

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaire
Spécialité Contrôle des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Valorisation de la gomme de caroube par
incorporation dans des confitures

Présenté par :
BOUREBABA Nassima & CHARIF Kahina
Soutenu le : 17/09/2020

Devant le jury composé de :

Mme DEFLAOUIL

Présidente

Mme MEKHOUKH.A

Encadreur

Mme BOUBCHIR.K

Examinatrice

Année universitaire : 2019 / 2020

REMERCEMENTS

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le savoir et la faculté de pouvoir poursuivre nos études et de choisir une spécialité aussi noble.

❖ *Une grande reconnaissance à notre promotrice Mme Mekhoukhe.*

A, enseignante à l'université de Bejaia, de nous avoir donné la possibilité de réaliser ce travail, un grand merci particulièrement pour sa disponibilité, son aide précieux, ses conseils, son objectivité, sa rigueur scientifique, qui ont fait progresser ce travail.

❖ *On tient également à exprimer nos sincères remerciements à*

Mme Deflaoui. L, enseignante à l'université de Bejaia, d'avoir accepté de présider le jury et de juger notre travail.

❖ *On adresse également nos vifs remerciements à Mme Boubchir*

enseignante à l'université de Bejaia, d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Dédicace

Je dédie ce travail à

- Mes très chers parents, Pour l'amour qu'ils m'apportent, leur soutien, leurs efforts, et leur encouragement. Je leurs dis « je vous aime ».
- Mes très chers frères Amirouche et Anis qui m'ont toujours encouragé.
- À Djamel qui m'a beaucoup aidé tout au long de mon parcours universitaire et à toute sa famille.
- À mes amis(es) : Nassima, Célia, Ferial, Imene; pour leur soutien et bonne humeur. Ainsi à la promotion de Master II QPSA.

Kahina

Dédicace

Je dédie ce travail à

- Mes parents qui m'ont donné beaucoup de soutien et d'encouragement, symbolisant pour moi le sacrifice et la source d'où naît la lumière qui éclaire ma vie, et pour qui, aucune dédicace n'exprimera la profondeur de mon amour.
- Mon mari Ma profonde reconnaissance à mon cher époux pour son soutien sans, sa grande indulgence, ainsi que pour m'avoir dirigé vers le chemin de succès par sa compréhension et ses conseils .Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de mes profondes reconnaissances et mes grandes estime.
- Mon petit fils Abd-El-Matine, mes frères, mes sœurs, mes beaux-frères mes belles-sœurs et mes beaux-parents aussi pour leur véritable et sincère amour et à ma binôme Charif Kahina.
- Je vous souhaite, une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur.

Aussi

- A tous mes amis et collègues, pour les moments forts et agréables que nous avons passé ensemble et à tous ceux qui m'aiment et me souhaitent le bonheur, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et à l'élaboration de ce rapport.

Nassima

Liste des abréviations

GC : Gomme de caroube.

LBG : Locust Bean Gum.

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Qx : Quintaux.

SIN410 : Système International de Numérotation.

PC : Pectine

CF : Confiture de fraise

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1	Arbre de caroubier (photo prise à Toudja Bejaia)	03
Figure 2	Feuilles de caroubier (photo prise à Toudja Bejaia)	04
Figure 3	Inflorescence du caroubier (Sbay, 2008).	05
Figure 4	Fruit du caroubier A) Gousses vertes, B) Gousses murs (Photo prise à Toudja_Bejaia)	05
Figure 5	Coupe transversale de la gousse	06
Figure 6	Graines du caroubier	07
Figure 7	Distribution du caroubier dans le monde	09
Figure 8	Carte géographique de la distribution de caroubier en Algérie	10
Figure 9	Structure chimique de la gomme de caroube	21
Figure 10	Distribution des résidus galactoses sur la chaîne de mannoses.	23
Figure 11	Cinétique de solubilité de gomme de caroube	25
Figure12	Comparaison des courbes de viscosité des galactomannanes de caroube, de guar et de fenugrec.	26
Figure13	Etapas d'extraction de la gomme	28
Figure14	Figures d'extraction de la gomme de caroube par l'eau	29
Figure15	Gomme purifiée	30

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	page
Tableau I	composition chimique de la pulpe	11
Tableau II	Production de la caroube dans le monde d'après FAOSTAT (2018)	14
Tableau III	Composition chimique de la gomme de caroube.	20
Tableau IV	Différentes utilisations industrielles de la gomme.	31
Tableau V	Résultats des analyses physico-chimiques des confitures	34

Introduction

Introduction

Le mot "caroubier" venant de l'arabe *al kharroube*, connu sous le nom scientifique de *Ceratonia siliqua* L. qui désigne en grec *keratia* (*Ceratonia*) signifiant petite corne et le nom d'espèce *siliqua*, désigne en latin une siliqua ou gousse. Il est aussi appelé Carouge, Pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Egypte, fève de Pythagore (**Battle et Tous, 1997**).

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

La pulpe de la caroube est un substitut naturel du chocolat, qui est souvent grillée et broyée pour avoir une poudre de couleur marron à arôme de chocolat (**Kumazawa et al., 2002, Bengoechea et al., 2008**).

La gomme de caroube purifiée (SIN410) provenant de l'endosperme très utilisée dans la formulation de plusieurs aliments (alimentation, confiserie,..) la cosmétique et l'industrie pharmaceutique comme agent épaississant, gonflant, liant et stabilisant dans les préparations des émulsions (**Calixto et Canellas, 1982 ; Sandolo et al., 2007**).

En Algérie, la caroube est soit consommée directement comme fruit, soit broyée après avoir éliminé les graines, et la farine obtenue est mélangée avec de l'huile d'olive pour former ce qu'on appelle 'Tomina', même le couscous peut être préparé. Malgré l'engouement et l'intérêt qui sont portés à ce fruit depuis quelques décennies, peu d'études sont disponibles sur l'incorporation de la gomme de caroube dans les produits alimentaires (**Mekhoukhe, 2018**).

Introduction

L'objectif de ce travail est d'étudier, au regard de la bibliographie, la composition de la gomme de caroube, ses propriétés fonctionnelles (solubilité et viscosité) ainsi son possible application comme additif dans les produits alimentaires (confiture).

I. Généralités sur la caroube

I.1. Aspect botanique

Le caroubier est un arbre ou arbuste dioïque qui possède une cime très étalée et un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 mètres de circonférence et pouvant atteindre une hauteur de 15 m (**Rejeb *et al.*, 1991**). Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune, brune et rugueuse à l'âge adulte (Figure 1). Il est doté un système racinaire pivotant qui pénètrent dans le sol et peut atteindre une profondeur de 18 m ou même plus, très ramifiée en surface (**Albanell, 1990 ; Melgarejo et Salazar, 2003**). Son bois de couleur rougeâtre est très dur, il vit longtemps jusqu'à 200ans (**Ait Chitt *et al.*, 2007**).



Figure 1: Arbre de caroubier (photo prise à Toudja Bejaia)

Les feuilles persistantes, de longueur de 10 à 20 cm (Figure 2), se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant de 8 à 15 folioles, opposées, de 3 à 7 cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert sombre brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (**Ait Chitt *et al.*, 2007**), Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai (**Ait Chitt *et al.*, 2007**).

Généralités sur la caroube



Figure 2 : Feuilles de caroubier (photo prise à Toudja Bejaia)

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, plus courtes que les feuilles à l'aisselle des quelles elles se sont développées (**Batlle et Tous, 1997**).

Les fleurs mâles possèdent cinq sépales bien développés ou rudimentaires selon les variétés et présentent des nectars à leur base soudés aux sépales formant un disque charnu (3-5 mm de diamètre, couleur verte) (Figure3 A). Le nombre des étamines est généralement de 5 mais il est fréquemment possible de trouver des anomalies de la symétrie pentamère (4, 6, 8 étamines) (**Albanell, 1990**). Les fleurs femelles ont un pistil plus ou moins long, courbe en forme de légume d'un ton blanc-verdâtre avec un style court et épais et un stigmate persistant très épais de couleur vert riche en mucilage (Figure3 B). Le pistil est entouré par un disque résultant de la soudure des pétales rudimentaires, le disque nectarifère est entouré par cinq sépales pileux et présente quelques étamines rudimentaires à son sommet (**Albanell, 1990**).

Généralités sur la caroube



A) Inflorescence male

B) Inflorescence femelle

Figure 3 : Inflorescence du caroubier (Sbay, 2008)

Les fruits sont réunis en grappes simples. Ce sont des gousses indéhiscentes nommées caroubes, de grande taille: 10 à 30 cm de longueur, 1,5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2 cm d'épaisseur. Chaque caroube pèse environ 15 à 30 grammes. La gousse est séparée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et renferme 12 à 16 graines brunes dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm. Ces graines, toutes d'un poids identique devenant très dures à maturité, la couleur de la caroube est d'abord verte (Figure4 A), puis elle devient brune foncée à maturité (Figure4 B) (Evreinoff, 1948 ; Rejeb, 1995 ; Batlle et Tous, 1997).



A)

B)

Figure 4 : Fruit du caroubier A) Gousses vertes, B) Gousses murs
(Photo prise à Toudja_Bejaia)

Généralités sur la caroube

La pulpe est constituée de péricarpe ou peau (Figure5), de nature fibreuse et coloré, de mésocarpe ou pulpe, de nature charnue, riche en sucres. Il représente environ 70 à 95% du fruit entier, et enfin d'endocarpe, de nature fibreuse ; il recouvre l'intérieur du fruit en le divisant en segments ou loges carpellaires où se situent les graines) (**Caja, 1985**). Cette pulpe très sucrée, nutritive, rafraîchissante est très appréciée par la population de la région méditerranéenne (**Evreinoff, 1947 ; Batlle et Tous, 1997**).



Figure 5 : coupe transversale de la gousse (photos prises au Laboratoire Biotechnologie université de Bejaia)

Les graines se caractérisent par une texture très dure, comprimées, ayant la forme ovale oblongue, une couleur brunâtre et brillante, dont la longueur et la largeur varie de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm et de 3 à 5 mm d'épaisseur (**Martindale, 1989; Batlle et Tous, 1997**).

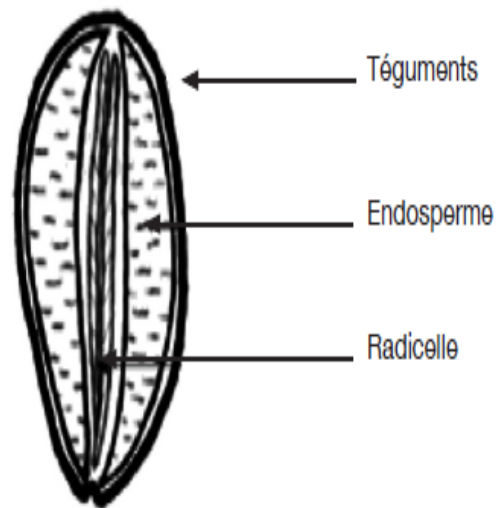
D'après (**Melgarejo et Salazar, 2003**) La graine du caroubier (Figure6 A) est composée de trois parties (Figure6 B) :

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

Généralités sur la caroube



A) Photo prise au laboratoire
biotechnologie université de Bejaia.



B) Coupe transversale d'une graine de
caroube (**Dakia et al., 2008**).

Figure 6: Graines du caroubier

I.2. Classification

D'après **Quezel et santa (1963)**, le caroubier est classé comme suite :

- Règne *plantae*
- Division *Spermatophytes*
- Classe *Dicotylédones*
- Sous-classe *Rosidae*
- Ordre *Fabales*
- Famille *Fabaceae*
- Genre **Ceratonia L.**
- Nom binomial **Ceratonia siliqua L.**

Généralités sur la caroube

I.3. Origine et répartition géographique

I.3.1. Origine

Le lieu d'origine du caroubier demeure incertain. **Schweinfurth (1894)** a insinué qu'il est originaire du Sud de l'Arabie (Yémen). Cependant, **Zohary (1973)** a considéré le caroubier comme originaire de la flore d'Indo Malaisie, groupé avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus*. D'autres auteurs, comme **Vavilov (1951)** et **De Candolle (1983)**, ont rapporté qu'il serait natif de la région Est méditerranéenne (Turquie et Syrie). Le caroubier était connu dans le proche Orient et les îles de la Méditerranée. En Egypte, les pharaons utilisaient la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIe siècle avant J.C). 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 (**Battle 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 est également implanté dans plusieurs autres pays, ayant des régions à climat méditerranéen comme l'Australie, l'Afrique du Sud, les États-Unis (notamment l'Arizona et la Californie du Sud), les Philippines et l'Iran (**Evreinoff, 1947**).

