule face, le nombre de stomates est assez élevé et ils sont de petite taille, le système racinaire est développé, la présence d'un dépôt de cire important et l'assimilation et les échanges gazeux dépendent de l'état hydrique général. 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**).

I.1.5. Répartition géographique

Originaire du Moyen-Orient, le caroubier est un arbre essentiellement méditerranéen d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable (**Hariri et al., 2009**). On le rencontre à l'état naturel principalement en Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Égypte et Chypre. Il a été introduit aussi en Australie, en Afrique du Sud, aux États-Unis et en Amérique du Sud (**Sbay et Abourouch, 2006**).

Partie théorique

En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (**Quezel et Santa, 1962**). On le trouve à l'état naturel en association avec l'amandier, *Olea europaea* L. et *Pistacia atlantica* L. dans les étages semi-aride chaud, subhumide et humide, 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 80mm à 600mm/an (**Rebour, 1968**).

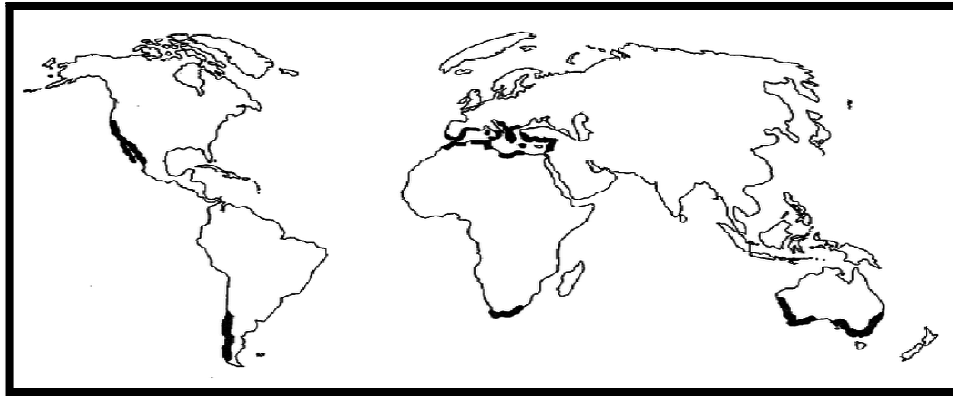


Fig. 5: Distribution du caroubier dans le monde (**Sbay et Abourouh, 2006**).

I.1.6. Production mondiale et algérienne

Selon le **FAO STAT (2019)**, la production mondiale totale de la caroube en 2017 est estimée à 136 539 tonnes/an. La plus grande production, 41 909 tonnes/an, est celle du Portugal, suivie par l'Italie, le Maroc, la Turquie et la Grèce. L'Algérie est le Septième pays producteur avec une production estimée à 4042 tonnes/an (**Fig. 6**).

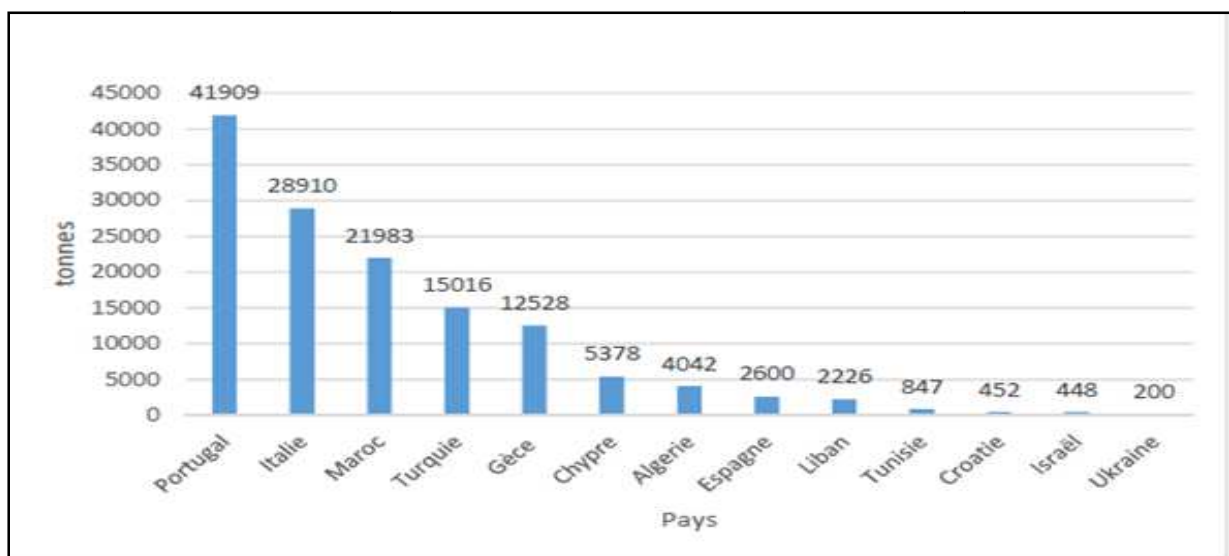


Fig. 6 : Production mondiale de la caroube en 2017 (**FAOSTAT, 2019**)

