

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 Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Sciences Alimentaires
Option : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :.....

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

MASTER

Thème

La caroube dans l'industrie alimentaire

Présenté par :

AOUADI Anissa et AOUCHENNI Saliha

Soutenu le : **20 Septembre 2020**

Devant le jury composé de :

Mr TAMENDJARI A.

Mme GUENDOUZE N.

Melle TOUATI N.

Pr

MCB

MAA

President

Examineur

Encadreur

Année universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

En premier, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné santé, courage et patience pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice Mme TOUATI Naima, pour avoir accepté de nous encadrer et pour toute l'aide qu'elle nous a apporté, ces précieux conseils et sa gentillesse tout au long de notre travail.

Nous remercions les membres du jury, M. TAMENDJARI qui nous a fait l'honneur de présider le Jury et Mme GUENDOUZE, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Notre profonde reconnaissance et nos chaleureux remerciements à Mme MERZOUK pour ses judicieux conseils.

Nous remercions également tous les enseignants du département des sciences alimentaires pour tout le savoir qu'ils nous ont donné durant notre cursus universitaire.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse et leur soutien durant mon chemin d'études.

Mes chers frères et leurs épouses, mon adorable sœur, son mari et ma petite nièce.

Ma bien aimée tante.

Mes chers voisins de la famille Issaadi.

Tous mes proches et mes amis sans exception.

Mon binôme et copine Saliha et toute sa famille.

Ma promotrice Mme Touati Naima.

Et en fin à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Anissa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse et leur soutien durant mon chemin d'études.

Mes chères sœurs, leurs maris et mes adorables neveux.

Mes chers frères.

Tous mes proches et mes amis sans exception.

Mon binôme et copine Anissa et toute sa famille.

Ma promotrice Mme Touati Naima.

Et en fin à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Salika

Table des matières

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Chapitre I: LE CAROUBIER

I.1. Origine du caroubier.....	2
I.2. Terminologie commune et Taxonomie.....	2
I.3. Ecologie, répartition géographique et distribution du caroubier.....	3
I.4. Production du caroubier dans le monde.....	4
I.5. Caroubier en Algérie.....	5
5.1. Production du caroubier en Algérie.....	5
I.6. Description botanique.....	6
6.1. Arbre.....	6
6.2. Feuilles.....	7
6.3. Fleurs.....	8
6.4. Fruit.....	8
6.5. Graines.....	10
I.7. Variétés de la caroube en Algérie.....	11

Chapitre II: COMPOSITION CHIMIQUE ET UTILISATIONS DE LA CAROUBE

II.1. Composition chimique de la caroube.....	12
1.1. Humidité.....	13
1.2. Sucres.....	13
1.3. Les polyphénols.....	14
1.4. Fibres alimentaires.....	16
1.5. Cendres et minéraux.....	17
1.6. Protéines et acides aminés.....	17
1.7. Lipides et acides gras.....	18
II.2. Utilisations du caroubier	19
2.1. Arbre.....	19
2.2. Fruit.....	19
2.3. Graines.....	19
2.4. Feuilles.....	21
2.5. Fleurs, écorce et racines.....	21
II.3. La caroube comme source du D-pinitol.....	21
3.1. Extraction du D-pinitol.....	21
II.4. La caroube comme substrat de fermentation.....	22
II.5. Effets thérapeutiques.....	23
5.1. Propriétés antioxydantes : Stress oxydatif.....	23
5.2. Effet antiathérogène.....	23
5.3. Prévention du cancer.....	24
5.4. Effet antidiarrhéique.....	24
5.5. Effet antidiabétique.....	24

5.6. Effet gastro-intestinal.....	25
-----------------------------------	----

Chapitre III: LA CAROUBE DANS LE DOMAINE ALIMENTAIRE

III.1. La caroube comme substituant du cacao.....	26
1.1. Comparaison entre les propriétés physico-chimique de la poudre de caroube et de la poudre de cacao	26
1.2. Préparation de la poudre de caroube.....	28
1.2.1. Etapes préparatoires.....	29
1.2.2. Croquettes.....	29
1.2.3. Torréfaction.....	29
1.2.4. Broyage.....	30
1.2.5. Emballage.....	30
III.2. La gomme de caroube comme additif alimentaire.....	31
2.1. Extraction et purification de la gomme de caroube.....	31
III.3. Le sirop de caroube comme substitut du sucre.....	34
III.4. La caroube dans les produits laitiers.....	35
4.1. La gomme de caroube dans les yaourts allégés.....	35
4.2. Le concentré de jus de caroube (CJC) dans le yaourt.....	36
4.3. La gomme de caroube dans les glaces.....	37
4.4. La poudre de caroube dans les glaces.....	38
Conclusion et perspectives.....	39

Références bibliographiques

Annexes

Glossaire botanique

Liste des abréviations

AAE: Acide aminé essentiel

AGPI: Acide gras polyinsaturé

AGS: Acide gras saturé

A_w: activity of water

CBG: Carob Bean Gum

CJC: Concentré de jus de caroube

ED: Eau distillée

FAO: Food and Agriculture Organisation

GAE: Gallic acid equivalent

HDL: High Density Lipoprotein

KDa: Kilodalton

LBG : Locust Bean Gum

LDL: Low Density Lipoprotein

MPa: Mégapascal

MS: Matière sèche

PEG: Polyéthylène glycol

QE: Quercétin équivalent

ROS : Reactive Oxygen Species

RNS : Reactive Nitrogen Species

SNG: solides non gras du lait

SSF: Solid-state fermentation

OMS: Organisation mondiale de la santé

SARL: Société A Responsabilité Limitée

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure 1	Aire de distribution du caroubier dans le monde	4
Figure 2	Variation de la superficie récoltée et de la production de la caroube en Algérie	6
Figure 3	A: Port général du caroubier, B: Ecorce jeune du caroubier, C: Ecorce adulte du caroubier	7
Figure 4	Feuille et folioles du caroubier	7
Figure 5	Types d'inflorescence du caroubier. A: fleurs femelles, B: fleurs mâles, C: fleur hermaphrodite du caroubier	8
Figure 6	Fruits du caroubier, A: gousses vertes non mures, B: gousses brunes mures	9
Figure 7	Présentation de la gousse de la caroube: pulpe et graines	9
Figure 8	Coupe transversale d'une graine de caroube	10
Figure 9	Structures chimiques de quelques polyphénols présents dans la pulpe de caroube	14
Figure 10	Structure moléculaire des galactomannanes de la gomme de caroube	17
Figure 11	Le processus de préparation de la poudre de caroube	30
Figure 12	La gomme de caroube	31
Figure 13	Schéma du procédé d'extraction et de purification de la gomme de caroube	33

Figures en annexes

Figure	Titre	N° annexe
Figure N° 1	Schéma du processus d'extraction du D-pinitol	1
Figure N° 2	Procédé de production de l'éthanol par fermentation à l'état solide à partir des déchets de la caroube	2
Figure N° 3	Processus de production du sirop de caroube	3
Figure N° 4	Processus de base de la fabrication du yaourt	4
Figure N° 5	Processus de fabrication des glaces	5

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I	Classification botanique de la caroube	2
Tableau II	Top 10 des pays producteurs de la caroube dans le monde pour l'année 2018	5
Tableau III	Composition chimique et minérale de la pulpe de caroube	12
Tableau IV	Composition chimique et minérale de la graine de caroube	13
Tableau V	Composition du germe de la graine en acides aminés	18
Tableau VI	Utilisations de la pulpe et des graines de caroube	20
Tableau VII	Utilisations industrielles de la gomme de caroube	20
Tableau VIII	Propriétés chimiques et physiques des poudres de caroube (torréfiée et non torréfiée) et de la poudre de cacao	27

Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), appartenant à la grande famille des légumineuses, est une essence presque endémique du pourtour méditerranéen, cultivé depuis longtemps pour ses produits dérivés mais aussi pour sa résistance au manque d'eau (**Biner et al., 2007 ; Avallone et al., 1997**). C'est un arbre qui pousse principalement dans la partie nord du pays (**Boublenza et al., 2019**). 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 (**Aafi, 1996**).