I.3.2 Répartition

Le caroubier est distribué dans toute la région du bassin méditerranéen (Figure7). On le rencontre actuellement dans une zone allant de l'Espagne et du Portugal jusqu'en Turquie, en Syrie, en passant par le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Lybie, l'Egypte, le Liban, la Grèce, l'Italie et la France. Plus récemment, le caroubier a été introduit dans de nombreux autres pays à climats chauds et semi-arides, principalement aux Etats-Unis (Floride et Californie), l'Australie et l'Argentine, l'Arizona, le Chili, le Mexique et l'Afrique du Sud (**Battle et Tous, 1997**).

Généralités sur la caroube

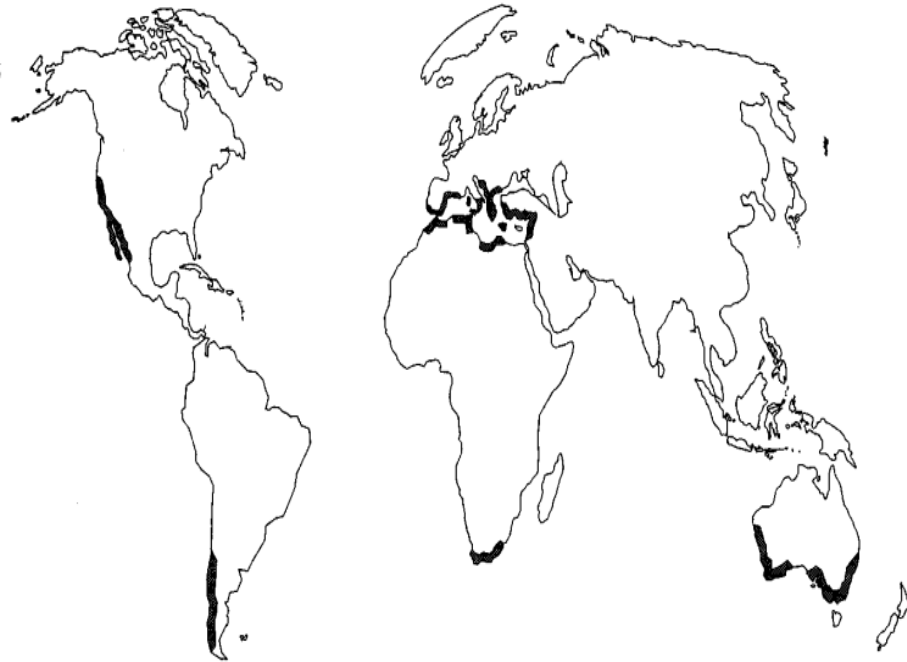


Figure 7 : Distribution du caroubier dans le monde (**Batlle et Tous, 1997**)

En Algérie sa distribution peut être effectuée selon deux critères, climatique et production. La distribution de caroubier en Algérie (Figure 8), suivant le critère de production ; Bejaia, Blida, Tipaza, Boumerdés, Ain-Defla, Bouira, Tlemcen, Mila, Mascara, Tizi Ouzou, B.B.Arreridj. Suivant le critère climatique; on a établi l'aire de répartition ; les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales: Sahel algérois, Dahra, Grande-Kabylie et Petite-Kabylie, vallée de la Soummam (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) (**Quezel et Santa, 1962**).

Généralités sur la caroube

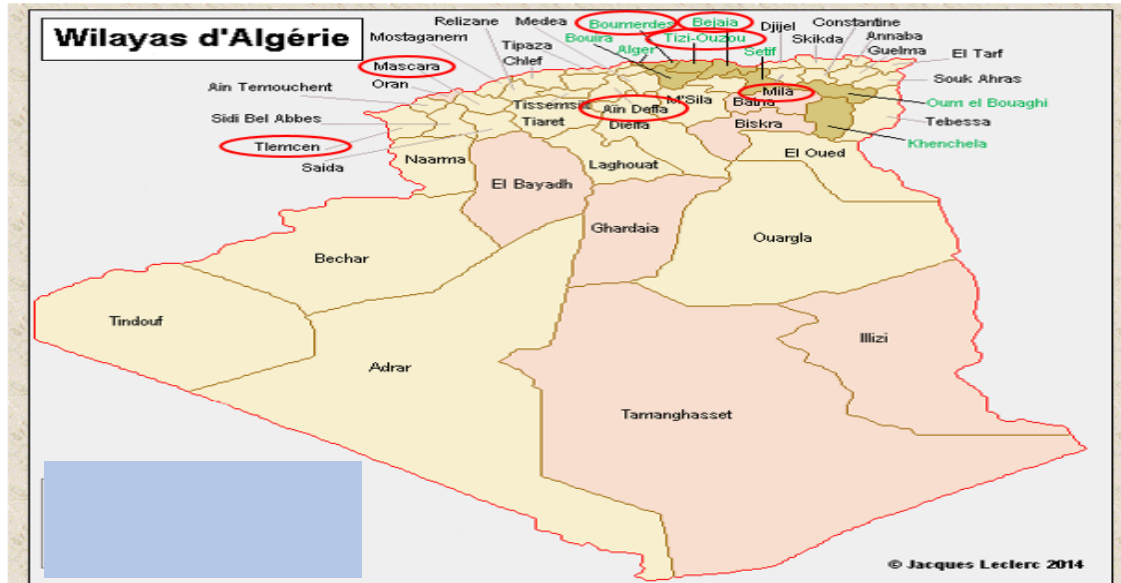


Figure 8 : Carte géographique de la distribution de caroubier en Algérie

(<https://www.axl.cefan.ulaval.ca/afrique/algerie-wilayas.htm>)

I.4. Types de caroubier

Il existe deux types de caroubier, l'un sauvage ayant un rendement intéressant en graines et l'autre cultivé. Assurément, les types sauvages sont connus pour leur taux élevé en graines et leur faible teneur en pulpe (**Marakis *et al.*, 1988; Di Lorenzo, 1991**). De plus, elles sont caractérisées par des péricarpes non charnues (**Tous *et al.*, 1995; Battle et Tous, 1997; Gharnit *et al.*, 2001**). En contrepartie, les gousses de types cultivés sont d'après **Battle et Tous (1997)** plus charnues et plus riches en sucre et sont amplement utilisées comme matière première pour la production des sirops. La domestication de certains arbres sauvages non cultivés a été pratiquée dans le but d'augmenter le rendement en graines et la qualité de la gomme pour l'exploitation industrielle (**Batista *et al.*, 1996 ; Makris et Kefalas, 2004**).

I.5. Condition de culture

Le caroubier est décrit comme une plante à grande adaptabilité au région du bassin méditerranéen (**Battle et Tous, 1997; Zengin *et al.*, 2008**), caractérisé par des conditions climatiques semi-aride méditerranéennes. Les caroubiers ont un système profondément enraciné permettant une adaptation aux différents types de sols et conditions de salinité (**Obeidat *et al.*, 2011**). Pour cela, ils poussent mieux dans les sols calcaires et de préférence les zones côtières proches de la mer. Cependant, le caroubier peut être endommagé par des

Généralités sur la caroube

températures basses inférieures ou égales à -4°C et ne peut survivre à des températures -7°C . Par contre, il peut subir des températures estivales de 40°C accompagnées de vents secs et chauds sans être visiblement affecté. Par ailleurs, pour une maturation complète, les caroubes ont besoin d'une exposition total de 5000 à 6000 heure à des températures supérieures à 9°C , (**Battle et Tous, 1997**).

I.6. Composition chimique de la caroube

Le fruit de la caroube est un mélange complexe de métabolites primaires et secondaires avec la présence de sucres et de fibres étant caractéristiques de ces fruits, suivis d'une grande diversité de polyphénols, de nombreux minéraux et acides aminés peuvent être également présents. La pulpe et les graines sont les deux principaux constituants de la caroube et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total (**Goulas et al., 2016 ; Mekhoukhe et al., 2018 ; Van Rijs et Fogliano, 2020**).

I.6.1. Pulpe

La composition chimique de la pulpe dépend généralement, du cultivar, de l'origine et parfois de la période de récolte (**Orphanos et Papaconstantinou, 1969; Vardar et al., 1972; Calixto etCañellas, 1982; Albanell et al., 1991**). Elle contient des glucides, ainsi que des fibres alimentaires (Tableau 1), des tanins et des polyphénols (**Papagiannopoulos et al., 2004 , Makris et Kefalas, 2004**).

Tableau I : composition chimique de la pulpe

Constituant	Proportion en (%)	Références
Sucres totaux	45 à 52	Albanell et al., 1991 ; Goulas et al., 2016
Saccharose	65-75	Avallone et al.,1997 ; Goulas et al., 2016
Glucose	1,5 à 17,4	Avallone et al.,1997; Battle et Tous, 1997
Fructose	1,8 à 17,9	Avallone et al.,1997 ; Gubbuk et al., 2010;
Fibres	7,6 à 10,8	Shawakfeh et erifej, 2005
Protéines	2 à 7	Ayaz et al., 2007
Cendres	2 à 3	Albanell et al., 1991
Lipides	0,5 à 1	Avallone et al.,1997
Polyphénols totaux	16 à 20	Avallone et al.,1997

Généralités sur la caroube

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%.

D'après **Saura-Calixto (1982)** ; **Avallone et al. (1997)** et **Rababah et al. (2013)**, la pulpe charnue est très riche en sucre (48-72%), principalement, le saccharose, suivi par le glucose et le fructose et le maltose.

Elle contient une faible teneur en protéines (2-6%). D'après **Ayaz (2009)**, la farine de gousse de caroube broyée contient à peu près 4,45% de protéines: aspartique (acide aspartique + asparagine), alanine, acide glutamique (acide glutamique + glutamine), leucine et valine; ensemble, elles représentent 57% de la teneur en acides aminés total des gousses. Tandis que des teneurs négligeables en lipides (0,4-0,6%) ont été détectées dans la pulpe par **Youssef et al. (2013)**

La pulpe contient également des inositols, qui sont des polyols de cyclohexane avec la formule empirique (C₆H₁₂O₆) (**Campbell et al., 2011**). Ils ont été isolés dans diverses plantes à l'instar les légumineuses comestibles, le soja, les arachides et la caroube sont considérés comme de bonnes sources d'inositols (**Schweizer et al., 1978; Clements et Darnell, 1980 ; Baumgartner et al., 1986**)

La fibre de caroube est unique dans sa composition compte tenu de la présence de fortes quantités de polyphénols principalement des tanins. La teneur en fibres totaux est généralement rangée entre 30 à 40 % (**Haber, 2002**).

L'analyse minéralogique réalisée par **Puhan et wielinga (1996)**, **Youssef et al. (2013a)** de la pulpe a révélé une teneur appréciable en minéraux (en mg/100g de pulpe) K= 1100, Ca= 307, Mg= 42, Na= 13, Cu= 0.23, Fe= 104, Mn= 0.4, Zn= 0.59.

I.6.2. Graines

La graine est composée essentiellement d'antioxydants et de polysaccharides. Elle est exploitée depuis l'antiquité comme mesure de pierres précieuses et semble également avoir été utilisée par les pharmaciens pour peser leurs ingrédients (le carat) (**Batlle et Tous, 1997**).

Généralités sur la caroube

Des travaux réalisés par **Bouzouita *et al.* (2007)** ont révélé que la graine est pauvre en minéraux, en fibres, en glucides, en revanche elle renferme une teneur non anodine de lipides majoritairement les insaturés et très riche en protéines (50%).

Wang *et al.* (2001) ont pu extraire une protéine dite ; caroubine, insoluble dans l'eau isolée à partir d'embryons de caroube. Elle correspond à un mélange de protéines polymérisées de tailles dissemblables. **Wang (2001) ; Smith (2010)** rapportent que ce type de protéine possède les mêmes propriétés rhéologiques que le gluten. Cependant, la caroubine possède une structure plus ordonnée avec des changements mineurs dans la structure secondaire lorsqu'elle est hydratée. Ces molécules pourraient être utilisées comme ingrédients sains dans les aliments nutraceutiques et peuvent constituer une nouvelle source d'aliments pour de différents secteurs de population notamment les intolérants au gluten (**Bengoechea *et al.*, 2008**). Elle contient également des polysaccharides essentiellement galactomannane connu sous le nom de gomme de caroube (**García-Ochao et Casas, 1992 ; Lizardo *et al.*, 2002**).

Des investigations opérées par **Mekhoukhe *et al.* (2018)**, la graine est riche en polyphénols, notamment les tanins. D'après **Batista *et al.* (1996)** sur la cuticule ou l'enveloppe, elle contient des antioxydants. Ces antioxydants naturels n'est autre que les polyphénols naturellement présentes dans l'enveloppe de la graine, qui sont valorisables dans l'industrie alimentaire (**Makris et Kefalas, 2004**).

I.7. Production mondiale

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 essentiellement méditerranéenne, est estimée à 144960 tonnes dont les principaux producteurs (Tableau 2) sont Portugal 41734 tonnes, l'Italie 36951 tonnes, Maroc 21974 tonnes, Grèce 12216 tonnes, Turquie 15506 tonnes (**FAOSTAT, 2018**).