I.1.6. Intérêt du caroubier

Le caroubier est un arbre d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. Il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont (Aafi, 1996). La farine de caroube obtenue par séchage de la pulpe est utilisée surtout en agro-alimentaire, dans la composition de plusieurs aliments comme, les biscuits, les farines lactées, etc. Et comme substituant du cacao pour la fabrication du chocolat. A partir des fruits on extrait également un sirop qui est employé pour confire les fruits (Bonnier, 1990). La pulpe de caroube est sucrée, elle est utilisée aussi comme nourriture de bétail à côté d'autres aliments comme la farine d'orge (Ait Chitt et al., 2007).

Les fleurs du caroubier sont utilisées pour la production du miel de caroube, par contre les feuilles sont utiles pour l'alimentation des animaux.

L'écorce et les racines sont riches en tanins, elles sont utilisées en tannerie. Alors que son bois, de couleur rouge, dur, est utilisé dans la charbonnerie et la menuiserie (Hariri et al., 2009).

I.2. Graines de Caroube

I.2.1. Anatomie du fruit et de la graine

La gousse de caroube est divisée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et contient de 5 à 16 graines. On peut distinguer trois parties (Fig. 7):

- Epicarpe ou peau, de nature fibreuse et colorée ;
- Mésocarpe ou pulpe, de nature charnue, riche en sucres. Il représente environ 70 à 95% du fruit entier ;
- Endocarpe, de nature fibreuse ; recouvre l'intérieur du fruit en le divisant en segments ou loges carpellaires où se situent les graines (Rejeb, 1995 ; Ait Chitt et al., 2007).

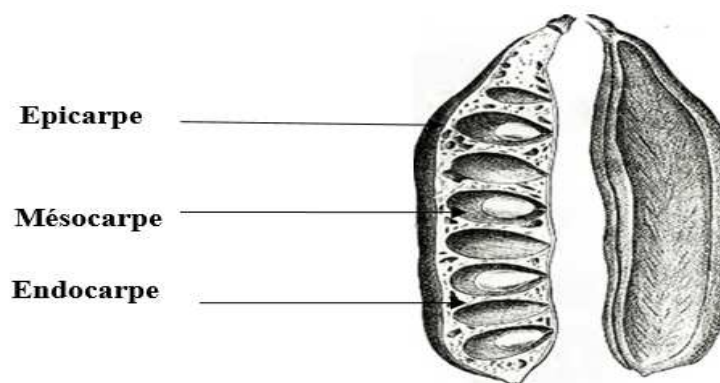


Fig. 7 : Coupe longitudinale d'une gousse de caroube (Mahdad et al., 2013)

Partie théorique

Les graines du caroubier sont petites de forme ovoïde aplatie et biconvexe. Son tégument est normalement lisse, dur, de couleur brun rougeâtre et brillant. Elles présentent des dimensions de 8 à 10 mm de long sur 6 à 8 mm de largeur avec 3 à 5 mm d'épaisseur. Les graines sont très dures et présentent une grande résistance. Elles sont séparées les unes des autres par des cloisons pulpeux. On en compte de quinze à vingt par gousse (**Dakia et al., 2007**).

La graine du caroubier est composée de trois parties (**Fig. 8**):

- a. **Les téguments** : sont des enveloppes résistantes de couleur brune (**Dakia et al., 2008**). Cette coque représente 30 à 35 % du poids sec de la graine (**Neukom, 1988**).
- **La radicelle** : représente entre 15 à 30 % du poids sec de la graine (**Neukom, 1988**). Celle-ci possède une valeur énergétique élevée due à son taux important de protéines principalement solubles dans l'eau et de lipides majoritairement insaturés (**Dakia et al., 2007**).
- **L'endosperme** se trouve entre les téguments et la radicelle. Il représente 40 à 50 % du poids de la graine et constitue la matière de base utilisée dans la fabrication de la gomme de caroube (**Neukom, 1988**).