Le fruit du caroubier est composé de deux parties principales: la pulpe et les graines (**Ayaz et al., 2009**). La pulpe est plus riche en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière, elle est riche également en fibres alimentaires, en calcium et en potassium. En outre, elle a une très faible teneur en matières grasses. La pulpe est souvent grillée et broyée pour obtenir une poudre de couleur marron à arôme de chocolat qui est utilisée comme substituant de cacao. La pulpe de caroube, après broyage, peut être utilisée aussi dans l'extraction de jus sucrés. Les déchets provenant de la préparation du sirop de caroube sont utilisés pour produire le bioéthanol. Quant aux graines, on extrait la gomme (E410) provenant de l'endosperme très utilisée comme agent stabilisant et épaississant dans la formulation de plusieurs aliments.

Dans ce présent travail, nous présentons en première lieu le caroubier et ses composants ainsi que sa production dans le monde et en Algérie. La deuxième partie est consacrée pour la composition de la caroube, son utilisation au niveau industriel et ses effets thérapeutiques. En dernier lieu, nous allons nous intéresser à la caroube dans le domaine alimentaire là où ses produits dérivés (poudre de caroube, sirop et gomme) sont incorporés dans les produits alimentaires afin d'améliorer leur qualité nutritionnelle et organoleptique.

Chapitre I

Le caroubier

I.1. Origine du caroubier

Le centre d'origine de l'espèce *Ceratonia siliqua* demeure méconnu puisqu'il existe plusieurs hypothèses émanant d'un désaccord entre différents auteurs, mais de nombreux auteurs ont suggéré que cet arbre vient probablement des pays de l'est de la Méditerranée comme la Syrie et la Turquie (**Batlle et Tous, 1997**). Les découvertes archéobotaniques menées à partir de restes carbonisés de bois et de fruits montrent que *Ceratonia siliqua* L. existait dans le bassin méditerranéen oriental bien avant le début de l'agriculture (**Zohary, 2002**). Sa culture est très ancienne et date au moins de 2000 ans avant notre ère. Les Egyptiens au XVI^e siècle avant J.-C. connaissaient déjà la culture du caroubier (**Evreinoff, 1947**). Selon **Zohary (1973)**, le caroubier est originaire d'une flore xérotropicale indo-malésienne, la regroupant avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus* (**Batlle et Tous, 1997**). Cependant, le caractère thermophile de cette espèce et sa présence sur les hauts plateaux du Yémen laisse à penser que son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie (**Liphschitz, 1987**).

La découverte de *Ceratonia oreothauma*, la seule espèce connue apparentée à la caroube, ayant son centre d'origine dans le sud-est de l'Arabie (Oman) et autour de la corne d'Afrique (nord de la Somalie) (**Hillcoat et al., 1980**) semble appuyer la dernière hypothèse.

I.2. Terminologie commune et Taxonomie

La dénomination de l'espèce *Ceratonia siliqua* dans différents pays et langues découle de l'hébreu, dont son dérivé arabe kharrub, et plus tard del algarrobo ou garrofero en espagnol. Il est aussi appelé Carouge et pain de saint Jean-Baptist (**Batlle et Tous, 1997**).

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L. (Tableau I), proposé par Linné est dérivé du mot grec "Keras" signifiant corne et le nom "siliqua" dérivé du latin qui veut dire gousse, en allusion à la dureté et la forme du fruit (**Batlle et Tous, 1997**).

Tableau I : Classification botanique de la caroube (**Quezel et Santa, 1962**).

Règne	Plantas
Embranchement	Tracheobionta
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosida
Ordre	Fabaliae

Famille	Fabaceae
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L

I.3. Ecologie, répartition géographique et distribution du caroubier

Le caroubier, dont l'aire de répartition s'étend dans les secteurs des plateaux et en moyennes montagnes jusqu'à 1700 m d'altitude, est indifférent à la nature du substrat ; il tolère les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocaillieux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH de 6,2 jusqu'à 8,6 ; mais il craint les sols acides et très humides (**El Kahkahi et al., 2016**).

Selon **El Kahkahi et al. (2016)**, la caroube est très résistante à la sécheresse en s'adaptant morphologiquement et physiologiquement aux pénuries d'eau. Les principales modifications peuvent être résumées comme suit:

- Les stomates des feuilles sont situés sur une seule face ;
- Le nombre de stomates est assez élevé et ils sont petits ;
- Le système racinaire est développé ;
- Un dépôt de cire important.

Les caroubiers peuvent supporter des températures estivales de 40°C et des vents chauds et secs, Cependant, ils ne peuvent pas supporter des températures hivernales inférieures à -7°C (**Battle et Tous, 1997**). Généralement, la distribution des arbres sclérophylles méditerranéens, telle que *C. siliqua* est limitée par des stress liés aux froids (**Mitrakos, 1982**).

Cet arbre présente un grand potentiel en tant que culture de plantation dans des conditions semi-arides, compte tenu de ses exigences minimales de croissance et de ses utilisations économiques maximales (**Thomas et Mehta, 1983**).

On le rencontre à l'état naturel (Figure 01) principalement en Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Algérie, Tunisie, Égypte, et Chypre, aussi en Australie, en Afrique du Sud, aux États-Unis et en Amérique du Sud (**Battle et Tous, 1997**).

La culture du caroubier a commencé depuis les temps historiques (**De Candolle, 1883**). Les Grecs l'ont étendu dans leur pays et l'ont introduit dans certains pays européens, comme l'Italie. Plus tard, il a été propagé par les Arabes sur l'Afrique du Nord et l'Espagne puis dispersé au sud de la France et au sud du Portugal. Il a également été introduit aux États-Unis

d'Amérique (Californie), les Philippines, l'Iran, l'Afrique du Sud et l'Australie (De Candolle, 1883 ; Batlle et Tous, 1997).



Figure 01 : Aire de distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997).

I.4. Production du caroubier dans le monde

Selon les données de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAOSTAT), la production mondiale de la caroube est estimée à 144960 tonnes récoltées dans une superficie de 42866 ha pour l'année 2018. Les 10 premiers pays producteurs de la caroube par ordre descendant sont représentés dans le tableau II.

Tableau II: Top 10 des pays producteurs de la caroube dans le monde pour l'année 2018
(FAOSTAT 2018).

Pays	Production en tonnes (2018)
Portugal	41734
Italie	36951
Maroc	21974
Turquie	15506
Grèce	12216
Chypre	7460
Algérie	2880
Espagne	2268
Liban	1906
Tunisie	812
Monde	144960

L'Algérie occupe le septième rang avec une production de 2880 t, soit 1,99% de la production mondiale (FAOSTAT, 2018).

I.5. Caroubier en Algérie

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), pousse principalement dans la partie nord de l'Algérie. En raison de sa position géographique importante, l'Algérie offre une flore riche et diversifiée avec un grand nombre d'espèces endémiques telles que le caroubier qui a toujours été associé aux oliviers, amandiers et lentisques généralement considérés comme des plantes utiles. Le caroubier est connu en Algérie sous les noms de "A kharrouv", "Karrûba", "Taslighoua", "Tikharroubt", "Tikida" (Boublenza *et al.*, 2019).

I.5.1. Production de la caroube en Algérie

Selon les statistiques fournies par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), en 2000 la surface cultivée en caroubier en Algérie était de l'ordre de 1210 ha. 18 ans plus tard, la surface s'est rétrécie à 789 ha seulement. La production, quant à elle, est passée de 3952 tonnes en 2000 à 2880 en 2018 (Figure 02).