Généralités sur la caroube

Ainsi, le Portugal étant le plus grand pays producteur 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 et Pinilla, 1995 ; Matthausa et Ozcan, 2011**).

Selon les statistiques fournies par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture **FAOSTAT, (2011)**, la superficie totale récoltée de la caroube dans le monde est estimée à 42866 ha (tableau) desquels 13196 ha sont répartis en Portugal avec un rendement 31626 ha/ha. La différence en rendement dépend de la récolte, de la région et des pratiques de culture (**Makris et Kefalas, 2004**). Ainsi, La grande variabilité phénotypique au sein et entre les cultivars a d'importantes implications pour la sélection, la création de nouvelles plantations et l'optimisation de la productivité de cette culture (**Battle et Tous, 1997**).

Tableau II : Production de la caroube dans le monde d'après **FAOSTAT (2018)**

Pays	Production (tonnes)
Algérie	2880
Chypre	7460
Croatie	462
Espagne	2268
Grèce	12216
Israël	364
Italie	36951
Jordanie	0
Liban	1906
Malte	- M
Maroc	21974
Mexique	300
Portugal	41734
Slovaquie	- M
Tunisie	812
Turquie	15506
Ukraine	128
Total	144960

_M : donnée non disponible

I.8. Production en Algérie

La superficie totale cultivée du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 809 ha en 2016 (FAOSTAT). D'après **FAO (2010)**, la superficie était en 2009 de 927 ha dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia.

La superficie récoltée de caroube est de 789 ha avec un rendement de 36507 ha/ha 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%). Malgré son vaste territoire et ses capacités, l'Algérie est à la traîne parmi les pays producteurs de caroube, derrière le Portugal, l'Espagne, le Maroc, l'Italie, Turquie et les autres pays producteurs.

L'Algérie a connu une petite progression de production de caroube de 2865 tonnes en 2011 (**FAO ,2016**) à 2880 tonnes en 2018 (**FAOSTAT, 2018**).

I.9. Importance écologique

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est une espèce agro-sylvo-pastorale ayant d'énormes intérêts socio- économiques et écologiques, grâce à ses propriétés d'adaptation poussées aux contraintes hydriques (**Battle et Tous, 1997 ; Saidi et al., 2007 ; Sbay, 2008**).

Cette espèce ligneuse joue un rôle vital dans la protection de l'environnement ; peut être exploitée comme étant une ressource précieuse de reforestation pour gérer l'érosion des terres marginales non adaptés à d'autres espèces agricoles, dans le reboisement des zones arides et dégradées (**Barracosa et al., 2007 ; Sbay, 2008**).

Compte tenu de sa couronne sphérique et de son feuillage persistant, dense et brillant, le caroubier est utilisé également comme arbre ornemental et comme brise-vent (**Benmahioul et al., 2011**). Elle est utilisée également comme espèce fourragère, aromatique et médicinale (**Sbay, 2008**).

I.10. Importance économique

Le caroubier se révèle actuellement l'arbre le plus performant parmi les arbres fruitiers et forestiers puisque toutes les parties de l'arbre (feuille, fleur, fruit, bois, écorce et racine) sont utiles, notamment le fruit (**Aafi, 1996**). Il présente un intérêt de plus en plus vif en raison non seulement de sa rusticité, son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, son système racinaire très développé, son bois de qualité, mais surtout de ses fruits qui font l'objet de transactions commerciales annuelles dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (**Sbay, 2008**). 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 en industrie agro-alimentaire (amélioration de la texture des aliments), diététiques, pharmaceutique, cosmétique et en d'autres applications (**Correia et Martins-Loucao, 2005**).

La gomme de caroube obtenue à partir des graines de gousses est d'une grande importance dans l'industrie alimentaire (**Gonçalves et al, 2005**). Selon des études récentes, 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 ; Turhan et al., 2010**). Par ailleurs, ses gousses utilisées en industrie alimentaire et pharmacologique sont plus riches en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière (**NAS, 1979 ; Batlle, 1997 ; Markis et Kefalas, 2004**).

La floraison du caroubier pendant l'été, constitue une source d'alimentation pour les abeilles et une ressource de plus en plus exploitée par les apiculteurs. Le miel du caroubier est de très bonne qualité. Le bois est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage (**Battel et Tous, 1997**).

I.11. Utilisations alimentaire et non alimentaire

Le caroubier est cultivé depuis longtemps pour divers usages. Toutes les composantes du caroubier étant utilisées, il ne génère pratiquement pas de déchets.

Généralités sur la caroube

I.11.1 Domaine alimentaire

Le caroubier est cultivé depuis longtemps pour divers usages. Ses fruits sont comestibles et sucrés. On tire de la caroube deux principaux produits. La farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est employée surtout en agro-alimentaire comme antioxydant grâce à sa composition riche en polyphénols et pour la production industrielle de bioéthanol et d'acide citrique (**Rejeb *et al.*, 1991 ; Youssif *et al.*, 2000 ; Makris et Kefalas, 2004 ; Dakia *et al.*, 2007**). En raison sa composition unique, l'incorporation de la poudre de caroube dans les produits alimentaires croit considérablement les fibres diététique et le polyphénols sans modifier leur teneurs en matières grasses (**Makris *et al.*, 2007; Durazzo *et al.*, 2014**).

La pulpe est utilisée comme substituant de poudre de cacao, cette dernière après être débarrassée des graines, broyée, elle est subie d'une torréfaction (traitement à haute température), produisant une poudre ou farine de couleur marron à arôme de chocolat (**Yousif, 2000; Kumazawa *et al.*, 2002; Ayaz, 2007; Bengoechea *et al.*, 2008**). **Fadel et ses *al.* (2006)** ont établi qu'un substitut de cacao peut être préparé en utilisant des sources de plantes comestibles, qui est un mélange de poudre de caroube et racines de chicorée contenant des précurseurs appropriés pour la génération d'arôme de cacao.

La farine de germe de caroube est une farine extraite à partir du germe de graine, considéré comme un sous-produit exploité dans l'industrie alimentaire destiné à la consommation humaine en raison de sa teneur en acides aminés bien équilibrée (**Puhan et Wielinga, 1996 ; Feillet et Rolland, 1998, Wang *et al.*, 2001**).

En outre les gousses de caroube sont principalement utilisées au Liban, pour extraire la mélasse ou «débés», Le tourteau de caroube broyé ou haché est aussi utilisé comme substitut de la tourbe pour les plantes en pépinière (**Rishani et Rice, 1988**). Une autre utilisation des caroubes est la fabrication d'un produit laitier artisanal connu sous le nom de «mekika ». Ce produit est préparé par coagulation du lait avec l'extrait de gousses vertes de caroube. Il est spécifique de la région.

Généralités sur la caroube

En Egypte, les sirops élaborés à partir de la pulpe constituent une boisson populaire (**Battle et Tous, 1997**), les Arabes fabriquent avec la pulpe une boisson alcoolisée et les Kabyles fabriquent à partir du fruit un plat appelé tomina (**Bonnier, 1990**).

I.11.2 Domaine non alimentaire

I. 11.2.1 Thérapeutique et pharmaceutique

La caroube est considérée actuellement comme une plante d'investigation de nouveaux antioxydants naturels contenus dans la graine (**Mekhoukhe et al., 2018**) et la pulpe du fruit (**Ben Hsouna et al.1986 ; Custódio, 2011**). Cette activité antioxydante est attribuée à la présence de composés phénoliques et fibres (**Custódio, 2011**).

Les milieux de culture à base de sirop de caroube se sont avérés adaptés à la production de mannitol qui est largement utilisé dans le domaine pharmaceutique et industries chimiques (**Andrade et al., 1999**).

En plus de toutes ces vertus, l'étude entreprise par **Parrado et al. (2008)** a démontré que la gomme de caroube, peut être utilisé comme bio fertilisant.

I.11.2.2 Cosmétique

Dans l'une des applications industrielles, la gomme de caroube est utilisée en cosmétique (savons, crèmes, dentifrices, etc.) (**Calixto et Canellas, 1982 ; Sandolo et al., 2007**), pour son habilité à former une solution très visqueuse, à une faible concentration en raison de ses propriétés épaississantes, émulsifiantes et stabilisantes (**Multon, 1984 ; Goycoola et al., 1995 ; Stephen et al., 1995 ; Battle et al.,1997**).

I.11.2.3 Chimique

Certains travaux ont déjà dévoilé l'exploitation de la farine de caroube (gousses broyées) pour l'extraction du sucre (**Petit et Pinilla, 1995**), la fermentation de l'éthanol (**Roukas, 1993; Roukas, 1996**), et la production d'acide citrique (**Roukas, 1998; Roukas, 1999**). Les autres parties de la plante à savoir le bois, appelé carouge (**Rivière et Leco, 1900**)

Généralités sur la caroube

est très apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon et l'écorce et les racines sont employées dans le tannage.

I.12. Effets indésirables des produits de caroube

Des problèmes de palatabilité et de digestibilité peuvent être générés par l'ingestion de germe de graine de caroube (**Filiglou et Alexis, 1989**). En effet, le germe de graine de caroube détient des teneurs de tanins qui pourraient créer des problèmes dites palatabilité en raison de leur goût astringent (**Filiglou et Alexis, 1989**). De même l'utilisation de la caroube entière dans la consommation humaine est limitée en raison du niveau élevé de tanins (**Bate-Smith, 1973; Karkacier et Artik, 1995**).

Certains chercheurs affirment que des extraits de germe de graine de caroube peuvent diminuer l'activité trypsique (**Filioglou et Alexis, 1987**) et la digestibilité des protéines (**Filioglou et Alexis, 1989**). Toutefois, les substances anti nutritives, comme les inhibiteurs de la trypsine, généralement contenue dans les graines des légumineuses (**Weder, 1986**) peuvent être désactivée par chauffage. Selon **Martinez-Herrera et al. (2006)**.

II. Gomme de caroube

II.1. Description

La gomme de caroube (GC) connue également sous le nom de Locust bean gum (LBG) est une poudre blanche à blanc crémeux obtenue à partir de l'endosperme de graine de caroube, c'est un galactomannane qui n'est autre que le polysaccharide obtenu à partir de l'endosperme de la graine après élimination de la cuticule et du germe (Deuel et Neukom, 1954 ; Kök *et al.*, 1999 ; Dakia *et al.*, 2007 ; Kawamura, 2008 ; Zhu *et al.*, 2019).

Les galactomannanes sont des hémicelluloses (non-gélifiants) présentes dans le règne végétal, produits en quantités variables notamment dans l'endosperme d'une grande proportion de graines de légumineuses à l'instar *Ceratonia siliqua* (gomme de caroube), *Cyamopsis tetragonoloba* (gomme de guar) et *Caesalpinia spinosa* (gomme tara) (McCleary *et al.*, 1974 ; Mathur *et al.*, 2005 ; Zhu *et al.*, 2019).

II.2. Composition chimique

Les graines sont principalement composées de galactomannane, qui en comprend environ 80 à 85% le reste correspondant à des protéines et des impuretés (Bouzouita *et al.*, 2007 ; Dakia *et al.*, 2008) . La teneur en protéines de la LBG comprend environ 32% d'albumine et de globuline, tandis que les 68% restants correspondent à glutéline (Smith *et al.*, 2010). Les impuretés se réfèrent principalement aux cendres et à la matière insoluble dans l'acide (Kawamura, 2008).

Plusieurs investigations montrent que la composition chimique de GC purifiée est beaucoup plus faibles en comparaison à GC brute (Dakia *et al.*, 2008 ; Farahnaky *et al.*, 2014 ; Mekhoukhe *et al.*, 2018). Cette diminution est probablement tributaire d'après Da Silva *et al.* (1990) au traitement de purification appliqué qui permet d'éliminer la cellulose, la lignine et les lipides, ainsi que de diminuer considérablement les quantités de minéraux et de protéines.

Tableau III : Composition chimique de la gomme de caroube

Constituants	%
Galactomannane	80à85
Humidité	10à12
Protéines	5à6
lipides	0.5à0.9
Fibre brute	0.8à1
Cendres	0.5à1

Source : Barak et Mudgil, 2014.

Gomme de caroube

II.3. Structure chimique de la gomme

Les galactomannanes ont une structure générale semblable, constituée d'une chaîne de monomères dont chacune possède une chaîne principale de mannane sur laquelle il existe des ramifications d'une unité galactose (McCleary *et al.*, 1988 ; Richardson *et al.*, 1998).

Ils se distinguent par leur teneur en unité galactose exprimée par le rapport mannose sur galactose (M/G), par la répartition des unités galactose le long de la chaîne de mannane et aussi par leur masse molaire (Fox, 1992 ; Azero *et al.*, 2002). Cette différence dans la « microstructure » influencent fortement les interactions moléculaires (da Silva *et al.*, 1990 ; Mao *et al.*, 2006) et les propriétés rhéologiques des solutions de galactomannanes. En outre sont des polysaccharides hydrosolubles et neutres (Deuel et Neukom, 1954 ; Dea *et al.*, 1975 ; Dakia *et al.*, 2008).