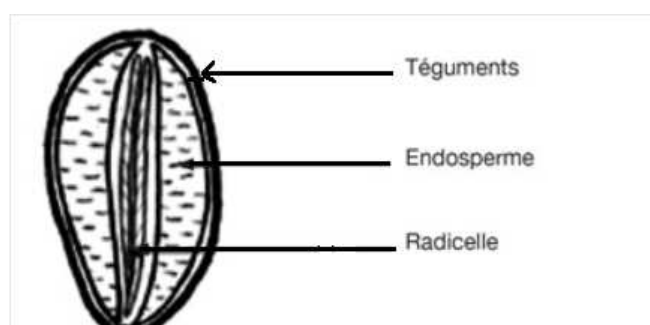


Fig. 8 : Composants de la graine du caroubier (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

I.2.2. Composition chimique de la graine

Les graines de caroube constituent environ 10% de la masse de la gousse (**Tableau 1**). Selon **Bouzouita et al. (2007)**, la graine est pauvre en hydrates de carbone et en fibres par rapport à la pulpe, par contre elle contient une quantité appréciable de lipides et de protéines. L'endosperme de la graine de caroubier est composé principalement de galactomannanes qui représentent plus de 90%. Ce polysaccharide est très utilisé comme additif en industries alimentaires et non alimentaires (**Dakia, 2011**).

Partie théorique

Tableau 1 : Composition de la graine et de la pulpe de caroube (**Kicher et Ladjouzi, 2016**).

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

L'endosperme de la graine de caroube est riche en carbohydrates (27 %) composées principalement de galactomannanes, du saccharose, du glucose et du mannose (**Dakia, 2011**) L'embryon ou la farine de germe est riche en protéine (52% avec une teneur élevée en lysine et arginine). La graine est pauvre en fibres par contre elle contient une quantité appréciable de lipides.

La gomme de caroube issue de l'endosperme constitue le tiers du poids total de la graine (**Bouzouita et al., 2007**.) Elle est composée principalement de galactomannanes. 100kg de graines produisent en moyenne 20kg de gomme pure et sèche. Les galactomannanes ont tous une structure générale similaire formée par un enchainement linéaire d'unités β -D-mannopyranose liées en (1 \rightarrow 4) avec des branchements constitués d'une seule unité α -D-galactopyranose liée en (1 \rightarrow 6) (**Carnier et al., 2004**). (**Fig.9**). La gomme de caroube comporte en moyenne une unité galactose pour quatre mannoses, alors que ce rapport est de un à deux pour la gomme de guar (**Multon, 1992**).

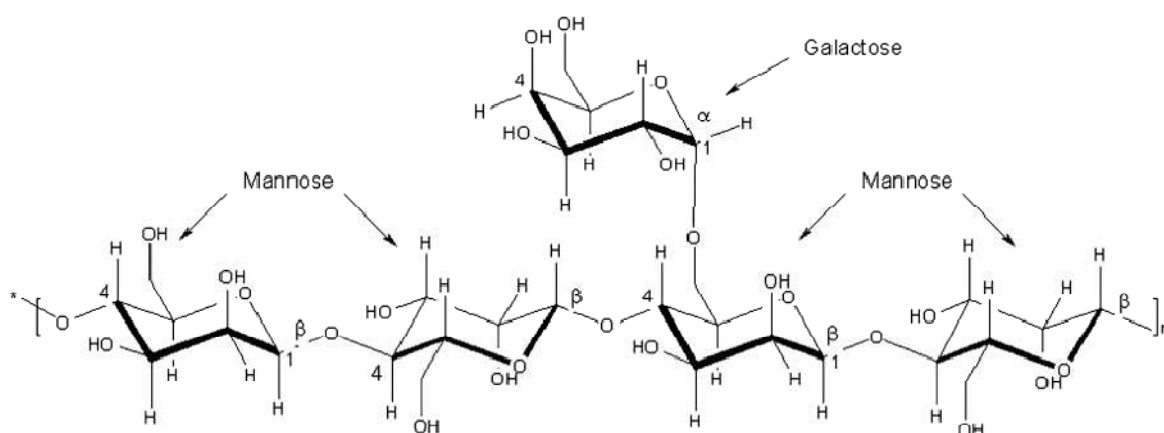


Fig. 9 : Structure moléculaire des galactomannanes (**Secouard et al., 2007**)