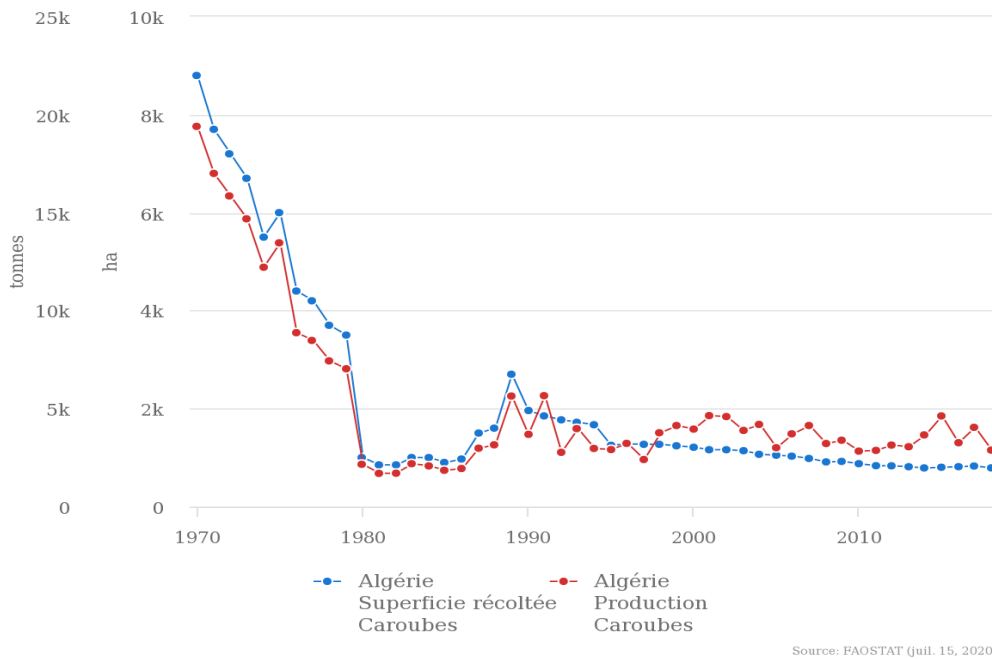


Figure 02: Variation de la superficie récoltée et de la production de la caroube en Algérie (FAOSTAT 2018).

On remarque qu'en Algérie la production de la caroube ainsi que la surface cultivée ont baissé de façon remarquable depuis 1970 jusqu'à 1981. Les données sont estimées à 8800 ha et 19400 t en 1970 diminuant à 850 ha et 1693 t en 1981. Dans les années suivantes, on note globalement une augmentation des données jusqu'à l'année 1989. Ensuite, la superficie récoltée a connu une diminution continue tandis que la production présente des fluctuations sans pour autant être importantes (FAOSTAT, 2018).

I.6. Description botanique

I.6.1. Arbre

Le caroubier appartient à la famille des légumineuses dont le nombre de chromosome est de $2n = 24$. C'est un arbuste ou un arbre sclérophylle à feuilles persistantes (Batlle et Tous, 1997). L'arbre atteint une hauteur de 6 à 12 m, et parfois plus de 20 m, avec des branches s'étendant jusqu'au niveau du sol (Kumazawa *et al.*, 2002) et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3m. Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune ; et brune et rugueuse à l'âge adulte (Figure 03). Son bois de couleur rougeâtre est très dur. Le caroubier peut vivre jusqu'à 200 ans (El Kahkahi *et al.*, 2016).

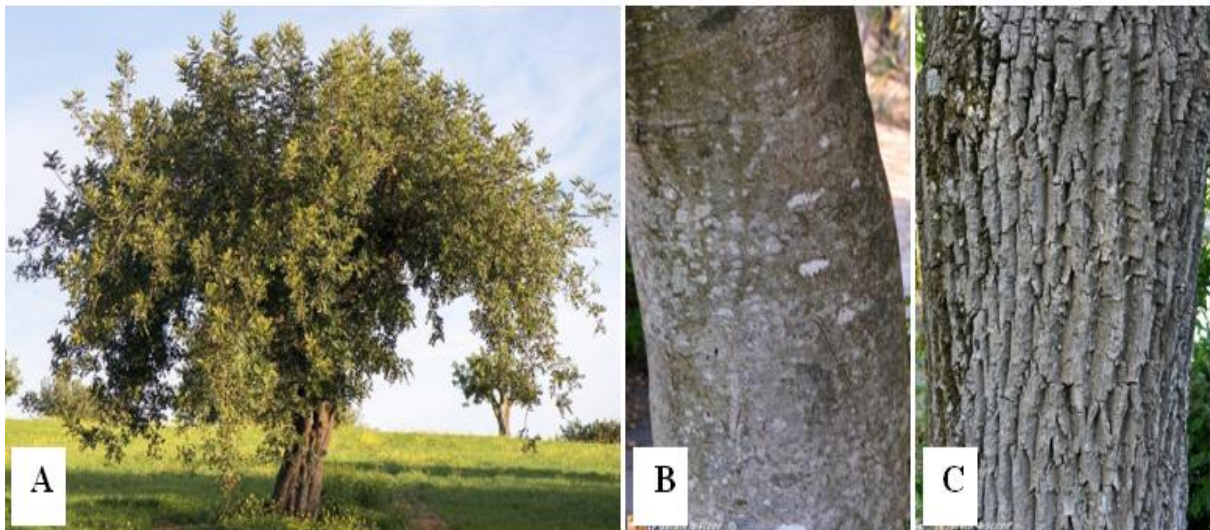


Figure 03 : A: Port général du caroubier, B: écorce jeune du caroubier, C: écorce adulte du caroubier.

I.6.2. Feuilles

Les feuilles (Figure 04) mesurent de 10 à 20 cm de long sont persistantes, composées paripennées, comportant quatre à dix folioles ovales, d'un vert luisant au-dessus, plus clair en-dessous. Ce sont des feuilles hypostomatées, pratiquement glabres, avec d'importants dépôts de cires (**Rejeb *et al.*, 1991 ; Batlle et Tous, 1997**). Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne mais seulement en juillet tous les deux ans, et il ne renouvelle que partiellement les feuilles au printemps (avril et mai) (**Batlle et Tous, 1997**).

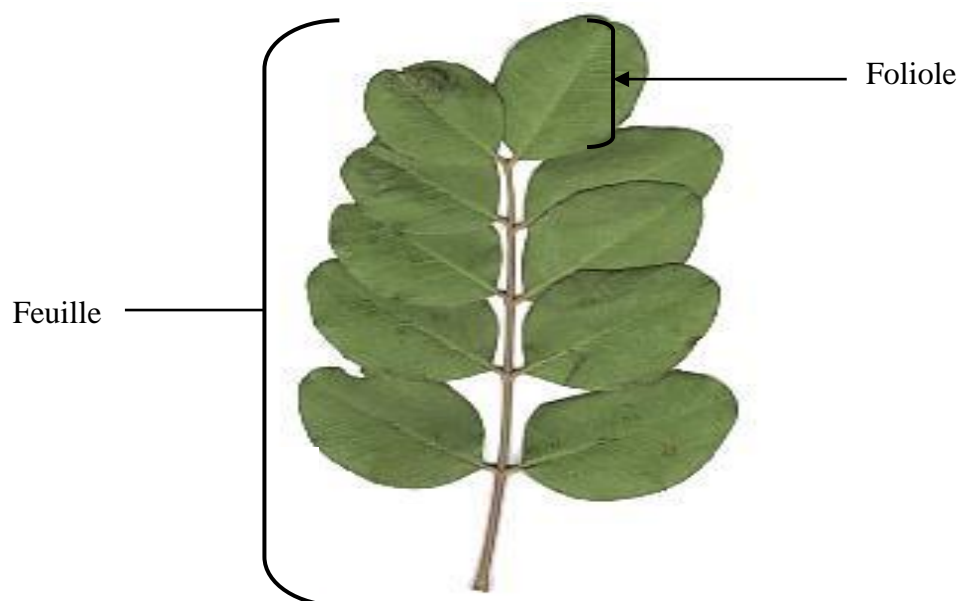


Figure 04 : Feuille et folioles du caroubier.

I.6.3. Fleurs

Le caroubier est une espèce dioïque, il existe parfois quelques formes hermaphrodites et rarement monoïques (**Batlle et Tous, 1997**). Initialement, les fleurs du caroubier sont bisexuelles ; il y a suppression d'un sexe durant le développement et le fonctionnement des cellules pour aboutir à des fleurs soit mâles soit femelles (**Tucker, 1992**). Par ailleurs, Le caroubier est le seul arbre méditerranéen dont la floraison a lieu en automne (septembre-novembre) (**Batlle et Tous, 1997**). Les fleurs du caroubier sont petites et nombreuses, et mesurent 6 à 12 mm de long et se distinguent par leur couleur rouge verdâtre (**Batlle et Tous, 1997**).