C'est des polysaccharides de haut poids moléculaire constitués d'une chaîne linéaire de 1,4- D-mannose (Figure9) sur laquelle un seul D-galactosyle est attachée sur le carbone C6 du D-mannosyl (Deuel et Neukom, 1954 ; Lopes da Silva *et al.*, 1996 ; Pollard, 2007).

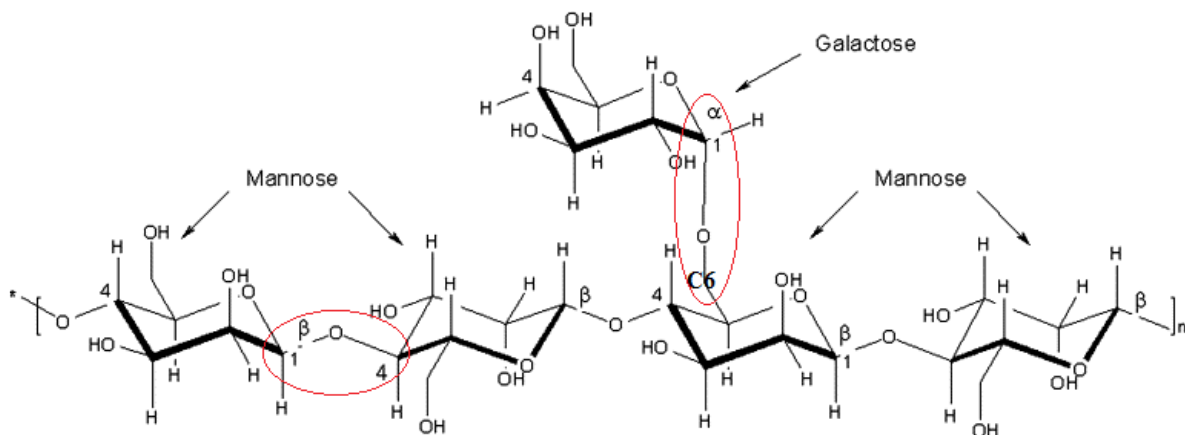


Figure 9 : Structure chimique de la gomme de caroube (Haddarah, 2013)

D'après McCleary (1986), la répartition des résidus de galactose s'est avérée irrégulière, (laissant des régions du mannose non substitué). Ces régions permettent probablement des interactions avec d'autres polysaccharides, telles que l'interaction synergique avec x-carraghénane (Sand, 1982 ; Srivastava et Kpoor, 2005), par opposition à la gomme de guar, qui n'a pas des régions de mannose non substituées (McCleary, Clark *et al.*, 1985; Kok 1999).

II.4. Rapport mannose/galactose

Il existe plusieurs types de galactomannanes de structure générale similaire, mais différents dans le nombre de galactose exprimé par le rapport mannose sur galactose (M/G).

LBG est polydisperse, étant donné qu'il est plus difficile à se disperser que d'autres galactomannanes en raison du rapport (M/G) élevé. Il existe donc plusieurs types de galactomannanes de structure générale similaire, mais différents dans le nombre de galactose exprimé par le rapport mannose sur galactose (M/G) (Dea et Morisson, 1975 ; Gaisford *et al.*, 1986 ; McClearly *et al.*, 1988 ; Pollard *et al.*, 2006).

Le rapport mannose/galactose (M/G) est généralement déterminé par une hydrolyse acide des galactomannanes suivie d'une dérivatisation des monosaccharides obtenus. Les dérivés sont ensuite analysés en chromatographie en phase gazeuse (Blakeney *et al.*, 1986) . Le rapport M/G peut varier de 10 à 1 en fonction de l'espèce végétale (Albersheim *et al.*, 1967). Les galactomannanes de caroube possèdent un M/G de 4, tandis que pour la gomme de guar et la gomme tara deux autres gommes commercialement importantes, il est de 2 et 3 respectivement (Albersheim *et al.*, 1967 ; Dakia, 2010 ; Gillet *et al.*, 2014). Le rapport M/G d'un galactomannane peut varier au sein des galactomannanes de caroube. Il est dépendant des conditions climatiques, de la composition du sol, de la variété de l'âge de l'arbre (Bargallo *et al.*, 1997 ; Dakia, 2009), et des conditions de culture (Bouzouita *et al.*, 2007 ; Rizzo *et al.*, 2004).

II.5. Répartition des unités galactose

Plus que le rapport M/G, la répartition des unités galactose peut influencer considérablement les propriétés des galactomannanes en solution aqueuse (Dea et Morisson, 1975 ; Pollard et Fischer, 2006 ; Dakia *et al.*, 2014).

Différents types de répartition, existant dans la nature, ont été proposés dans la littérature : la disposition régulière, la disposition aléatoire et la disposition en blocs uniformes (Figure10) (Dea et Morisson, 1975 ; Mc Cleary *et al.*, 1985).

Gomme de caroube

réalisées par ultracentrifugation analytique (**Gaisford et al., 1986**). Alors que d'autres estiment ainsi, par chromatographie d'exclusion stérique la masse moléculaire moyenne en masse M_w , à environ 1 000 000 Daltons de la gomme de caroube dans de l'eau (**Pollard et al., 2007**).

II.7. Comportement rhéologique de la gomme de caroube

La rhéologie (du grec rheo, couler et logos, étude), est la science qui étudie l'écoulement (dans les liquides) et la déformation (solide ou semi-solide) de la matière sous l'effet de la force appliquée et la rupture des corps sous l'effet d'une contrainte (**Borzacchiello et al., 2017 ; Moris, 2017 ; Taguet, 2020**). Le comportement rhéologique des polymères est spécifiquement investigué afin d'étudier la structure et la disposition spatiale des macromolécules qui nous renseigne sur les différentes interactions intra et intermoléculaires. De plus, des mesures rhéologiques sont effectuées sur les polymères afin d'évaluer leur comportement lors du traitement (**Rasavi et Irani, 2019 ; Taguet, 2020**).

La gomme pure peut être plus sensible à la dégradation, sous l'influence de la température, que la gomme non pure car cette dernière contient des matières qui protègent le galactomannane de la dégradation (**Kök et al., 1998**). Par ailleurs, La gomme de caroube seule ne forme jamais un gel mais elle peut former des solutions stables très visqueuses à des concentrations très faibles (<1%) grâce à ses fortes capacités de rétention d'eau (gonfler avec l'eau) non assimilable par l'organisme (**Battle et Tous, 1997, Pollard, 2006**).

II.7.1. Solubilité

D'un point de vue pratique, la solubilité en solution aqueuse des galactomannanes de caroube s'exprime par le biais d'un pourcentage mesurant la proportion du produit restant en solution suite à une centrifugation (**Deuel et Neukom, 1954 ; Dakia et al., 2008**). Cette solubilité dépend des dissolutions préalables, de l'équilibre entre les interactions molécules et molécules-solvant, de la nature physico-chimique des molécules ainsi que de l'état physique de la matière (**Dakia et al., 2008 ; Dey et al., 2012**).

II.7.1.1. Effet de la température

Les galactomannanes de caroube sont généralement considérés comme partiellement solubles (**Richardson et al., 1990**), voire faiblement à basse température (**Rinaudo, 2001**) et doit être chauffée pour atteindre une solubilité maximale.

Gomme de caroube

En effet d'après **Dakia et al. (2007)**, la gomme de caroube est partiellement soluble à l'eau froide 25°C (50%/ 1h) et doit être chauffé (Figure11) pour atteindre une solubilité maximum à 80°C (90% /1h). En règle générale, la solubilité de la gomme de caroube n'excède pas 90%.

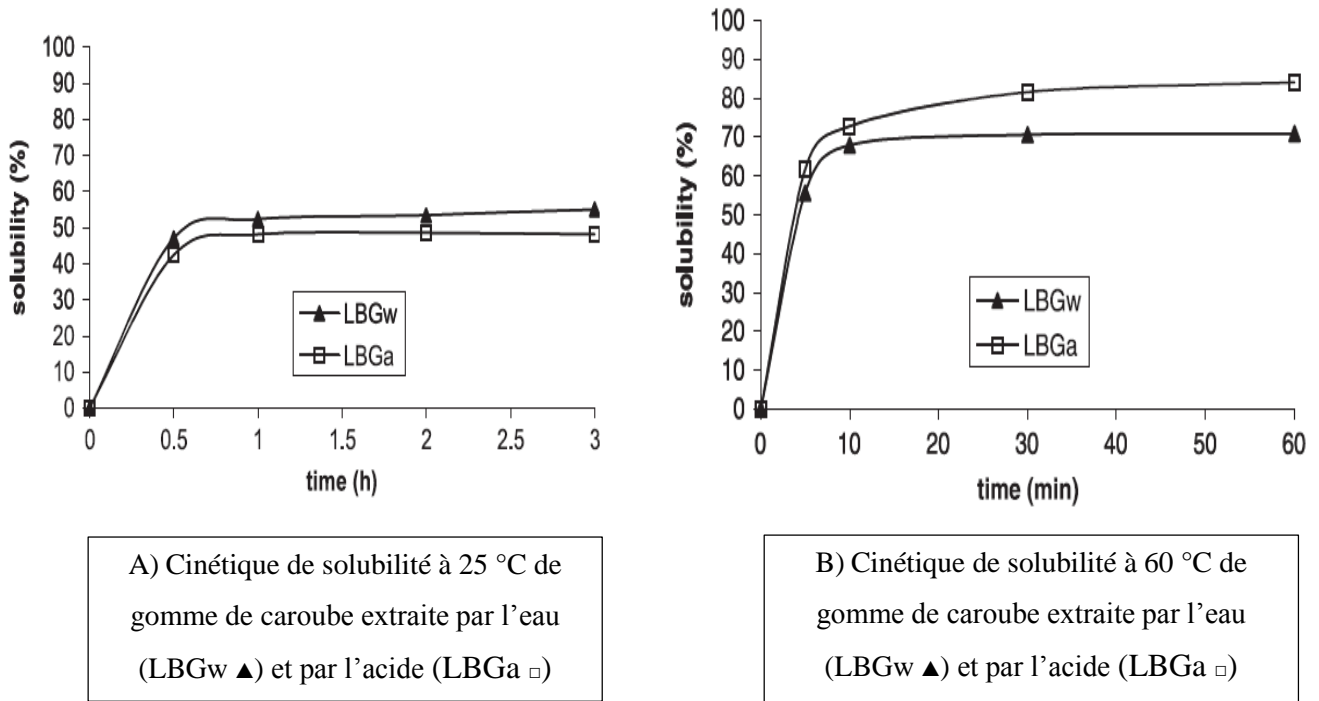


Figure 11 : Cinétique de solubilité de gomme de caroube extraite par a) l'eau (LBG w) et b) par l'acide (LBG a) (**Dakia et al., 2008**), (LBG w) :Gomme de Caroube extraite à l'eau chaude, (LBG a) Gomme de Caroube extraite à l'acide

II.7.2. Viscosité

Les galactomannanes sont commercialisés et conservés sous forme de poudre. Lors de la mise en solution, les macromolécules contenant plus de résidus galactose seront plus facilement solubles à froid.

C'est le cas du guar (M/G = 2:1) avec 40 % de galactose, qui atteint sa solubilité et sa viscosité maximum à partir de 40 °C. Par contre, les macromolécules peu ou pas ramifiées sont difficilement solubles et entraînent parfois la formation d'amas de polymères (grumeaux) très difficilement accessibles au solvant. Un chauffage (sous agitation forte) sera alors nécessaire pour atteindre une solubilisation et une viscosité maximum. C'est le cas de la caroube (M/G = 4:1) qui, avec 20 % de teneur en galactose, atteint sa solubilité et sa viscosité maximum à 80 °C (**Doublier, 1975 ; Gaisford et al., 1986 ; Kök et al., 1999 ; Dakia et al., 2008**).

Gomme de caroube

La figure12 présente les courbes de viscosité de solutions de différents galactomannanes. Ces courbes sont typiques des liquides rhéofluidifiants, c'est-à-dire que la viscosité apparente (en Pa.s) diminue lorsque la vitesse de cisaillement (en s^{-1}) augmente. En effet, sous la contrainte du cisaillement imposée, les macromolécules de galactomannanes se déchevêtrent plus ou moins rapidement suivant la densité des enchevêtrements et la force des interactions pour s'orienter dans la direction du flux. Cette réorganisation des molécules se traduit par une baisse de la viscosité (**Brummer et al., 2003 ; Sittikijyothin et al., 2005 ; Mao et al., 2006**).