Partie théorique

La graine est composée de 30 à 33% d'enveloppe tégumentaire, de 42 à 46% de l'albumen et de 23 à 25% d'embryon (Neukom, 1988). L'enveloppe tégumentaire est considérée comme étant une source naturelle d'antioxydants (Batista et al., 1996 ; Marakis et al., 1988). Les antioxydants les plus connus sont les polyphénols. Ces derniers constituent 2 à 20%, de la matière sèche et sont essentiellement des tanins condensés, des flavonoïdes (Fig.10 et 11) et des ellagitanins (Owen et al., 2003 ; Makris et Kefalas, 2004)

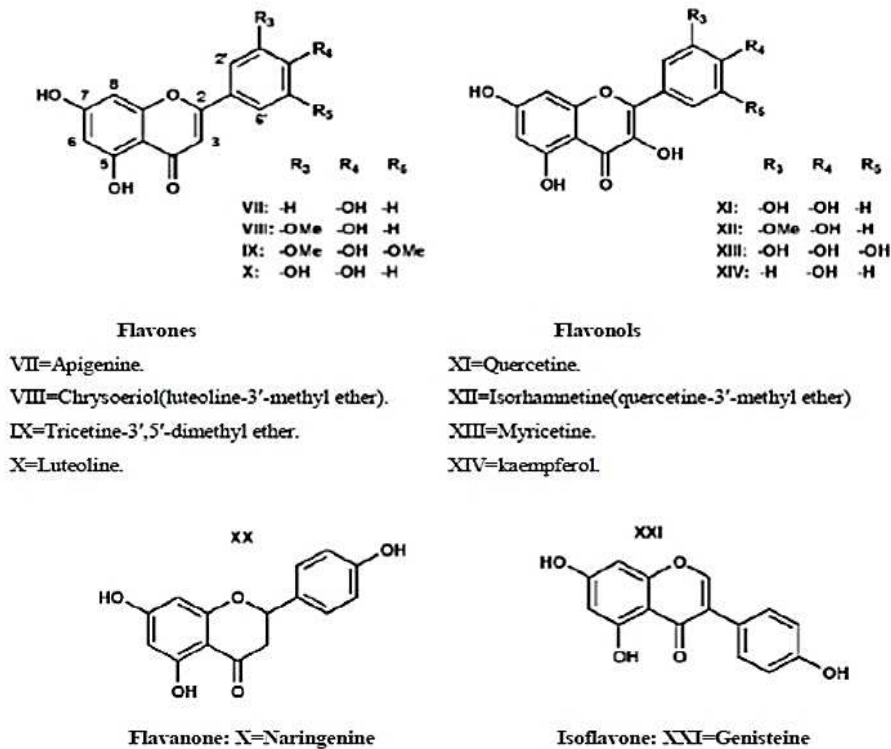
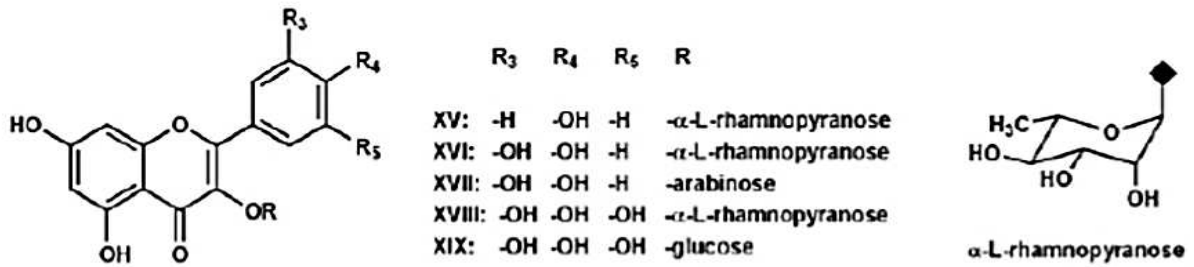


Fig. 10: Flavonoïdes aglycones de la caroube (El Gharras, 2009).



Flavonols glycosylés

XV=Kaempferol-3-O-α-L-rhamnoside.

XVI=Quercetine-3-O-α-L-rhamnoside.

XVII=Quercetine arabinoside.

XVIII=Myricetine-3-O-α-L-rhamnoside.

XIX=Myricetine glucoside.

Fig.11: Flavonoïdes glycosylés identifiés dans la caroube (Manach et al., 2004).