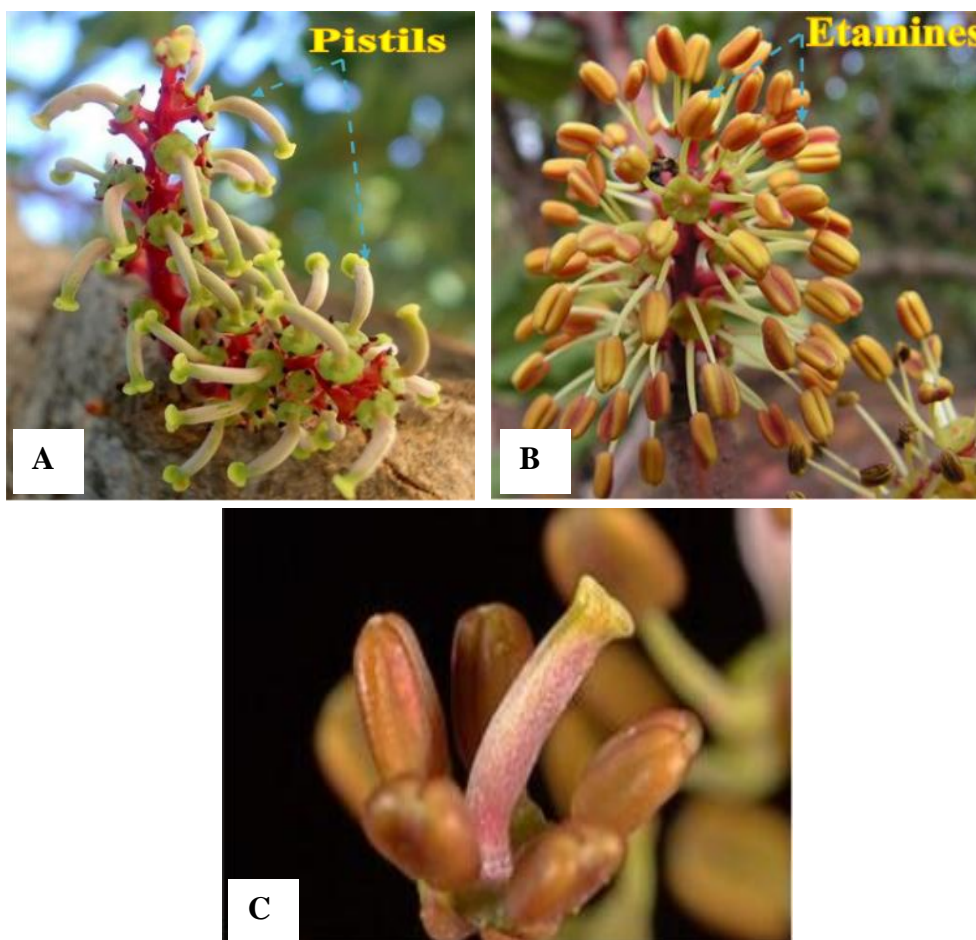


Figure 05 : Types d'inflorescence du caroubier. A: fleurs femelles, B: fleurs mâles, C: Fleur hermaphrodite du caroubier.

I.6.4. Fruit

Le fruit du caroubier est appelé « caroube ». Le développement du fruit est très long. Pour arriver à maturité en été, il met généralement entre 9 et 10 mois. Il est de grande taille :

de 10 à 20 cm de longueur, et de 1,5 à 3,5 cm de largeur. Il est vert, et, au moment de la maturité, brun foncé à noir (Figure 6) (Batlle et Tous, 1997).

Les gousses sont brunes avec une surface plissée et sont coriaces à maturité. La pulpe comprend une couche externe coriace (péricarpe) et une région interne plus molle (mésocarpe) (Batlle et Tous, 1997).

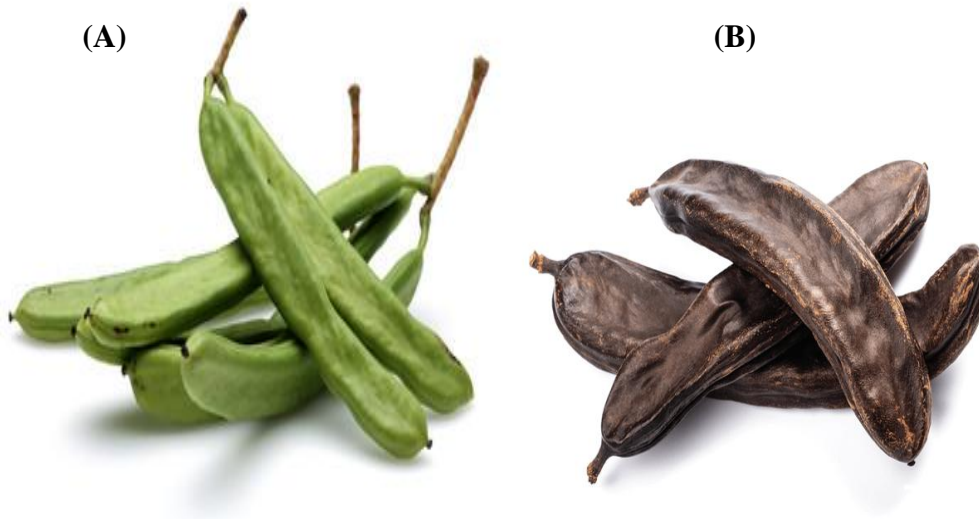


Figure 06 : Fruits du caroubier, A : gousses vertes non mures, B : gousses brunes mures.

Toutefois, les conditions environnementales influencent les caractéristiques morphométriques des gousses de caroube, telles que la largeur, le poids des gousses, le poids de la pulpe et le poids des graines... (Gharnit *et al.*, 2006).

La gousse de la caroube (Figure 07) peut être divisée en deux parties : la pulpe et les graines.

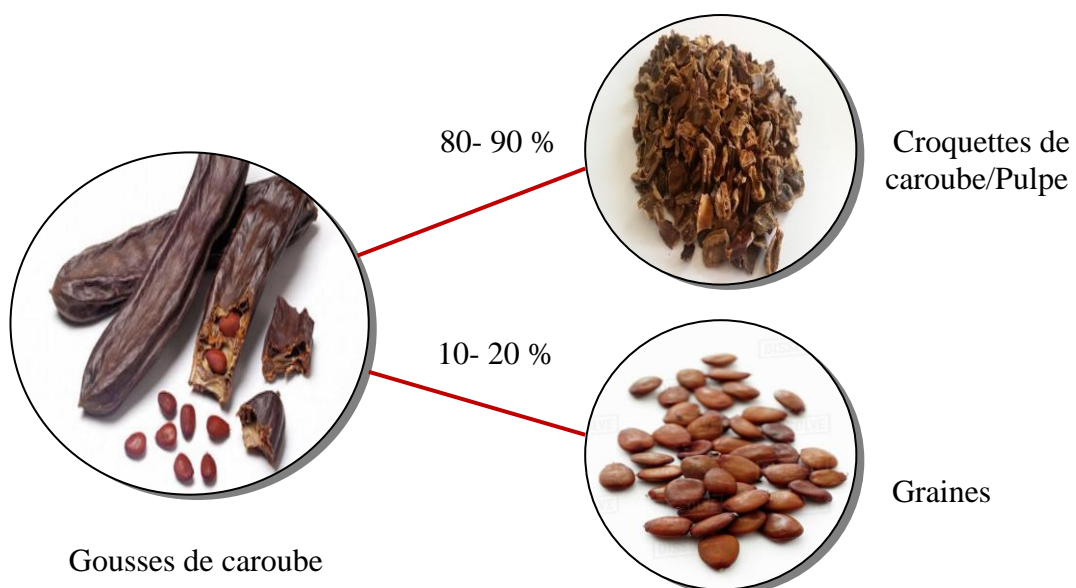


Figure 07: Présentation de la gousse de la caroube, pulpe et graines.

I.6.5. Graines

Les graines (Figure 08) se trouvent dans la gousse transversalement, séparées par le mésocarpe. Elles sont très dures et nombreuses, ovoïdes comprimées, mesurent 8-10 mm de long, 7-8 mm de large et 3-5 mm d'épaisseur (**Battle et Tous, 1997**).