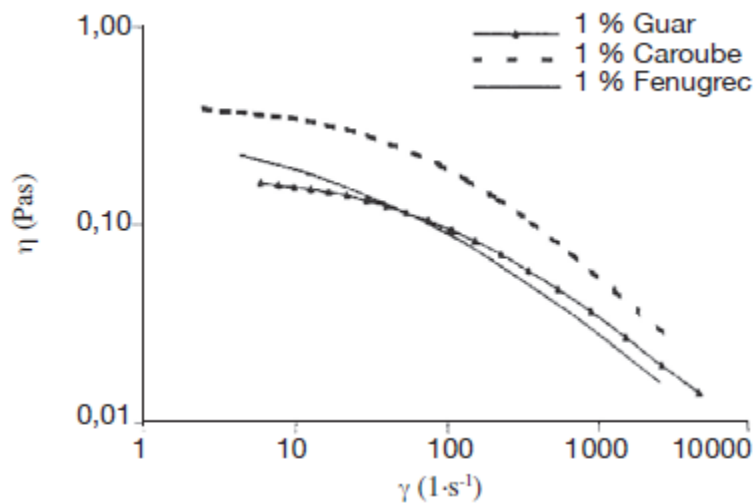


Figure 12 : Comparaison des courbes de viscosité des galactomannanes de caroube, de guar et de fenugrec (**Brummer et al., 2003**), À 25 °C et à 1 % de concentration en masse dans de l'eau distillée

La Figure12 montre, en outre, que pour une même concentration ($C = 1 \%$), la courbe de viscosité de la gomme de caroube ($M/G \sim 4:1$) est au-dessus de celle des gommes de guar ($M/G \sim 2:1$) et de fenugrec ($M/G \sim 1:1$), traduisant une viscosité plus élevée avec la caroube. Cette observation traduit, selon les auteurs, la présence d'interactions plus importantes dans la solution de la caroube, du fait de ses nombreuses « zones lisses » (**Brummer et al., 2003**).

II.8. Extraction de la gomme de caroube

Les galactomannanes de caroube sont fort recherchés par l'industrie alimentaire pour leurs propriétés texturantes. Dans ce but, l'endosperme de la graine de caroube peut être extrait et broyé pour donner naissance à une poudre blanche commercialisée sous le nom de « gomme de caroube ».

Gomme de caroube

Le procédé d'extraction utilisé doit veiller à ne pas dégrader les galactomannanes afin que leurs propriétés technofonctionnelles demeurent intactes, tout en garantissant une certaine pureté à la gomme obtenue. Ces grains sont difficiles à traiter, car l'enveloppe de la graine est très résistante et dure. Par des procédés spéciaux, les grains sont pelés sans endommager l'endosperme et le germe (**Dea et Morrison, 1975 ; Dakia et al., 2008 ; Kawomura, 2008 ; FAO, 2016**).

Il existe principalement deux procédés; chimique (traitement à l'acide sulfurique) et thermomécanique (traitement à l'eau bouillante et la torréfaction) permettant la séparation des endospermes des autres parties de la graine (enveloppes et radicules) (**Dakia et al., 2008 ; Kawomura, 2008 ; Prajapati et al., 2013**).

II.8.1.Procédé chimique

II.8.1.1.Traitement à l'acide sulfurique

Le traitement consiste à carboniser les enveloppes coriaces des graines de caroube à l'aide d'acide sulfurique / eau (H_2SO_4 / H_2O) à $60\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 60 min (**Dakia et al., 2008 ; Mekhoukhe et al., 2018**). Un lavage et un brossage permettent l'élimination des fragments restants est conseillé par immersion dans l'eau pendant 24 h (Figure13). Ce processus permet l'obtention d'une gomme de caroube blanche et de haute viscosité (**Kawamura, 2008**). Toutefois, ce traitement fractionne et altère partiellement l'endosperme dans ses caractéristiques physiques et chimiques (**Dakia et al., 2008**). **Battle et Tous (1997)** ont rapportés un rendement d'extraction de la gomme brute variant de 42 à 46%, alors que **Dakia et al. (2008)** ont révélés un taux de 43%, en contrepartie, **Mekhoukhe et al. (2018)** ont énoncés un taux de 46,04 %.

Gomme de caroube

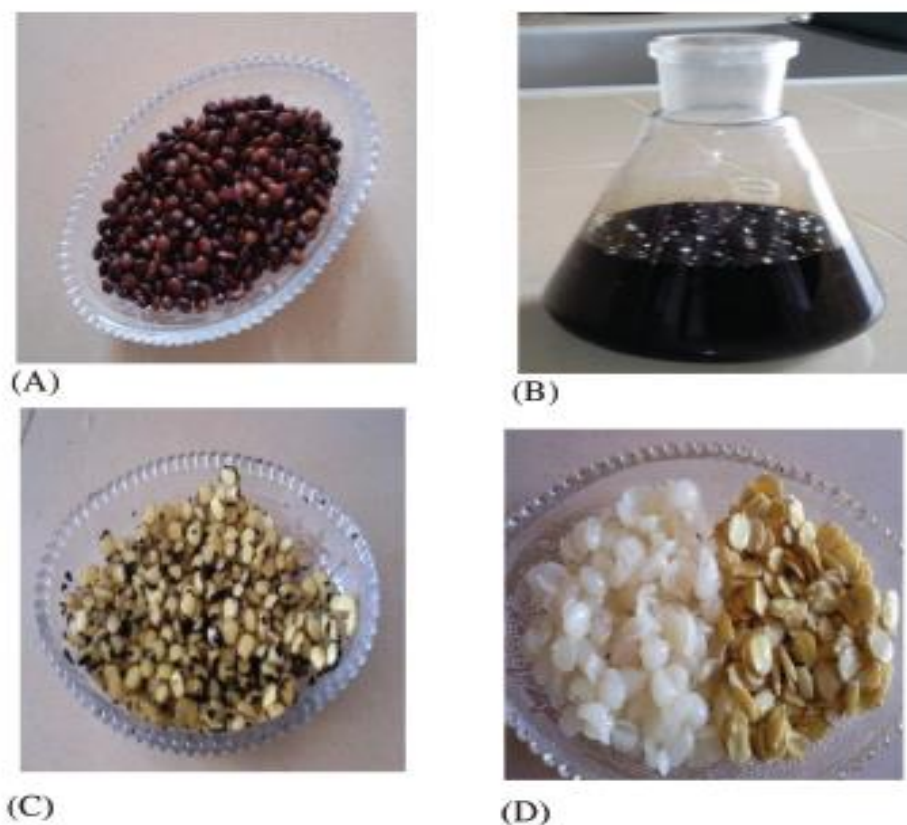


Figure 13: Etapes d'extraction de la gomme (A) graines de caroube, (B) carbonisation des graines, (C) graines sans cuticules, (D) graines après précipitation à alcool (**Mekhoukhe et al., 2018**)

II.8.2. Procédé thermomécanique

II.8.2.1. Traitement à l'eau bouillante

Ce procédé repose sur le trempage des graines dans de l'eau bouillante (100°C) pendant un certain temps. Les graines ainsi absorbent de l'eau et gonflent. Les enveloppes et le germe sont manuellement séparés, les endospermes sont séchés, broyés et tamisés pour obtenir une farine de gomme brute (Figure 14) (**Dakia et al., 2008 ; Kivrac et al., 2015 ; Shittu et Adebayo, 2016**). **Dakia et al. (2008)** ont rapportés un rendement d'extraction de 56% alors que **Farahnaki et ses collaborateurs (2014)** ont énoncés un taux de 66,34%.

Gomme de caroube



Figure 14 : (A) Graines de caroube non extraite, (B) Graines extraite par l'eau (C) graines sans cuticules enlevée par l'eau (D) endosperme séché après extraction à l'eau (E) gomme de caroube extraite par l'eau (**Kivrak *et al.*, 2015**)

II.8.2.2. Torréfaction

Ce procédé repose sur l'éclatement plus ou moins complet de l'enveloppe par rôtissage à haute température. Celle-ci se détache du reste de la graine, les radicules sont écrasées par broyage mécanique et éliminées par tamisage, et les endospermes seront broyés en fines particules. La poudre obtenue a, cependant, une couleur légèrement plus foncée (**Wielinga, 1990 ; Kawamura, 2008 ; Prajapati *et al.*, 2013 ;**). Toutefois, ce traitement fractionne et altère partiellement l'endosperme dans ses caractéristiques physiques et chimiques, en effet d'après **Dakia (2003)**, les hautes températures altèrent cependant l'endosperme ainsi que l'embryon et entraînent une séparation difficile des constituants.

Les rendements en endospermes, moulus et transformés en gomme de caroube, sont extrêmement variables et dépendent tant du procédé d'extraction utilisé que du cultivar ou des conditions de climat et de sol lors de la culture du caroubier (**Dea *et al.*, 1975**).

Gomme de caroube

II.9. Purification de la gomme

Des traitements de purification (appelés également clarification) ont ensuite lieu dans le but d'éliminer les odeurs de la farine brute, les impuretés et les enzymes endogènes (**Dea et Morrison, 1975 ; Lopez da Silva *et al.*, 1990 ; Mekhoukhe *et al.*, 2018**). Pour ce faire, la gomme de caroube subit une clarification. Celle-ci réside en une solubilisation dans l'eau (**Kawamura, 2008**). Parfois, des solutions de soude diluées ou d'acide acétique à 1 % sont utilisées (**Dea *et al.*, 1975**). Plus la température de solubilisation est élevée, plus la matière en solution est importante. Le rendement de purification sera donc amélioré en augmentant la température. Le matériel insoluble est ensuite éliminé à l'aide d'une étape de filtration (**Kawamura, 2008**) ou de centrifugation (**Dea *et al.*, 1975**).

Enfin, la gomme de caroube est précipitée soit à l'aide d'un non-solvant du polysaccharide (miscible à l'eau), soit par formation de complexes métalliques. Le précipité est récupéré par filtration, séché et broyé en fines particules. Cette dernière opération peut être répétée plusieurs fois selon le degré de pureté attendu (**Dea *et al.*, 1975**). La gomme de caroube obtenue est dite clarifiée (extraite et purifiée) (**Kawamura, 2008**).

La précipitation à l'éthanol est la plus largement utilisée (**McCleary *et al.*, 1974**). La purification par précipitation à l'isopropanol (Figure15) qui est peu utilisée dans les laboratoires, est une méthode de choix en génie des procédés industriels (**Dea *et al.*, 1975 ; Alves *et al.*, 1999 ; Andrade *et al.*, 1999 ; Azero *et al.*, 2002 ; Mekhoukhe *et al.*, 2018**).



Figure 15 : Gomme purifiée (**Mekhoukhe *et al.*, 2018**).

III. Domaines d'application

Les polysaccharides sont devenus ces dernières années le centre d'intérêt des chercheurs travaillant sur les polysaccharides d'intérêt technologique, Aujourd'hui, ces polysaccharides peuvent être utilisés dans les industries, pharmaceutiques, biomédical (Tableau 4), cosmétiques, du textile et alimentaires (**Albuquerque *et al.*, 2014, Pawar *et al.*, 2014, Souza *et al.*, 2015**).

Tableau IV : Différentes utilisations industrielles de la gomme

Utilisations industrielles	Applications
Pharmaceutiques	Contre les diarrhées, dentifrice
Cosmétiques	Emulsion et mousse de rasage
Textiles	Coloration
Papiers	Traitement de surface
Chimiques	Colle, colorant, polissage, allumettes, pesticides
Pétroles	Additif pour augmenter la stabilité
Exploitation minière	Produit de frottement
Absorbant	Absorbe l'humidité
Epaississant	Solidifiant, gélifiant
Explosifs	Capteur d'eau pour les explosifs

Source : Batlle et Tous, 1997

III.1. Confitures

III.1.1. Définition des confitures

Selon le **Codex Alimentarius (2009)**, la confiture est le mélange porté à la consistance gélifiée appropriée de sucre, de pulpe et/ou de purée d'une ou de plusieurs espèces de fruits et d'eau. Elle peut toutefois être obtenue à partir de fruits entiers, ou coupés en lamelles et/ou en tranches. La quantité de pulpe et/ou de purée utilisée pour la fabrication de 1000 grammes de produit fini ne doit pas être inférieure à 350 grammes. La teneur en matière sèche soluble des confitures doit être égale ou supérieure à 55%. Cette teneur n'est pas

applicable aux produits pour lesquels les sucres ont été remplacés partiellement ou totalement par les édulcorants.

III.1.2. Valorisation de la gomme de caroube

III.1.2.1. Utilisation de la gomme de caroube dans la fabrication des confitures

Les galactomannanes sont connus pour leurs propriétés de liaison depuis l'Antiquité. Les Égyptiens employaient la gomme de caroube pour coller les bandages des momies. Cependant, c'est seulement au 20^e siècle qu'ils ont connu un essor important surtout dans le domaine industriel. La gomme de caroube (LBG) est un additif (E410) utilisé principalement dans l'industrie alimentaire pour ses propriétés rhéologiques, texturantes et gélifiantes. La combinaison de LBG avec d'autres polysaccharides - tels que le xanthan et le carraghénane ne pouvant se gélifier seuls à également été usée dans l'industrie depuis longtemps. Des gels de force spécifique peuvent être formés par cette technique économiquement intéressante pour donner des propriétés uniques pour des applications spécifiques (**Dea et Morrison, 1975 ; Barak et Mugdil, 2014 ; Gillet *et al.*, 2014 ; anonyme, 2019**).