I.2.3. Utilisation de la graine

Les graines de caroube sont bien appréciées et recherchées pour leurs qualités et multiples usages industriels. L'utilisation possible, dans l'industrie alimentaire, de polyphénol antioxydant contenu naturellement dans l'enveloppe tégumentaire a soulevé d'énormes intérêts au même titre que la production industrielle de gomme de caroube (Batista et al., 1996 ; Makris et Kafalas, 2004). La gomme issue de l'endosperme constitue le 1/3 du poids total de graine. Cette gomme mucilagineuse est utilisée dans plusieurs produits commerciaux comme agent stabilisateur, épaississeur, agglomérant et gélifiant (Batlle, 1997). En plus, elle est utilisée en industrie alimentaire pour la fabrication d'un grand nombre de denrées alimentaires: crème glacée, soupe, sauce, biscuit, tourte, confiserie, produits de boulangerie et nourriture des animaux. Par ailleurs, son application dans les domaines techniques est large. Elle est utilisée en imprimerie, photographie, textile, matière plastique, encre, cirage, matière adhésive et pharmaceutique et cosmétique (Batlle et al., 1990).

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1. Taux des graines

Le taux des graines de la caroube analysée est illustré dans la figure suivante :

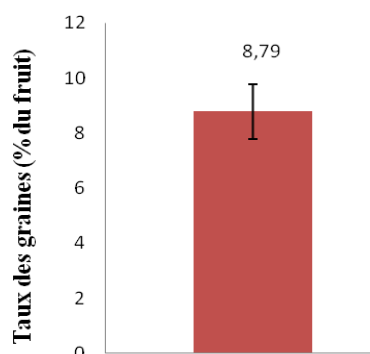


Fig. 14 : Taux des graines de la caroube analysée

Le taux des graines est estimé à 8,79% du fruit. Selon **Youcif et Alghzawi (2000)** et **Ait Chitt (2007)**, les graines représentent de 10 à 20% du poids de la gousse. Ce taux dépend du nombre de graines contenue dans le fruit qui est estimé entre 15 à 20 graines. Selon les variétés, les gousses de caroube diffèrent morphologiquement dans leur taille, leur forme, leur qualité, leur couleur et dans leur rendement en graines. Ces variations peuvent être attribuées au génotype de la plante, l'origine géographique, les conditions climatiques et les méthodes de récolte et de stockage (**Battle et Tous, 1997 ; Biner et al., 2007; Sidina et al., 2009**).

III.2. Teneur de fibres totales

Le dosage des fibres alimentaires effectué sur les graines de caroube étudiées est représenté dans la figure suivante (**Fig. 15**). D'après nos résultats, on constate que la teneur en fibres brutes des graines de caroube analysées est de 8,39%. Notre résultat dépasse deux fois celui de **Gaouar (2011)**. Ce dernier rapporte un taux de 4% pour des graines de caroube d'origine algérienne. En comparant les teneurs en fibres brutes enregistrées pour les échantillons analysés aux données bibliographiques, on constate que les graines apportent autant de fibre que la pulpe (8,01%

Résultats et discussions

d'après **Albanell et al. (1991)** pour des variétés d'Espagne, 10,99% d'après **Youcif et Alghzawi (2000)** pour des variétés de Jordanie, 10% d'après **Gaouar (2011)** et 11% pour des variétés marocaines selon **Salih et Jilal (2020)**. Ce résultat contrarie la comparaison faite par **Gaouar (2011)**. Ce dernier a constaté que la pulpe de caroube contient plus de fibres brutes que les graines (10,83%, 10,33% et 10,17% contre 4%, 4,17% et, 4,17%, en faveur de la pulpe, pour les variétés de Tlemcen, Jijel et Blida respectivement). Selon Les graines de caroube sont une très bonne source de fibres solubles et insolubles, utiles pour réguler le transit.