Les graines de caroube sont constituées de trois éléments : les téguments, la radicelle et l'endosperme (**Dakia et al., 2007 ; Dakia, 2011**).

- Les téguments sont une enveloppe résistante de couleur brune et représentent 30 à 33% de la graine.
- Au centre de la graine se trouve une radicelle (ou embryon) (23-25% de la graine). Celle-ci possède une valeur énergétique élevée due à son taux important de protéines principalement solubles dans l'eau et de lipides majoritairement insaturés.
- L'endosperme se trouve entre les téguments et la radicelle. Il représente 40 à 50 % du poids de la graine et constitue la matière de base utilisée dans la fabrication de la gomme de caroube.

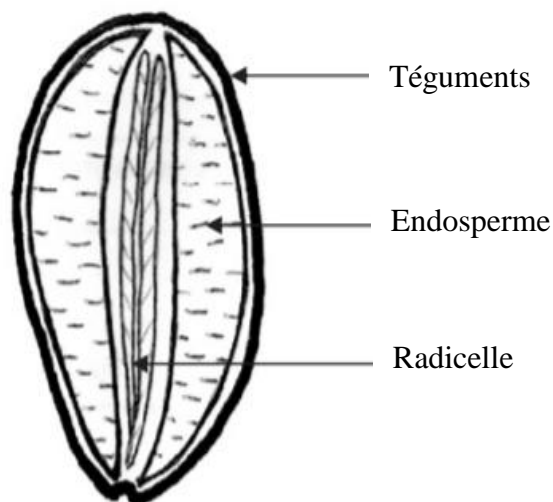


Figure 08 : Coupe transversale d'une graine de caroube (**Dakia et al., 2008**).

I.7. Variétés de la caroube en Algérie

Les études morphométriques et chimiques de **Boublenza *et al.* (2019)** sur dix variétés récoltées dans le nord de l'Algérie ont permis de sélectionner les variétés les plus intéressantes pour les industries agroalimentaires. Ils ont regroupé les différentes variétés en trois groupes ; le premier groupe concerne les espèces de Tlemcen, Relizane et Sidi bel Abbes, le deuxième comprend celles de Tipaza et Ain Temouchent, et le troisième celles de Boumerdes et Blida. Les variétés de Mostaganem, Chlef et Bejaia ne sont pas regroupées. Les variations des caractéristiques morphologiques sont influencées par l'environnement et les lieux géographiques ; ces deux paramètres ont un effet sur la qualité des cultivars de caroubiers.

Les deux variétés de Mostaganem et Bejaia produisent un rendement élevé de graines qui sont utilisées pour produire de la gomme de caroube et de la farine de germe de caroube riche en protéines. En revanche, les gousses des caroubiers de Chlef et de Tlemcen ont une pulpe charnue et sont plus riches en sucres ; elles peuvent être valorisées et utilisées pour la production de poudre de caroube. En outre, la plantation de ces variétés de caroube, dont les industries agroalimentaires ont grand besoin, peut constituer une ressource économique importante pour la population rurale (**Boublenza *et al.*, 2019**).

Chapitre II

Composition chimique et utilisations de la caroube

II.1. Composition chimique de la caroube

La composition chimique de la caroube a été bien étudiée (Avallone *et al.*, 1997; Yousif et Alghzawi, 2000 ; Ozcan *et al.*, 2007 ; Ayaz *et al.*, 2009 , Khlifa *et al.*, 2013 ; Oziyici *et al.*, 2014 ; Mahtout *et al.*, 2018). Elle varie selon les espèces, les conditions de croissance, les périodes de récolte, les propriétés du sol, le climat, l'origine et les paramètres géographiques (Oziyici *et al.*, 2014) mais dépend également du cultivar, la température (Cruz *et al.*, 1993), la sécheresse (Nunes *et al.*, 1992) et la salinité (El-Dengawy *et al.*, 2011).

Les principaux constituants chimiques de la gousse de caroube sont l'humidité, les cendres, les sucres, les protéines, les acides aminés, les lipides, les minéraux, les vitamines, les polyphénols et les fibres alimentaires (solubles et insolubles). Les données des tableaux III et IV montrent les gammes des principaux constituants chimiques et composés minéraux de la pulpe et des graines de caroube.

Tableau III : Composition chimique et minérale de la pulpe de caroube.

	Composant	Valeur (g/100g de matière sèche)	Références
Pulpe	Humidité	10,2 ± 0,13	Khlifa <i>et al.</i> , 2013
	Cendres	3 ± 0,05	
	Protéines	2,74 ± 0,03	
	Lipides	1,15 ± 0,07	
	Sucres totaux	83,7 ± 2,0	
	Saccharose	44 ± 0,74	
	Glucose	2,16 ± 0,09	
	Fructose	7,04 ± 0,17	
	Polyphénols totaux	17 ± 0,5	
	Tannins	6,70 ± 0,12	
	Fibres	6,90 ± 0,06	
	Minéraux (mg/100g)		Mahtout <i>et al.</i> , 2018
P	76,22		
K	1003,5		
Ca	268,57		
Mg	96,43		
Fe	2,1		
Zn	0,45		
Valeur calorique (KJ/100g)	284,6 ± 17,4		

Tableau IV: Composition chimique et minérale de la graine de caroube.

	Composants	Valeurs	Référence
Graine	Lipides (%)	2,1 ± 0,01	Fidan <i>et al.</i> , 2020
	Acide oléique	45 ± 0,4	
	Acide linoléique	32,4 ± 0,30	
	Acide palmitique	16,6 ± 0,15	
	Acide stéarique	4,7 ± 0,15	
	Protéines (%)	25,7 ± 0,18	
	Sucres (%)		
	Saccharose	8,1 ± 0,04	
	Glucose	2,2 ± 0,01	
	Mannose	54 ± 0,50	
Galactose	15,5 ± 0,14		
Polyphénols totaux (mg GAE/g MS)	1,76 ± 0,29		
Flavonoïdes (mg QE/g MS)	0,30 ± 0,02		
Minéraux (mg/kg de MS)			
Ca	8300 ± 30		
Mg	894 ± 3		
Mn	188 ± 1		
Zn	124 ± 0,5		
B	90 ± 0,4		
Fe	71 ± 0,2		
Cu	49 ± 0,1		
Valeur énergétique (KJ/g)	17,5	Dakia <i>et al.</i> , 2007	

II.1.1. Humidité

La poudre de caroube contient une humidité qui varie selon les auteurs de 6% à 15,6% (Calixto et Cañellas, 1982 ; Avallone *et al.*, 1997; Ozcan, 2007). L'humidité dépend selon Battle et Tous, (1997) et Iipumbu (2008) des conditions environnementales (pluies et humidité atmosphérique relative), de l'état de maturation et de la durée et conditions de stockage.

II.1.2. Sucres

La teneur en glucides de la croquette de caroube est élevée et peut atteindre 89%, les principaux sucres étant le saccharose (35 à 75 % du total des sucres), le fructose (4- 30%) et le glucose (2- 40% du total des sucres) (Avallone *et al.*, 1997 ; Shawakfeh et Ereifej, 2005 ; Ayaz *et al.*, 2007 ; Biner *et al.*, 2007 ; Mahtout *et al.*, 2018). De faibles concentrations

d'autres sucres sont également présentes dans la pulpe de caroube, notamment le maltose, le raffinose, le stachyose, les inositols et autres (**Ruiz-Aceituno et al., 2013**).

La teneur en sucre de la pulpe de caroube peut varier considérablement selon l'espèce, la variété, la maturité physiologique, la saison de récolte, le climat et les conditions de stockage (**Ayaz et al., 2007**). En général, les cultivars de caroube cultivés ont une teneur en sucre plus élevée que les cultivars sauvages (**Turhan, 2013**).

II.1.3. Les polyphénols

Les polyphénols constituent l'un des groupes de substances les plus courants et les plus répandus dans les plantes (**Goulas et al., 2016**).