À cet égard, des investigations ont été effectuées sur la possibilité de substituer la pectine dans la fabrication des confitures par la gomme de caroube et ou une mixture de ces deux hydrocolloïdes pour accentuer leur propriétés gélifiantes, mais également de percevoir l'effet sur les propriétés physicochimiques et rhéologiques de la confiture formulée (**Razak *et al.*, 2018 ; Anonyme, 2019**).

III.1.2.2. Formulation de la confiture

Razak *et al.* (2018), ont essayés de formuler une confiture de mangue, on utilisant plusieurs types de hydrocolloïdes à l'instar la gomme de caroube, pectine, gomme arabique et Xanthan. La confiture préparée est constituée de purée de fruits, sirop de glucose, sucre, crème fraîche, acide citrique et solution d'hydrocolloïdes à différentes concentration (0,2- 1 %).

Razak et ses collaborateurs. (2018) ont utilisés une purée de 46% décongelée pendant une nuit à 4 ° C avant d'être mélangée avec d'autres ingrédients, pour réduire le brunissement après décongélation. Un chauffage a été par la suite appliqué pendant 5 min jusqu'à ce que la température atteigne 60°C. Plus tard, la purée de mangue a été ajoutée avec

Domaines d'application

la solution d'hydrocolloïdes suivie de, sucre, glucose sirop (31%) et acide citrique (0,5%), et enfin frais crème (22,5%). La garniture de purée était emballée en rond récipient en plastique, pasteurisé à 80°C pendant 15 min et hermétiquement scellé.

Un autre essai de formulation de confiture de fraise à base de gomme de caroube a été réalisé. La préparation consiste à découper le fruit en petits morceaux (Figure 12), et ajouter une quantité de sucre 30% en poudre aux fruits découpés et les laisser macérer pendant 24h à 6° C. Une cuisson à 80°C a été effectuée, par la suite l'adjonction de la gomme de caroube et ou de pectine (1%). À la fin de cuisson il est impératif de remplir les bocaux avec le produit encore chaud (**Anonyme, 2019**).

III.1.2.3.Effets de la gomme sur les paramètres physicochimiques de la confiture

Pour mieux évaluer l'efficacité de la gomme et son incorporation dans la confiture, des analyses de certains paramètres physicochimiques de la confiture formulée peuvent être effectués (**Razak et al., 2018 ; Anonyme, 2019**).

Une détermination du pH, de taux de brix (**Razak et al., 2018 ; Anonyme, 2019**), ainsi que l'acidité a été effectuée par certains auteurs (**Anonyme, 2019**).

Razak et al. (2018), ont obtenus un taux d'humidité de $54,21 \pm 0,16$, de pH de $3,24 \pm 0,01$, un degré de brix de $40,3 \pm 0,58$ avec la gomme de caroube à 1% alors qu'il est de $47,92 \pm 0,87$, $3,41 \pm 0,06$ et $45,3 \pm 0,58$ pour la pectine à 1% respectivement. (Tableau 5)

Un taux légèrement plus élevé a été rapportés par d'autres auteurs pour le pH et le taux de brix pour une confiture de fraise formulée avec 1% de pectine et gomme de caroube, pour l'acidité elle a été rapportée par les mêmes auteurs avec $0,70 \pm 0,10$ dans la confiture de gomme de caroube et de $0,67 \pm 0,05$ pour celle avec de la pectine g/100g d'acide citrique (**Anonyme, 2019**).

L'acidité de ces échantillons reflète leurs teneurs importantes en acides organiques. Dans le fruit de la fraise l'acide organique le plus dominant est l'acide citrique. (**Koyuncu et Dilmaçunal, 2010**). .

Kang et Cho. (2008) ont élaboré une confiture à la fraise en incorporant de l'amidon comme gélifiant et à différentes concentrations et ils ont rapportés des valeurs de pH plus

Domaines d'application

importantes allant de 3,98 à 4,11. Cette élévation est éventuellement liée selon (**Kim et Kim, 1989**) à l'influence de l'épaississant additionné (amidon).

Généralement pour les confitures de fraises les valeurs de pH doivent être entre 3,2 à 3,4 alors que pour les mangues sont de 4,5 à 5 (**FAO, 1995**). Alors que le degré en Brix doit être de 55 à 60%, ce qui permet une meilleure conservation (**Harill, 1994**).

Tableau V : Résultats des analyses physico-chimiques des confitures

Confitures	pH	B°%
CM+ LBG (<i>Razak et al., 2018</i>)	3.24 ± 0.01	40.3 ± 0.58
CF+LBG (<i>Anonyme, 2019</i>)	3,39 ± 0.01	55 ± 0.00
CM+PC (<i>Razak et al., 2018</i>)	3,41±0,06	45,3±0,58
CF+PC (<i>Anonyme, 2019</i>)	3,29±0,01	57±0,00

CM : Confiture de mangue+gomme de caroube, CF : Confiture de fraise+gomme de caroube, LBG : Gomme de caroube, PC : Pectine.

III.1.2.4.Effet sur les propriétés rhéologiques (viscosité)

La viscosité est un paramètre important de la qualité de la plupart des produits. C'est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un corps à s'opposer au cisaillement (**Gorlier et Germain, 1998**). Elle peut être influencée par la température mais également par le gradient de vitesse, la force de cisaillement ainsi que le temps (**Deuel et Neukom, 1954 ; Barak et Mugdil, 2014**).

Selon **Razak et ses acolytes. (2018)**, le type et la concentration des hydrocolloïdes appliqués peuvent affectés la viscosité de la confiture. En effet d'après les mêmes auteurs, l'indice (n) qui est le comportement d'écoulement de la gomme de caroube augmente avec l'accentuation des concentrations (0,2% à 1%).

Wei et al. (2001), ont constatés que la viscosité apparente de la garniture aux fruits (pomme, myrtille, framboise et citron) varie selon le type de gomme, la quantité additionnée et le taux de cisaillement. Les propriétés d'écoulement de la garniture aux fruits dépendent de la composition de remplissage et de l'interaction parmi les composants individuels; y compris l'acide, amidon, gomme, sucre et eau.

Domaines d'application

Bohme et coll (2012), ont déclarés que la viscosité du remplissage a été modifiée pendant le traitement en raison de l'ajout d'amidon. Ce résultat concorde avec celui énoncé par **Uanon et Senge (2008)**, qui ont constaté que les différents types d'hydrocolloïdes (GG, XG et LBG) à des concentrations de 0,2% à 1,0% affectait les propriétés d'écoulement de la purée d'ananas.

Conclusion

Conclusion

En Algérie, les caroubiers sont très abondants et répartis le long du tell, une partie de cette production est exportée, l'autre partie est perdue car elle pousse souvent sur des reliefs accidentés rendant la récolte de la caroube très difficile, ceci explique le taux faible des exportations.

Ces dernières années, un travail de sensibilisation et une logistique importante ont été mis en œuvre pour récolter ce produit et l'exporter ou le transformer localement. Malgré cette dégradation, la caroube reste un produit très prisé par les industriels algériens. Ces derniers ont acquis des parts de marché très importantes au niveau international pour ce produit, déplorant ainsi le manque d'intérêt et d'investissement dans ce secteur en Algérie qui possède des capacités à en faire une culture très épanouie.

Les utilisations de *Ceratonia siliqua* sont nombreuses et sa valeur fourragère peut contribuer à l'amélioration des potentialités pastorales du pays. L'intérêt économique des fruits est incontestable et explique la culture en irriguée du caroubier dans plusieurs pays méditerranéens, notamment en Espagne et en Grèce. En outre, cette essence assure la subsistance et la stabilisation de la population rurale et permet ainsi de limiter le phénomène de l'exode rural

La gomme de caroube dérive de l'endosperme des graines de fruit de la caroube. C'est un hydrocolloïde aux propriétés techno fonctionnelles uniques, et possèdent des caractéristiques très intéressantes en tant que multi additif. Il ressort de cette revue bibliographique que les la gomme de caroube pourrait être incorporé dans les produits alimentaire à l'instar les confitures en accentuant leur viscosité et améliore finalement les propriétés texturales et autres propriétés fonctionnelles grâce à la gestion de la phase aqueuse.

À la lumière de cette étude, des perspectives ont été dégagées à savoir ;

- Etudier le comportement rhéologique de la gomme de caroube ;
- Essais de productions de biofilms à partir de la gomme.

References bibliographiques

Références bibliographiques

A

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

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

Albanell E. (1990). Caracterizacion morfologica, composicion quimica y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua L.*) cultivadas en Espana. Tesis doctoral. Barcelona. Espana, pp. 209.

Albanell E., Caja G., Plaixats J. (1991). Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles, Options Mediterraneennes. N°16, pp. 135- 136.

Albersheim P., Nevins D. J., English P. D., Karr A. (1967). A method for the analysis of sugars in plant cell-wall polysaccharides by gas liquid chromatography. Carbohydrate Research, 5, 340–345.

Andrade C., Azero E., Luciano L., Goncalves M. (1999). Solution properties of the galactomannans extracted from the seeds of *Caesalpinia pulcherrima* and *Cassia javanica*: comparison with locust bean gum. Int. J. Biol. Macromol., 26. pp.181-185.

Avallone R., Plessi M., Baraldi M., Monzani A. (1997). Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. J. Food Comp. Anal., 10 (2): 166-172.

Ayaz FA., Torum H., R. H. Glew., Bak Z. D., Chuang L.T., Presley J. M., Andrews R. (2009). Nutrient Content of Carob Pod (*Ceratonia siliqua L.*) Flour Prepared Commercially and Domestically. Plant Foods Hum Nutr 64, 286–292.

References bibliographiques

Ayaz F.A., Torun H., Ayaz S., Correia P.J., Alaiz M., Sanz C., Gruz J.I., Strand M. (2007). Determination of Chemical Composition of Anatolian Carob Pod (*Ceratonia siliqua* L.): Sugars, Amino and Organic Acids, Minerals and Phenolic Compounds, *Food Qual.* 30. pp 1040-1055.

Azero, E.G., Andrade C.T. (2002). Material Properties Testing procedures for galactomannan purification. *Polymer Testing*, 21, 551-556.

Aurélie Taguet . (2020). Rheological characterization of compatibilized polymer blends

B

B. McCleary., N. Matheson., D. Small., *Phytochemistry* 15. (1976). 1111– 1117.

B. McCleary., N. Matheson., *Phytochemistry* 13 .(1974) .1747–1757.

Barak S., Mudgil D. (2014). Locust bean gum: Processing, properties and food applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 66 : 74–80.

Bargallo M.G., Di Lorenzo R., Meli R., Crescimanno F. G. (1997). Characterization of carob germplasm (*Ceratonia siliqua* L.) in Sicily. *J. Hortic. Sci.*, 72(4), 537-543.

Barracosa P., Osório J., Cravador A. (2007). Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratonia siliqua* L.) cultivars in Algarve region. *Scientia Horticulturae*. 114: 250-257.

Bate-Smith E.C. (1973). Hcm analysis of tannins: the concept of relative astringency. *Phytochemistry* 12, 907–911.

Battle I., Tous J. (1997). Carob tree *Ceratonia siliqua* L., Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute, pp. 92.

References bibliographiques

Baumgartner S., Gennerritzmann, R.; Haas J., Amado R., Neukom, H. (1986). Isolation and identification of cyclitols in carob pods (*Ceratonia-siliqua* L). *J. Agric. Food Chem.* 1986, 34, 827–829.

Ben Hsouna A., M. Trigui., S. Jaoua. (1986). Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of the ethyl acetate extract of endemic *Ceratonia siliqua* leaves *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 34, N° 5, pp. 827-829.

Bengochea C., Romero A., Villanueva A., Moreno G., Alaiz M., Milla´ n, F., Guerrero A., Puppo M.C. (2008). Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L) germ, Proteins. *Food Chemistry* ,107, 675–683.

Benmahioul., kaid_Harche, M., Daguin, F. (2011). Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranéenne* t. XXXII , 1 :51-58.

Bohme B., Kretschmar R., Schneider Y., Fiala, P., Rohm H. (2012). Effect of alcohol in starch-thickened fillings on the storage stability of dark chocolate pralines. *Journal of American Oil Chemists' Society* 89: 447-454.

Bonnier G. (1990). *La grande folore en couleur*. Collection, nouvelles flores 4 Ed Belin, pp14244.

Borzacchiello A., Della Sala., F Ambrosio L.A. (2017). Rheometry of polymeric biomaterials. 2017. DOI: [10.1016/B978-0-08-100737-2.00010-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100737-2.00010-8) In book: *Characterization of Polymeric Biomaterials*.