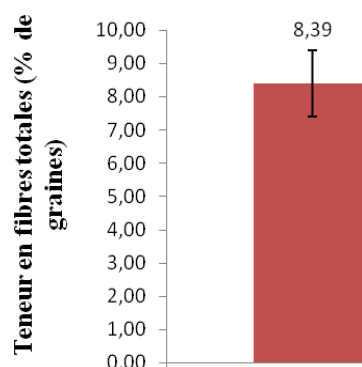


Fig. 15 : Teneur en fibres totales des graines de caroube

III.3. Rendement en gommages

Les résultats illustrés dans la figure 16, donnent les rendements en gommages brutes et purifiées des graines de caroubes analysées. Les rendements sont estimés à 39,44 % et 4,026 % pour les gommages brutes et purifiées, respectivement. Le pourcentage de purification est estimé à 10,29%. Selon **Lopez da Silva et al. (1990)**, la gomme de caroube issue de l'endosperme constitue le tiers du poids total de la graine. Elle est principalement composée de galactomannanes (environ 93 %), de protéines (environ 4-5 %), de lipides (1 %) et de minéraux (1 %). La purification permet d'éliminer la cellulose, la lignine et les lipides, ainsi que de diminuer considérablement les quantités de minéraux et de protéines. On comparant nos résultats à ceux trouvés par **Lopez da Silva et al. (1990)** et **Dakia et al. (2008)** on constate que notre rendement en gomme brute dépasse de loin celui de **Lopez da Silva et al. (1990)** (20%) et il est

Résultats et discussions

inclus dans l'intervalle donné par **Dakia et al. (2008)** (37%-61%). Le rendement a une relation directe avec la composition de l'endosperme et la méthode utilisé pour l'extraction. L'endosperme se trouve entre les téguments et la radicle. Il représente 40 à 50% du poids de la graine et constitue la matière de base utilisée dans la fabrication de la gomme de caroube (**Neukom, 1988**). Il s'agit de polysaccharides appelés galactomannanes. Ces derniers sont constitués d'une chaîne principale de résidus D-mannopyranoses liés en β -(1→4) sur laquelle se greffent des résidus D-galactopyranoses uniques grâce à une liaison de type α -(1→6) (**Moreira et al., 2008**). Le rapport mannose/galactose des galactomannanes et la distribution des résidus galactose le long de la chaîne de mannose sont spécifiques de l'espèce végétale (**Neukom, 1988**). Les teneurs et la distribution des résidus galactose le long de la chaîne de mannose varient en fonction du génotype de la plante, le cultivar, l'origine géographique, les conditions climatiques et le degré de maturité du fruit (**Gillet et al., 2014**). Selon **Dakia et al. (2008)**, le rendement de l'endosperme par voie aqueuse est plus important par rapport à la voie acide (51-61% contre 37-48%). La méthode par voie aqueuse s'avère intéressante du point de vue rendement qui se trouve augmenté de 21 à 27 %. Par ailleurs, cette méthode est écologique dans la mesure où on évite de manipuler avec les acides qui sont toxiques, corrosifs aux équipements et polluants pour l'environnement.

Résultats et discussions

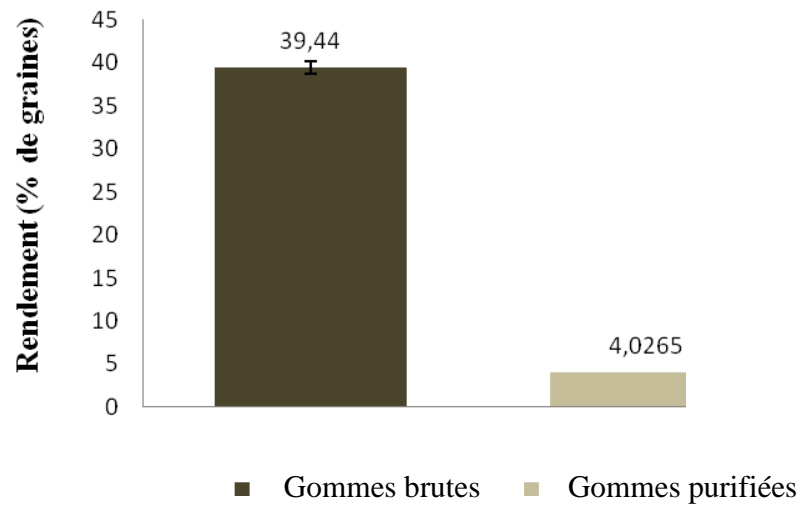


Fig. 16 : Rendements en gommes brutes et purifiées des graines de caroube

Conclusion

Conclusion

Ce travail consiste en une contribution à la valorisation des graines de caroubes issues du caroubier, arbre très abondant en Algérie, dont la plantation est négligée malgré le grand intérêt écologique et économique de cette espèce végétale. Les caroubiers sont principalement utilisés pour l'alimentation animale et pour la préparation de Dibs, mélasse de fruit consommée par la population tandis que les graines sont souvent jetées sans aucune valorisation. La caractérisation des graines de caroube, source de composés bioactifs, devient une nécessité qui servira l'intérêt écologique et socioéconomique. Ce travail est un préambule à un travail beaucoup plus étendu, dans le but final est d'arriver à formuler des aliments ou des compléments alimentaires à caractère fonctionnel et de substituer les additifs artificiels par des produits naturels beaucoup plus efficaces et moins nocifs pour la santé.