Plusieurs auteurs ont rapporté un contenu riche en polyphénols pour les gousses de caroube (allant de 13,51% jusqu'à 19,2%) (**Avallone, 1997 ; Kumazawa et al., 2002 ; Turhan et al., 2006 ; Ayaz et al., 2007**).

Les polyphénols de caroube se trouvent principalement dans la pulpe de caroube, puisque la pulpe de caroube représente environ 90 % de la gousse de caroube. La concentration de polyphénols dans la caroube dépend fortement de facteurs génétiques, environnementaux et agricoles, tandis que la méthode utilisée pour l'extraction des polyphénols affecte de manière significative leur concentration et leur profil (**Loullis et Pinakoulaki, 2017**).

Les polyphénols de la caroube ont suscité un intérêt scientifique ; ainsi, de nombreuses méthodes d'extraction ont été proposées pour récupérer les polyphénols de la caroube (**Roseiro et al., 2013 ; Cavdarova et Markis, 2014 ; Almanasrah et al., 2015**).

Dans leur étude, **Makris et Kefalas, (2004)** ont constatés que les solvants non polaires tels que l'acétate d'éthyle ne conviennent pas à l'extraction des polyphénols. Cependant, leurs conclusions ont montré que l'acétone aqueux à 80 % et l'acétonitrile aqueux à 80 % (solvants polaires) sont des solvants très efficaces (**Papagiannopoulos et al., 2004**). **Avallone et al. (1997)** ont également constaté que l'acétone aqueux à 70 % est plus approprié à l'extraction des polyphénols.

Les principales catégories de composés phénoliques (Figure 09) présents dans les caroubes sont les acides phénoliques, les gallotannins et les flavonoïdes (**Goulas et al., 2016**).

Le profil rapporté par **Owen *et al.* (2003)** était dominé par l'acide gallique sous diverses formes: acide gallique libre (42 % des polyphénols en poids), gallotannins (tannins hydrolysables) (29 %) et gallate de méthyle (1 %), tandis que les phénols simples, principalement l'acide cinnamique, représentaient environ 2 % du total.

Les flavonoïdes représentaient 26 % des polyphénols, et les principaux composants ont été identifiés comme étant les glycosides myricétine et quercétine-3-O- α -L-rhamnoside (environ 9 % et 10 %, respectivement) (**Owen *et al.*, 2003**). Les croquettes de caroube contiennent des tannins qui sont des composés polyphénoliques complexes et peuvent être classés en 2 groupes: hydrolysables et des tannins condensés ou des proanthocyanidines (**Nasar-Abbas *et al.*, 2015**).

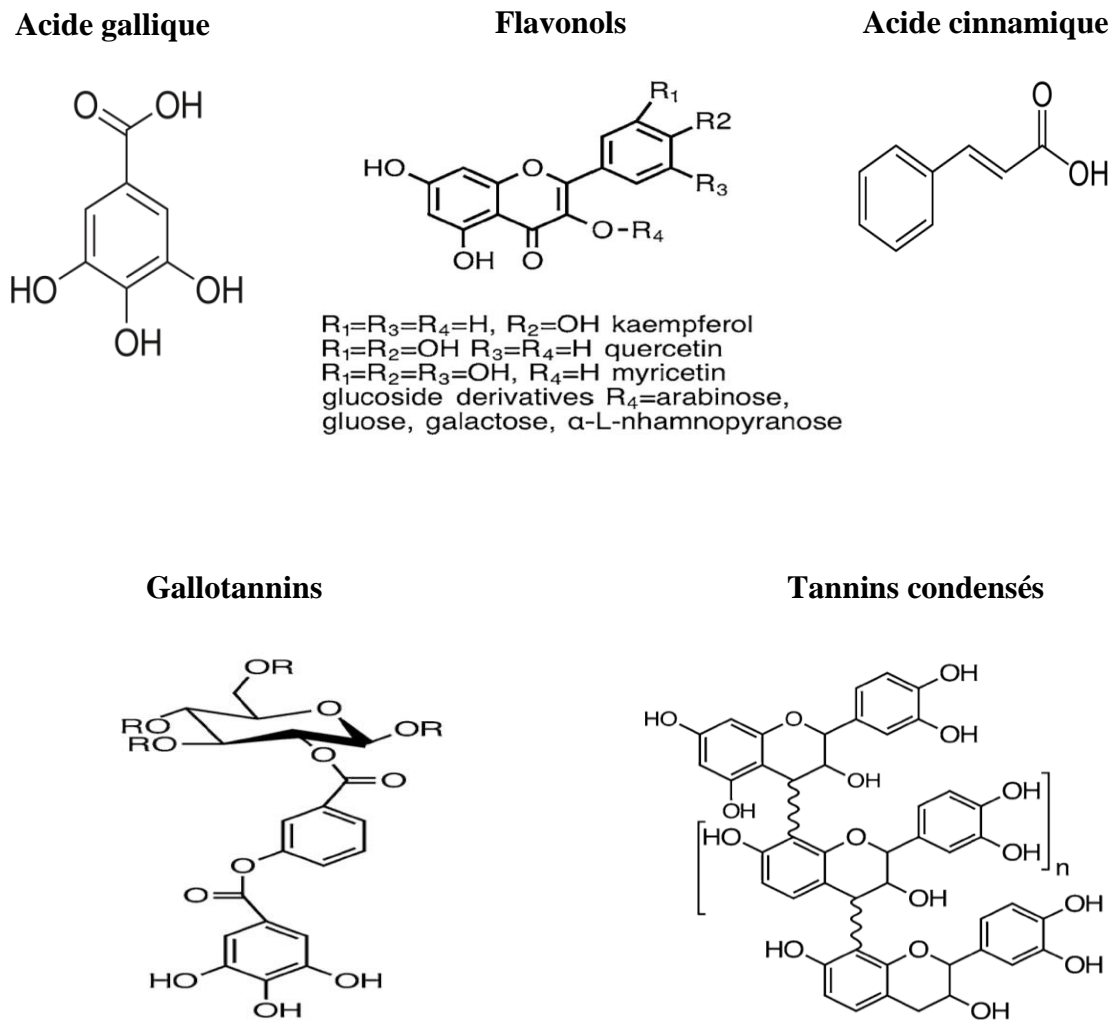


Figure 09: Structures chimiques de quelques polyphénols présents dans la pulpe de caroube (**Loullis et Pinakoulaki, 2017**).

II.1.4. Fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont l'une des principaux ingrédients alimentaires utilisés dans les aliments nutritionnels et fonctionnels (**Haber, 2002**). Elles constituent un groupe hétérogène de substances, communément divisées en fibres solubles et insolubles. La teneur totale en fibres alimentaires se situe généralement entre 30 et 40,4 % dans la pulpe de caroube (**Saura-Calixto, 1988 ; Haber, 2002**).

La fibre de caroube est le principal sous-produit de la transformation du sirop de caroube. La croquette de caroube est trempée dans l'eau pendant la nuit, ce qui dissout la majorité des hydrates de carbone solubles. L'extrait soluble dans l'eau est ensuite recueilli et le reste est constitué principalement de fibres alimentaires. La fibre alimentaire de caroube est unique dans sa composition, contient généralement (sur la base du poids sec) 75 % de fibres alimentaires (cellulose, d'hémicellulose, de lignine et de galactomannanes), 6 % d'hydrates de carbone, 5 % de protéines, 2 % de matières grasses et toute une série de minéraux et de polyphénols (**Haber, 2002**).

Les fibres alimentaires déterminées à partir de gousses de caroube étaient principalement insolubles avec une teneur de 32,6 % et 6,8 % de solubles (**Saura-Calixto, 1998**).

De plus, la fraction galactomannane est d'une grande importance, puisque leur extraction conduit à la production de gomme de caroube (en anglais LBG : Locust Bean Gum ou CBG : Carob Bean Gum). La gomme de caroube est une poudre blanche à blanc crème obtenue à partir de l'endosperme de la graine (**Goulas et al., 2016**).

Cet endosperme est composé de polysaccharides de réserve appelés galactomannanes (Figure 10), avec un rapport mannose/galactose d'environ 4:1 (**Dea et Morris, 1977 ; Gillet et al., 2014**). Ils sont constitués d'une chaîne principale latérale de résidus de D-mannopyranoses liés en β -(1,4) sur laquelle se greffent des résidus D-galactopyranosyl grâce à une liaison de type α -(1,6) (**Lazaridou et al., 2000**).