Bouzouita N., Khaldi A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabounia 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, pp: 1508–1515.

Blakeney A., Harris P., Henry R., Stone B. (1983). A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydrate Research*, 113, 291–299.

References bibliographiques

C

Caja G. (1985). La Garrofa: Composición, procesado y usos agroindustriales. Jornadas de la Garrofa. LLiria, Valencia – España.

Calixto F.S., Canellas J. (1982). Components of nutritional interest in carobPods*Ceratoniasiliqua*. Journal of the Science of Food Agriculture, N°33, pp. 1319– 1323.

Campbell RN et al. (2011). Isolation of compensatory inhibitor domain mutants to novel activation domain variants using the split-ubiquitin screen. *Yeast* 28(8):569-78.

Clements Rex S., Jr.,3 M.D., Betty Darnell M.S., RD. (1980). American Journal of Clinical Nutrition (AM J CLIN NUTR) 33(9):1954-67.

Correia, P. J., Martins-Loucao, M. A. (2005). The use of macronutrients and water in marginal mediterranean areas: the case of carob-tree. *Field Crops Research*, 91, 1–6.

Custódio L., A.L. Escapa., E. Fernandes., A. Fajardo., A. Rosa F., Albericio N., Neng J.M.F., Nogueira A., Romano. (2011). Phytochemical profile antioxidant cytotoxic activities of the carob tree (*Ceratoniasiliqua L.*) germ flour extracts, *Plant Foods Human Nutrition* 66 78–84.

Codex Alimentarius. (1995) . Normes générales pour les additifs alimentaires. Codex STAN 162-1995 pp.24.

D

Da Silva JAL., Gonçalves MP (1990). Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. *Food Hydrocoll.* 1990;4:277–87.

Dakia P.A; Wathel B., Paquot M. (2007). «Isolation and chemical evaluation of, carob (*Ceratoniasiliqua L.*) seed germ food Chemistry ,Vol. 102, N°4, pp. 1368-1374.

References bibliographiques

Dakia P. A., Blecker C., Roberta C., Wathelet B., Paquot M. (2008). Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22, 807-818.

Dakia, P. A., Wathelet, B., Paquot M. (2010). Influence de la teneur en galactose sur les interactions moléculaires et sur les propriétés physico-chimiques des galactomannanes en solution. *BASE. Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(1), 213-223.

Dakia P.A., Gbogouri G., A Agnan., M Combo., M Paquot M. (2014). Physicochemical characteristics of locust bean gum purified Fractions obtained by temperature fractionation. *European Journal of Food Science and Technology*. 6 (4) :11-27.

De Candolle A. (1983). *L'origine des plantes cultivées*. Balière, Paris, France.

Dea I.C.M., Morrison A. (1975). Chemistry and interaction of seed galactomannans. *Adv in carbohydr chemistry biochem*, 31 :241-312.

Deuel et Neukom. (1954). *Advan.Chem, Ser, No 11.*, 51.

Di Lorenzo R. (1991). *Carrubo. Frutticoltura speciale*.Ed.REDA.Rome.

Doublier J.L. (1975). Propriétés rhéologiques et caractéristiques macromoléculaires de solutions aqueuses de galactomannanes. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Paris VI.

Durazzo., Stefan Gazdzinski., Peter Banys., Dieter J., Meyerhoff Timothy C., (2004). Cigarette Smoking Exacerbates Chronic AlcoholInduced Brain Damage: A Preliminary Metabolite Imaging Study Vol. 28, No. 12 December 2004.

E

Evreinoff VA. (1947). *Agriculture tropicale Le Caroubier ou Ceratonia siliqua L.* *Rev. Bot. Appl* : 389 - 401.

F

References bibliographiques

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/WHO. (2016). Carob bean gum.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Carob bean gum; chemical and Technical Assessment (CTA).

FAOSTAT (2018). Food and agricultural commodities production. In <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>. FAO. (Page consultee en avril). Composition nutritionnelle de la fraise. In : Site Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (anses) [en ligne]. (2018). Disponible sur : <https://ciqua.anses.fr/#/aliments/13014/fraise-crue>.

Food and agriculture organisation of the unitrd nations (FAO). (2010).

Farahnaky *et al.* (2014). Physicochemical Properties of Crude Purified Locust Bean Gums Extracted from Iranian Carob Seeds. *Journal of Agricultural and Science and Technology*, 16: 125-136.

Feillet P., Roulland T. M. (1998). Caroubin: A gluten-like protein isolate from carob bean germ. *Cereal Chemistry*, 75, 488–492.

Filioglou M. D., Alexis M. N. (1987). Use of the carob products in trout nutrition: the effects of growth inhibitors of the carob seed germ meal on digestion and studies on deactivation methods. *Proceedings of the Second Panhellenic Symposium of Oceanography and Fisheries* 618-624.

Filioglou M. D., Alexis M. N. (1989). Protein digestibility and enzyme activity in the digestive tract of rainbow trout fed diets containing increasing levels of carob seed germ meal. In N. De Pauw, E. Jaspers, H. Ackefors, & N. Wilkins (Eds.), *Aquaculture. A biotechnology in progress* (pp. 839-843). Bredene, Belgium: European Aquaculture Society.

Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). (1995). Fruit and vegetables processing. *FAO Agricultural services bulletin* No.119.

References bibliographiques

Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). (2016). Carob bean gum ;chemical and Technical Assessment (CTA).

Fox J. E. (1992). Seed gums. In A. Imeson (Ed.), Thickening and gelling agents for food. London: Blackie Academic and Professional.

G

Gaisford S., Harding S., Mitchell J., Bradley T. (1986). A comparison between the hot and cold water soluble fractions of two locust bean gum samples. *Carbohydr. Polym.*, 6, 423-442.

García-Ochao F., Casas J.A. (1992). Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. *J. Sci. Food Agri.* 59: 97-100.

Gharnit N., Mtili N., Ennabili A. T., Ennabili A. (2001). Social characterization and exploitation of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) from Mokrisset and Bab Taza (NW of Morocco). *Sci. Lett.* 3 n°2.

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

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

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

Gonçalves J.F.Jr., J.S. França A.O., Medeiros C.A., Rosa M. (2006). CallistoLeaf breakdown in a tropical stream *Int. Rev. Hydrobiol.*, 91, pp. 164-177.

Gorlier P., Germain G. (1998). La viscosité et sa mesure. « la mesure » TIPE.

References bibliographiques

Goulas V., E. Sylos., M.V. Chatziathanasiadou., T. Mavromoustakos A.G.(2016).
Tzakos Functional components of carob fruit: linking the chemical and biological
space Int. J. Mol. Sci., 17 p. 1875.

Goycoola F.M., Morris E.R., Gidley M.J. (1995). Viscosity of galactomannans at
alkaline and neutral pH: evidence of “hyperentanglement” in solution. Carbohydr.
Polym, 27, 69-71.

Gubbuk, H., Kafkas E., Guven D., Gunes E. (2010). Physical and phytochemical
profile of wild and domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) genotypes. Spanish
Journal of Agricultural Research, 8 No (4), 1129-1136.

H

Haber B.(2002). Carob fiber benefits and applications. Cereal Foods World, 47,
365–369.

Haddarah A. (2013). L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la
caroube Libanaise. Thèse de Doctorat de Procédés Biotechnologiques et
Alimentaires. L'Université Libanaise (Ecole Doctorale des Sciences et Technologie) et
l'Université de Lorraine (France).

Harril R. (1994). Using a refractometer to test the quality of fruits and vegetables
Published by Pinekoll publishing P.O.BOX 6, KEEDYSVILLE, MD 21756.

K

Kang.Nam-Eet Cho., Mi-Sook. (2008). Quality characteristics of Strawberry Jam Added
with Various Levels of Resistant Starch. The Korean journal of food and nutrition, 21:
No. 4, 457-462.

Kawamura Y. (2008). CAROB BEAN GUM, Chemical and Technical Assessment
(CTA). www.fao.org/ag/AGN/agns/jecfa/cta/69/Carob_bean_gum_CTA_69_.pdf.
Accessed April 4, 2009.

References bibliographiques

Kivrac N.E., Askim B., Kucukoner E. (2015). Comparison of Some Physicochemical Properties of Locust Bean Seeds Gum Extracted by Acid and Water Pre-Treatments. *Food and Nutrition Sciences*, 6, 278-286.

Kok M. S., Hill S. E., et al. (1999). A comparison of the rheological behaviour of crude and refined locust bean gum preparations during thermal processing. *Carbohydrate Polymers* 38(3): 261-265.

Kök M. S., Hill S., Mitchell J. (1999). A comparison of the rheological behaviour of crude and refined locust bean gum preparations during thermal processing. *Carbohydrate Polymers*, 38(3), 261-265.

Kök M. S., Hill S. E., Mitchell J. R. (1999). Viscosity of galactomannans during high temperature processing: influence of degradation and solubilisation. *Food Hydrocolloids*, 13(6), 535-542. Richardson, P., Willmer, J., & Foster, T. (1990). Dilute properties of guarand locust bean gum in sucrose solutions. *Foods Hydrocolloids*, 12,339–348.

Koyuncu M.A. Dilmacunal T. (2010). Determination of Vitamin C and Organic Acid Changes in Strawberry by HPLC During Cold Storage. *Notulae Botanica Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* .38 (3), 95-98.

Kumazawa S., Taniguchi M., Suzuki Y., Shimura M., Kwon M.S., Nakayama T. (2002). Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *J Agric Food Chem*, 50:373–7.

L

Lizardo R., Cañellas J., Mas F., Torrallardona D., Brufau J.,(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*. 34: 97-101.

Lopes da Silva J. A., Gonçalves M. P., Doublier J. L., Axelos M. A. V. (1996). Effect of galactomannans on the viscoelastic behavior of pectin/ calcium networks. *Polymer Gels and Networks*, 4, 65-83.

References bibliographiques

Lopez da Silva J., Gonçalves M. (1990). Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. *Food Hydrocolloids*, 4: 277-287.

M

M. Alves A., Yu Antonov., L. Luciano., M. Gonçalves., *Int. J. Biol. Macro-mol.* 267 (1999) 181–185.

M. Rinaudo. *Food Hydrocoll.* 15 (2001) 433–440.

Makris N., J. Biederman., E.M. Valera., G. Bush., J. Kaiser., D.N. Kennedy., V.S., Caviness S.V., Faraone L.J. (2007). Seidman Cortical thinning of the attention and executive function networks in adults with attention-deficit/hyperactivity disorder *Cereb. Cortex*, 17 pp. 1364-1375 (New York, N.Y., 1991).

Mao C.-F., Chen J.-C. (2006). Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: An interpretation based on thixotropic behavior. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 730–739.

McCleary B. V. (1986). Enzymatic modification of plant polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 8(6), 349-354

Marakis S., Kalaitzakis J., Mitrakos K. (1988). Criteria for recognizing carob tree varieties. In: Fito, P., Mulet, A. (Eds.), *Proceedings of the II International Carob Symposium Valencia, Spain*, pp. 558-566. McCleary B.V., Clark A.H., Dea I.C.M. & Rees D.A., (1985). The fine structures of carob and guar galactomannans. *Carbohydr. Res.*, 139, 237-260.

Markis D.P., Kefalas P. (2004). Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic Antioxidants. *Food technol*, 42 (2), 105-108.

Martínez-Herrera J., Siddhuraju, P., Francis G., Dávila-Ortiz G., Becker K. (2006). Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*, 96, 80–89.

References bibliographiques

Martindale C. (1989). *Personality, situation, and creativity*. In J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Eds.), *Perspectives on individual differences. Handbook of creativity* (p. 211–232).

Matthausa B., Özcan M. (2011). Lipid evaluation of cultivated and wild carob (*Ceratonia siliqua L.*) seed oil growing in Turkey. *Scientia Horticulturae* 130, pp: 181–184.

Mathur V., Mathur N. K. (2005). Fenugreek and other lesser known legume galactomannan-polysaccharides: scope for developments.

McCleary B.V. (1988). Carob and guar galactomannans. *Methods Enzymol.*, 160, 523-527.

Mekhoukhe, A., Kicher H., Ladjouzi, A., Medouni-Haroune L., Brahmi F., Medouni Adrar S., Madani, K. (2018). Antioxidant activity of carob seeds and chemical composition of their bean gum by-products. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*. 20170158.

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

Multon J.L. (1984). *Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires*. Paris: Lavoisier.

Mohellebi Nacer et Tayeb. (2019). Incorporation de la gomme de caroube dans la fabrication des confitures. *Mémoire de fin d'étude*. L'université de Béjaia.

N

NAS. (1979). *Tropical Legumes: Resources for the Future*. National Academy of Sciences. Washington DC, USA, pp. 109-116.

O

Obeidat B. S., Alrababah M. A., Abdullah A. Y., Alhamad M. N., Gharaibeh, M. A., Rababah T. M., Ishmais M. A. A. (2011). Growth performance and carcass

References bibliographiques

characteristics of Awassi lambs fed diets containing carob pods (*Ceratonia siliqua* L.). Small Rumin. Res., 96 (2-3): 149-154.