Cette étude est consacrée à l'extraction et à la purification de la gomme à partir de l'endosperme, la détermination du taux de fibres alimentaires brutes apporté par la graine de caroube et l'estimation du taux des graines qui est un paramètre important conditionnant la rentabilité des composants analysés.

Les résultats obtenus à l'issue de ce travail montrent que les rendements en gommes sont évalués à 39,44 % pour les gommes brutes et à 4,026 % pour les gommes purifiées. Le pourcentage de purification est estimé à 10,29%. Les résultats du dosage des fibres brutes montrent une richesse des graines en ces composés à effets physiologiques bénéfiques. La teneur en fibres brutes des graines de caroube analysées est évaluée à 8,39%. Le taux des graines est estimé à 8,79% du fruit. Ce taux est légèrement faible en comparaison avec les données bibliographiques et peut s'expliquer par l'effet variétal.

Il serait intéressant de continuer ce travail par :

- L'étude du potentiel antioxydant des graines en appliquant plusieurs tests antioxydants (ABTS, DPPH, Pouvoir réducteur, ...etc.) et le dosage des différents antioxydants et composés bioactifs (composés phénoliques, vitamine C, caroténoïdes,...etc.) ;
- Des essais d'incorporation de la farine de la graine de caroube dans des formulations alimentaires (biscuit, chocolat, yaourt,...etc.) comme ingrédient naturel et dans l'alimentation animale.
- Des essais d'exploitation des gommes de caroube comme additifs émulsifiants, gélifiants et épaississants dans des produits alimentaires, des préparations pharmacologiques, cosmétiques et autres.

Référence bibliographie

Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A. (2007). Production des plantes selectionnees et greffees du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, (153), IAV Rabat, pp.1-4.

Aafi A. (1996). Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). Centre Nationale de la recherche Forestiere, Rabat (Maroc) p 10.

Albanell E., Caja, G. and Plaixats, J. (1991). Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles, Options Mediterranéennes (.16): p 135- 136.

Battle I., Tous J. (1997). Carob tree *Ceratonia siliqua L.*, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.(17), Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute, p92.

Baum N., (1989). Arbres et arbustes de l’Egypte ancienne, p354.

Bouzouita N., Khaldi A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabounia M.M. et 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) : p1508–1515.

Bonnier, G. (1990). La grande flore en couleurs (tome 3), p 309-310.

Batista, M.T., Amaral, M.T., Proença, D. C.A. (1996). Carob fruits as source of natural antioxidant. In *Proceeding of the International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal.*

Biner B., Gubbuk H., Karhan M., 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*, (100):p1453-1455.

Carnier C., Bouriot S. et Doublier J.L. (2004). Rôles des hydrocolloïdes en milieu laitier- influence de l’environnement ionique, in : minéraux et produits laitiers, Ed. : *Tec et Doc.*, lavoisier, p 391-408.

Dakia P.A. (2011). Carob (*Ceratonia siliqua L.*) Seeds, Endosperm and Germ Composition, and Application to Health (Chapitre 35), in: *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. Université d’Abobo-Adjame (UAA), Abidjan, Cote d’Ivoire. Elsevier*

Référence bibliographique

Dakia P.A, Blecker C., Robert C., Wathélet B. et Paquot M. (2008). Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids* 1. **5 (2)** . p 807-818.

Dakia P. A., Watherlet B. et Paquot M. (2007). Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germ. *Food Chemistry*, **102**. p 1368-1374.

Dakia P.A., Wathel B., Paquot M., (2007). Isolation and chemical evaluation of, carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed germ. *Food Chem.*, 102 (4),p 1368-1374

Owen R. W., R. Haubner, W. E. Hull, G. Erben, B. Spiegelhalder, H. Bartsch and B. Haber (2003), Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre, *Food and Chemical Toxicology* **12(41)**. p 1727-1738.

Fournier, 1977. Les quatre flores de la France (générale, alpine, méditerranéenne, littorale) Le Chevalier, Paris.

FAOSTAT (2019) : The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. (www.faostat.fao.org).