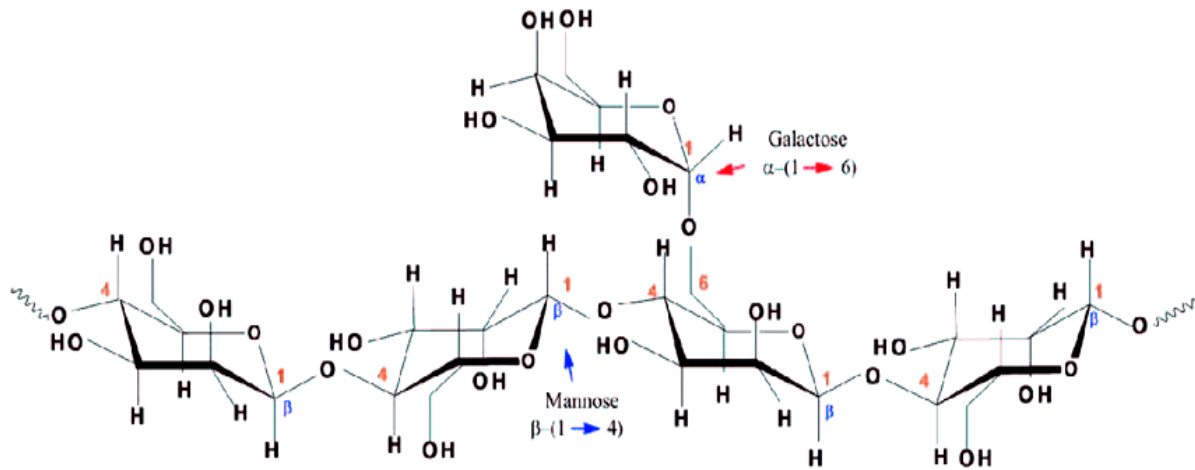


Figure 10: Structure moléculaire des galactomannanes de la gomme de caroube (Dakia *et al.*, 2010).

II.1.5. Cendres et minéraux

La teneur en cendres de la caroube se situe normalement entre 1 et 6 g/100 g (Calixto et Cañellas, 1982 ; Avallone *et al.*, 1997 ; Yousif et Alghzawi, 2000).

Les minéraux sont des micronutriments, dont l'organisme a besoin en petites quantités. Ils ont des fonctionnalités et des potentiels divers dans le métabolisme et l'homéostasie du corps et doivent être apportés par l'alimentation (Loullis et Pinakoulaki, 2017).

Ayaz *et al.* (2007) ont déterminé quatre minéraux majeurs (Ca, P, K et Mg) et quatre oligo-éléments sous forme traces (Fe, Cu, Mn et Zn).

II.1.6. Protéines et acides aminés

En général, la caroube peut être considérée comme une bonne source d'acides aminés selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en matière de protéines (Goulas *et al.*, 2016).

La fraction protéique de la pulpe de caroube se situe entre 2 et 7 % (Nasar-Abbas *et al.*, 2015 ; Avallone *et al.*, 1997). L'acide aspartique+asparagine (18,25%), l'alanine (10,55%), l'acide glutamique+glutamine (9,65%), la leucine (9,30%) et la valine (9,05%) représentent ensemble environ 57 % de la teneur totale en acides aminés de la pulpe, tandis que la cystéine se trouve à une plus faible concentration (0,8 %) (Ayaz *et al.*, 2007).

Une teneur en protéines plus élevée, pouvant atteindre 54,7%, se trouve dans le germe de caroube et contient tous les acides aminés connus (Tableau V). Le germe peut donc être considéré comme une "protéine complète". Selon la norme FAO/OMS (1991), tous les acides aminés essentiels (AAE) sont présents en quantités importantes. Le Trp est le premier AAE

limitant (73%), suivi du Met+Cys (92%). Le profil des acides aminés est dominé par l'acide glutamique (31,44%), l'arginine (12,25%) et l'acide aspartique (7,86%) (**Dakia et al., 2007**).

Tableau V: Composition du germe de la graine en acides aminés (**Dakia et al., 2011**).

Acides aminés	Teneur (%)
Asp+Asn	7,86
Thr	3,29
Ser	4,57
Glu+Gln	31,44
Pro	3,29
Gly	4,57
Ala	4,02
Val	3,83
Met	0,91
Cys-Cys	1,09
(Met+Cys)	2,3
Ile	3,10
Leu	6,03
Phe	3,10
Tyr	2,92
(Phe+Tyr)	6,0
His	2,56
Lys	5,48
Arg	12,25
Trp	0,73

La caroubine, protéine insoluble dans l'eau isolée à partir d'embryons de caroube, est un système protéique mixte composé de protéines de taille et de degré de polymérisation différents, présentant des propriétés rhéologiques similaires à celles du gluten (**Wang et al., 2001**). Il est bien connu que les protéines de germe de caroube ont une composition bien équilibrée en acides aminés (**Bengoechea et al., 2008**).

Pour le caroubier, les méthodes basées sur la détermination de la teneur en azote sont le plus souvent appliquées. Dans cette méthode, le pourcentage de la concentration d'azote est ensuite multiplié par un facteur standard (6,25) pour le corrélérer à la teneur en protéines correspondante (**Calixto et Cañellas, 1982**).

II.1.7. Lipides et acides gras

Les graisses alimentaires sont principalement fournies sous forme de triacylglycérols. Après leur absorption à travers la barrière intestinale, les acides gras sont redistribués dans le corps humain (**Colette et Monnier, 2011**).

Chez la caroube, la teneur en graisse est très faible, comprise entre 0,4 et 1,3 %. La graisse de caroube est composée principalement d'acides linoléiques (C18:2n-6) et linoléniques (C18:3n-3) polyinsaturés, d'acides oléiques (C18:1n-9) monoinsaturés et d'acides palmitiques (C16:0) et stéariques (C18:0) saturés (**Gubbuk et al., 2010**).

Bien que la teneur totale en graisse soit très faible, la composition en acides gras de la caroube est de bonne qualité, en termes de rapports n-6 : n-3 et AGPI : AGS. En outre, la faible teneur en matières grasses pourrait également contribuer à la longue durée de conservation de la caroube (**Sigge et al., 2011**).

II.2. Utilisations du caroubier

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 (**Aafi, 1996**).

II.2.1. Arbre

Aujourd'hui, les caroubiers sont cultivés pour la reforestation dans les sols pauvres et les environnements secs des zones côtières de certaines régions méditerranéennes (**Dakia, 2011**). C'est également une ressource précieuse pour le reboisement afin de gérer l'érosion des terres marginales (**Biner et al., 2007**).

II.2.2. Fruit

L'utilisation du fruit entier, pour la consommation humaine est limitée, en raison d'un fort niveau de tannins provoquant un excès d'astringence. En Sicile, la farine des gousses est utilisée dans l'alimentation humaine depuis des siècles, pour préparer des gâteaux (**Avallone et al., 1997**). La gousse de caroube était traditionnellement utilisée pour la pulpe (Tableau VI) pour l'alimentation des animaux, elle est également employée pour la production d'alcool (éthanol), d'acide citrique ou comme substitut du chocolat ou du cacao (**Yousif et Alghzawi, 2000**).

II.2.3. Graines

Les graines de la caroube sont utilisées dans l'industrie alimentaire pour leur teneur en gomme (LBG/CBG ou E410) comme stabilisateur et épaississant (Tableau VI). Toutefois, la gomme de caroube est utilisée dans de multiples industries (Tableau VII) (**Battle et Tous, 1997**).

Tableau VI: Utilisations de la pulpe et des graines de caroube (Batlle et Tous, 1997).