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

P

P. Dakia, Me´moire, Faculte´ universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.(2003).

P. Dakia, The`se de Doctorat, Faculte´ universitaire des sciences agro-nomiques de Gembloux, Belgique .(2009).

P. Richardson ., J. Willmer., T. Foster. (1998). Food Hydrocoll. 12 339– 348.

Papagiannopoulos M., WollseifenH.R., Mellenthin A., HaberB., GalensaR. (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,pp 3784-3791.

Parado J., Bautista J., Romiro EJ., Garcia Martinez AM., Friaza V., Tejda M. (2008). Production of a caroube enzymatic extract; potential use as a biofertilizer.bioresource Technol 99;2312-2318.

Petit M. D., Pinilla J. M. (1995). Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from Carob Pods Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 28, 145-152.

Pollard. (2007). Invertigation of equilibrium of a carob galactomannan. Food Hydrocolloids, 21(5-6): 683-692.

Pollard M. A., Fischer P. (2006). Partial aqueous solubility of low-galactosecontent galactomannans –what is the quantitative basis? Current Opinion in Colloid & Interface Science, 11(2–3), 184–190.

References bibliographiques

Puhan Z., M.W. Wielinga. (1996). Products derived from carob pods with particularemphasis on carob bean gum (CBG). Report Technical Committee of INEC(unpublished).

Q

Quezel P., Santa S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (tome1), Editions du centre national de la recherche scientifique.557

R

Razak, R. A., Karim R., Sulaiman R., Hussain N. (2018). Effects of different types and concentration of hydrocolloids on mango filling. International Food Research Journal 25(3): 1109-1119.

RAZAVI S. M.A., IRANI M. (2019). Rheology of Food Gum.

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

Rejeb MN. (1994). Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans: Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris: 79-85

Rejeb MN. (1995). Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amelioration. Dans: Quel avenir pour l'amelioration des plantes? Edit. AUPELF UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp 79-85.

Rijs An P., Fogliano V. (2020). Roasting carob flour decreases the capacity to bind glycoconjugates of bile acids. *Food & Function*, 11(7), 5924-5932.

Rishani N.,R.P. Rice. (1988). Use of carob as a potting medium component. HortScience 23(2):334-336.

References bibliographiques

Rivière CH., Leco H. (1900). Manuel pratique de l'agriculteur algérien. Editeur: Augustin CHALLAMEL. Paris, pp. 349-353.

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.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7925-7930.

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

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

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

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

S

Saidi R., Lamarti A., Badoc A. (2007). Micropropagation du caroubier (*Ceratonia siliqua*) par culture de bourgeons axillaires issus de jeunes plantules. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 146: 113-129.

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.

Sandolo C., Coviello, T., Matricardi, P., Alhaique F. (2007). Characterization of polysaccharide hydrogels for modified drug delivery. *European biophysics journal*.. 36 (7), 693–700.

References bibliographiques

Saura Calixto F., Cañellas J. (1982). Chemical composition of hulls of the sweet almond (*Prunus amygdalus*). *J. Sci. Food Agric.*, 33 (4): 336-339

Sbay ,H. (2008). Le caroubier au Maroc , un arbre d'avenira ;a CRF collection Maroc Nature.(*in press*).

Schweinfurth G. (1894). Sammlung arabischäthiopischer Pflanzen, Ergebnisse von Reisen in dem Jahren 1881, 1888-89, 1891-92. *Bull, Herb. Boissier* 2 : 1-114

Schweizer E, et al. (1978). Fatty acid biosynthesis in yeast. *Mol Cell Biochem* 21(2):95-107

Shawakfeh K., Ereifej K. I. (2005). Pod Characteristics of two *Ceratonia siliqua* L. Varieties from Jordan. *Ital. J. Food Sci*, 17 (2): pp 187–194.

Sittikijyothin W., Torres D., Gonçalves M. P. (2005). Modeling the rheological behaviour of galactomannan aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 59, 339-350

Sittijyothin W., Torres D., Gonclaves M.P. (2015). Modelling the rheological behavior of galactomannan aqueous solutions. *Carbohydr. Polym*, 59: 339-350.

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.

Souza R.M. Freire., A.P. Cunha., M.A.S. da Silva., S.E. Mazzetto., A.S.B. Sombra., J.C. Denardin., N.M.P.S. Ricardo., P.B.A. Fachine. (2015) : New magnetic nanobiocomposite based in galactomannan/glycerol and superparamagnetic nanoparticles, *Materials Chemistry and Physics* 156 (2015) 113e120.

Srivastava M., Kapoor V. P. (2005). Seed galactomannans: An overview. *Chemistry and Biodiversity*, 2, 295–317.

References bibliographiques

Stephen C.W., Helminen P., Lane D.P. (1995). Characterisation of epitopes on human p53 using phage-displayed peptide libraries: Insights into antibody-peptide interactions. *J. Mol. Biol.* 248: 58-78.

T

Thomson P. (1971). The carob in California. *California Rare Fruit Growers Yearbook III*: 61-102.

Tous J., Batlle I., Romero A. (1995). Prospección de variedades de algarrobo en Andalucía. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA) 91V (3)*, 164-174.

Turhan I., Bialka K.L., Demirci A., Karhan M. (2010). Ethanol production from carob extract by using *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 101, pp5290–5296.

U

Uan-on T., Senge B. (2008). Rheological behavior of pineapple puree mixed with different types of stabilizers (gum). *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society 16*: 1-8.

V

V. Prajapati., G. Jani., N. Moradiya., N. Randeria., B. Nagar., *Carbohydr., Polym.* 94. (2013). 814–821.

Vardar Y., SeçurenandÖ., Ahmed M. (1972). Preliminary results on the chemical composition of the Turkish carob beans, *Qual. Plant Mater*, Vol. XXI:318- 327,N°4.

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.

References bibliographiques

Vourdoubas J., Makris P., Kefalas J., Kaliakatsos G. (2002). In Proceedings of the 12th National Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, pp 489–493.

W

W. Wielinga., in : Phillips., Williams (Eds.). (1990). Gums and stabilisers for the food industry 5, Oxford University Press Ltd, Oxford, , pp. 383– 403.

Wang Y., Belton P. S., Bridon H., Garanger E., Wellner N., Parker M. L., Grant A., Feillet P., Noel T.R. (2001). Physicochemical Studies of Caroubin: A Gluten-like Protein, *J. Agric. Food Chem.*, 49, 3414-3419.

Weder J. K. P. (1986). Nutritional and toxicological Significance of Enzyme Inhibitors in Foods. In M. Friedman (Ed.). *Advances in Experimental Medicine and Biology* (Vol. 199, pp. 239–279). New York: Plenum Press.

Wei Y. P., Wang C. S., Wu J. S. B. (2001). Flow properties of fruit fillings. *Food Research International* 34: 377–381.

Wielinga W. (1990). Production and application of seed gums. In: Phillips G.O., Wedlock D.J. & Williams P.A., eds. *Proceedings of 5th International Conference, Gums and stabilisers for the food industry, July 1989, Wrexham, UK*. Oxford, UK: IRL Press, 383-403.

Y

Y. Brummer W., Cui Q., Wang. (2003). *Food Hydrocoll.* 17 229–236.

Yousif A.K., Alghzawi H.M. (2000). Processing and characterization of carob powder, *Food chemistry*, 3 (69): pp 283-287.

Youssef M. K. E., El-Manfaloty M. E., Ali H. M.. (2013). Assessment of proximate chemical composition, nutritional status, fatty acid composition and phenolic compounds of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Food and Public Health*, 3 (6) : 304-308.

References bibliographiques

Z

Zengin E., Aka Sagliker H., Darici C. (2008). Carbon Mineralization of *Ceratonia siliqua* L. Soils under Different Temperature and Humidity Conditions, *Turk J Bot*, 32,123-127.

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

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

Annexe I

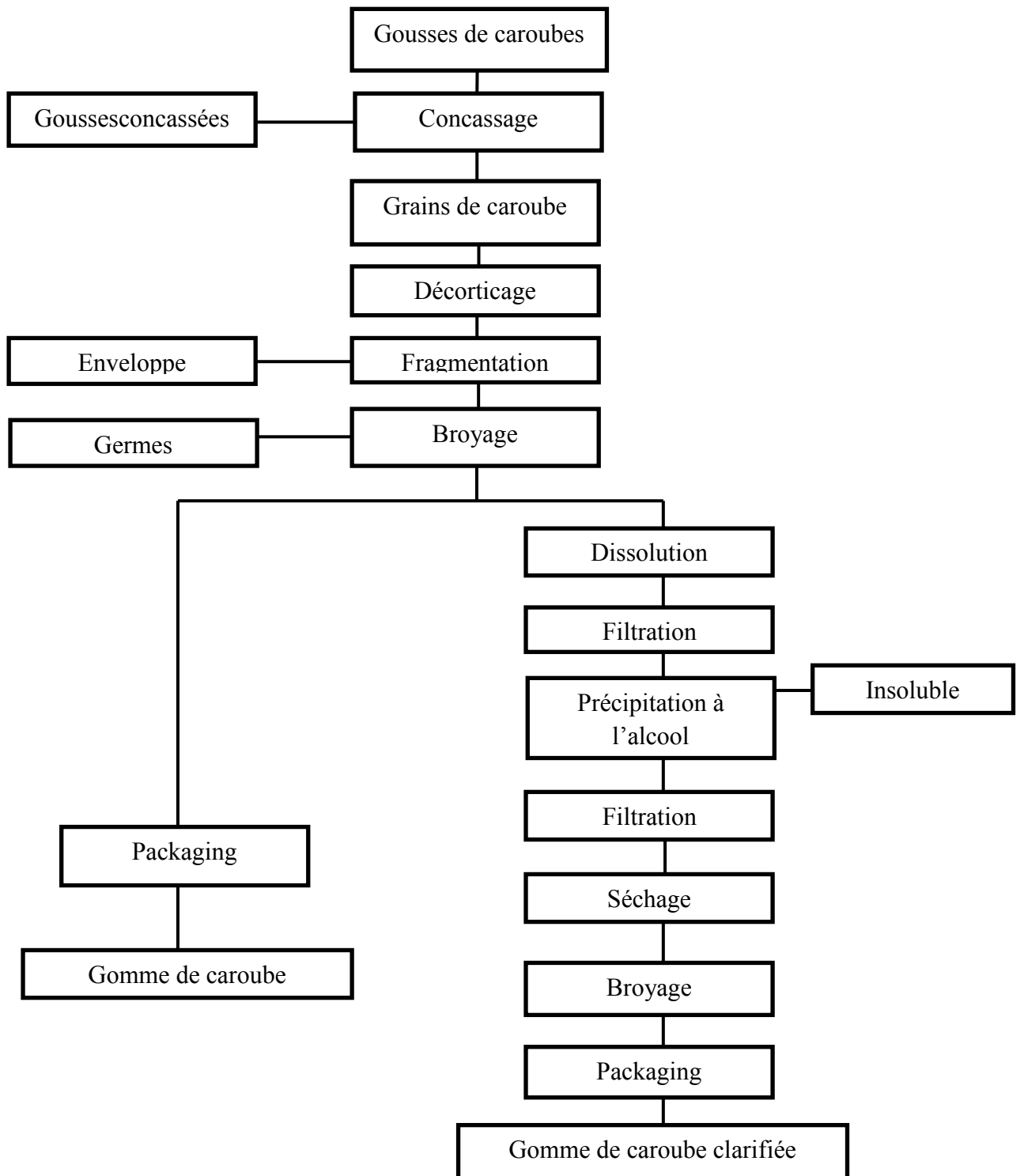


Figure 1: Schéma du processus d'extraction et de purification de la gomme de caroube (Kawamura, 2008).

Résumé

Résumé

Le caroubier est une essence cultivée pour ses graines dans le bassin méditerranéen. Ces graines contiennent un endosperme riche en galactomannanes très prisé, notamment par l'industrie agro-alimentaire pour ses propriétés épaississantes et texturants. L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés rhéologiques de gomme de caroube et sa possible incorporation dans les confitures.

Il ressort de cette étude bibliographique que la gomme de caroube pourrait être un bon succédant de la pectine ou autres hydrocolloïdes onéreux.

Mots clés : Galactomannanes ; gomme de caroube ; propriétés rhéologiques ; hydrocolloïdes.

Abstract

The carob tree is a typical species cultivated for its seeds in the Mediterranean area. These seeds contain an endosperm rich in galactomannans which is highly prized, in particular by the food industry for its thickening and texturing properties. The objective of this work is to study the rheological properties of locust bean gum and its possible incorporation into jams.

It emerges from this bibliographical study, that locust bean gum could be a good substitute for pectin or other expensive hydrocolloids.

Keywords: Galactomannans; locust bean gum; rheological properties; hydrocolloids.