Gharnit N. (2003). Caractérisation et essai de régénération in vivo du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) originaire de la province de Chefchaouen (Nord-ouest du Maroc). *Thèse de Doctorat en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger*

Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A. et Sayah F., (2006). Importance socioéconomique 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*, **33(4)**, 02.

Gaouar, N. (2011). Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. *Thèse de magister en Agronomie. Université Aboubeker –Kaid, Tlemcene, Algérie.* P11-14, 42-64

Gillet, S., Simon, M., Paquot, M. and Richel, A. (2014). Synthèse bibliographique de l'influence du procédé d'extraction et de purification sur les caractéristiques et les propriétés d'une gomme de caroube. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **18(1)**. P97-107

Référence bibliographique

Hariri A, Ouis N., Sahnouni F., et Bouhadi D. (2009). Mise en œuvre de l'aide certains ferments lactiques dans des milieux à base des extraits de caroube. *Revue microbiologie santé et environnement*, p37-55.

Henneberg W., Stohmann F.,(1860). Beiträge zur Begründung einer rationellen wiederkäufer I & II Fütterung der Braunschweig..

Kicher. H ; Iadjouzi. A,(2016) : Valorisation des sous-produits de la caroube *Ceratonia siliqua*. (Mémoire de fin d'études) ; Université A. MIRA – Bejaia.

- **Moreira, L. et Filho, E. (2008).** An overview of mannan structure and mannan degrading enzyme systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, (79) .P165-178.

Marakis, S., Kalaitzakis, J., Mitrakos, K. (1988). Criteria for recognizing carob tree varieties. *in Proceedings of the II International Carob Symposium (P. Fito and Mulet, eds.)* Valencia, Spain, p558-566.

Markis D.P et Kefalas P. (2004). Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic Antioxidants. *Food technol*, 42

Mahdad MY, (2013). Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie

Melgarejo P. & Salazar D.M., 2003. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, p 19-162.

Nabli A. (1989). Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisienne, 1. Éléments de botanique et de phyto-écologie, *MAB-FST-Laboratoire de botanique fondamentale et appliqué*. 247.

Neukom, H. (1988). Carob bean gum: properties and applications. *In: Fito P. & Mulet A., eds. Proceedings of the II International Carob Symposium, 29 September-1 October 1987, Valencia, Spain, 551-555.* Valencia, Spain: Generalitat Valenciana.

Référence bibliographique

Ortiz P. L. , Arista M. & Talavera S. , 1 996. Produccion de nectar y frecuencia depolinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (Caesalpinaceae). *Anales del Jardin Botanico* de Madrid(**54**): 540-546.

Passos de Carvalho J. (1988). Carob pollination aspects. Pp. 281-291 in Proceedings of the II International Carob Symposium (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain .

Que zel P. et S. Santa (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (tome1), *Editions du centre national de la recherche scientifique*, p557.

Rejeb MN., Laffray D., Louguet P. (1991). Physiologie du caroubier (*Ceratoniasiliqua* L.)en Tunisie. In: *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Group d'Etude de l'Arbre*, Paris, p 417-426.

Rejeb M. N.(1995). « Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration, in Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. Jo Libbey Eurotext. Paris : p79-85.

Retana J., Ramoneda J. & Garcia del Pino F.,(1990). Importancia de los insectos en la polinizacion del algarrobo. *Bol. San. Veg. Plagas*,(**16**) p143-150.

Sbay H. et M. Abourouh, (2006). Apport des espèces à usages multiples pour ledéveloppement durable : cas du pin pignon et du caroubier, *Centre de RechercheForestièreHaut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre laDésertification*, Rabat, p1-9.

Salih, G. and Jilal, A.(2020). Agro-morphological and quality attributes of Moroccan carob. *Crop Production and Environment*, **1 (1)**:P 20-25.

Satheeh Neela. And Solomon W Fatna,(2019.)food scienceand nutrition 7(6), 1920-1945

- **Sidina, M.M., El Hansali, M., Wahid, N. Ouatmane, A. (2009).** Fruit and seed diversity of domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Morocco. *Scientia Horticulturae* **123(1)**.P110-116

Secouard S., Grisel M. et Malhiac C. (2007). Flavour release study as a way toexplain xanthan-galactomannan interactions. *Food hydrocolloids* 21, pp: 1237-1244.

Référence bibliographie

Yousif, A.K. and Alghzawi, H.M. (2000) Processing and characterization of carob Powder. *Food Chemistry*, (**69**): 283-287.

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

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique

Référence bibliographique