Produit	Traitement	Utilisations	
Pulpe Croquettes	Aucun	Alimentation animale (chevaux et ruminants)	
	Moulage	Alimentation animale (ruminants et non-ruminants)	
	Extraction et purification	Sucre et mélasse	
	Fermentation et distillation	Alcool et production de protéines microbiennes	
	Extraction	Tannins comme anti-diarrhéiques	
Poudre	Lavage, séchage, torréfaction et moulage	Ingrédients alimentaires ; substituant du cacao; préparation de produits diététiques et pharmaceutiques	
Graines	Endosperme	Broyage	CBG ou E410 ; additif alimentaire (stabilisateur et épaississant) ; fibres diététiques ; aliments pour animaux de compagnie ; produits pharmaceutiques et cosmétiques
	Episperme	Extraction	Tannins pour le tannage du cuir

Tableau VII: Utilisations industrielles de la gomme de caroube (Batlle et Tous, 1997).

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

II.2.4. Feuilles

Les feuilles sont utiles pour l'alimentation des animaux. Associées avec le polyéthylène glycol (PEG), elles améliorent la digestibilité (**Rejeb *et al.*, 1991 ; Silanikove *et al.*, 1996 ; Priolo *et al.*, 2000**). Elles ont été utilisées en Turquie, dans la médecine « traditionnelle » pour traiter la diarrhée et dans l'alimentation diététique. Les feuilles sont caractérisées par une activité cytotoxique et antimicrobienne dues à leur richesse en tannins (**Priolo *et al.*, 2000 ; Kivçak et Mert, 2002**).

II.2.5. Fleurs, écorce et racines

Les fleurs sont utilisées par les apiculteurs pour la production du miel de caroube. Tandis que l'écorce et les racines sont utilisées en tannerie grâce à leur teneur en tannins. Le bois du caroubier, dur, de couleur rouge, est estimé dans la charbonnerie et la menuiserie (**Kaderi *et al.*, 2014**).

II.3. La caroube comme source du D-pinitol

Les fruits du caroubier comparés aux autres plantes sont les moins chères, sont cultivées naturellement, ont une teneur élevée en sucres et une méthode de transformation facile. Récemment, la caroube est devenue plus exploitée en raison de sa teneur en D-pinitol (**Turhan, 2013**). Le D-pinitol est un alcool sucre cyclique, considéré comme un composé thérapeutique et joue un rôle positif sur l'insulino-résistance (**Oziyci *et al.*, 2015**). Le D-pinitol a également un effet positif sur l'activité hypoglycémique (**Gao *et al.*, 2015**).

II.3.1. Extraction du D-pinitol

La méthode d'extraction du D-pinitol (voir annexe 1) à partir de la pulpe de caroube est une méthode d'extraction à plusieurs étapes (extraction, traitement enzymatique, fermentation, évaporation, ultrafiltration et extraction par solvant) (**Oziyci *et al.*, 2015**).

Le D-pinitol peut également être extrait par une méthode d'ultrasons avec un rendement plus élevé (**Tetik et Yüksel, 2014**). Par conséquent, l'extraction assistée par ultrasons pourrait être utilisée comme alternative à l'extraction conventionnelle à l'eau chaude, avec les avantages de températures d'extraction plus basses, d'un temps d'extraction plus court et d'une consommation d'énergie réduite (**Tetik et Yüksel, 2014**).

II.4. La caroube comme substrat de fermentation

Les principaux produits à valeur ajoutée issus de la biotechnologie pour la vie humaine sont les acides organiques (acide lactique, acide citrique, etc.), les enzymes (amylases, pectinases, etc.), les antibiotiques, l'insuline, le bioéthanol, les vaccins, etc. Ces produits à valeur ajoutée sont obtenus par un bioprocessus de réactions chimiques qui est catalysé par les enzymes produites par les bactéries, les moisissures et les levures (**Yatmaz et Turhan, 2018**).

En effet, la consommation d'énergie dans le monde est en constante augmentation, ce qui incite à rechercher des ressources énergétiques renouvelables et durables et à utiliser des procédés de production respectueux de l'environnement pour remplacer progressivement les combustibles fossiles. Le bioéthanol carburant est un produit biodégradable, moins toxique que le méthanol, il est considéré comme propre, renouvelable et vert ; sa combustion entraîne une diminution des émissions de dioxyde de carbone et est associée à un risque de formation d'ozone plus faible que l'essence et le diesel. Il constitue donc un vecteur énergétique alternatif et peu coûteux, capable de remplacer les combustibles fossiles (**Thangavelu et al., 2016**).

La gousse de caroube est considérée comme une source alternative prometteuse pour la production de bioéthanol (**Sánchez-Segado et al., 2012**). Elle a attiré de nombreux chercheurs en raison de sa forte teneur en sucres (**Saharkhiz et al., 2013**).

Zymomonas mobilis et *Saccharomyces cerevisiae* sont les microorganismes les plus utilisés pour la fermentation (**Saharkhiz et al., 2013**). Le complexe enzymatique de la levure (zymase) convertit les sucres en éthanol et en CO₂ (**Huang et Tang, 2007**).

Après la production du sirop de caroube, une quantité importante de sucres reste dans les déchets solides après l'étape de macération. **Bahry et al. (2017)**, ont proposé une stratégie pour la production de l'éthanol de deuxième génération à partir de déchets solides de caroube provenant d'une industrie alimentaire.

Selon **Bahry et al. (2017)**, la fermentation à l'état solide (SSF) (voir annexe 2) appliquée pour les déchets de caroube provenant de la préparation du sirop de caroube était plus simple à utiliser et plus rentable et qu'elle permettait de produire jusqu'à 155g/ (kg de déchets) d'éthanol.

II.5. Effets thérapeutiques

De nombreuses études ont révélé plusieurs réactions physiologiques au caroubier et à ses produits qui peuvent être pertinentes pour la promotion de la santé humaine et la prévention ou le traitement de certaines maladies chroniques (Goulas *et al.*, 2016).

II.5.1. Propriété antioxydante : Stress oxydatif

On retrouve une grande variété de radicaux libres et d'ions : Espèces réactives de l'oxygène (ROS) et espèces réactives de l'azote (RNS). Ces dernières sont générées de manière endogène par voie métabolique des cellules ou de manière exogène généralement par la pollution de l'air et de l'eau, la fumée de cigarette, les métaux lourds, certaines drogues et les radiations (Loullis et Pinakoulaki, 2017).

Selon la dose, ces radicaux libres peuvent jouer un double rôle en tant que composés bénéfiques ou toxiques. A faible dose, ils régulent plusieurs facteurs physiologiques des processus tel que la signalisation cellulaire. A des concentrations élevées, l'accumulation de ROS/RNS dans l'organisme provoque le stress oxydatif. Le stress oxydatif est à l'origine du développement de maladies chroniques telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives en modifiant la structure des cellules et leurs fonctions normales (Circu et Aw, 2010).

Les polyphénols sont des antioxydants exogènes qui neutralisent l'excès en ROS/RNS, la caroube étant riche en acides phénoliques, elle participe à la chélation des radicaux libres et donc prévient le stress oxydatif (Loullis et Pinakoulaki, 2017). L'extrait phénolique de caroube a des effets sur les cellules d'adénomes et protège ainsi les cellules contre les facteurs de stress oxydatif, en particulier H₂O₂ (Klenow *et al.*, 2009).

II.5.2. Effet antiathérogène

Les polyphénols jouent un rôle important dans l'inhibition de la peroxydation des lipoprotéines de faible densité (LDL), celles-ci en étant oxydées provoquent d'athérosclérose (Berrougui *et al.*, 2008). Les LDL sont les principaux transporteurs de cholestérol, d'ester de cholestérol et de triglycérides depuis leurs sites d'absorption et de synthèse vers les sites de bioactivités (Loullis et Pinakoulaki, 2017). Les polyphénols contenus dans les fibres de la caroube ont un effet bénéfique sur le sang humain de façon à réduire d'une part les concentrations de cholestérol total, de LDL et de triglycérides et à augmenter de l'autre part le

cholestérol HDL (Lipoprotéine de haute densité) (Zunft *et al.*, 2001 ; Zunft *et al.*, 2003 ; Gruendel *et al.*, 2006). D'après d'autres études, les fibres de la caroube présentent le même effet antiathérosclérotique sur les lapins (Valero-Munoz *et al.*, 2014).

II.5.3. Prévention du cancer

Le cancer est dû à une série de mutations ou d'altérations génétiques que subissent les cellules de l'organisme (Moadel et Harris, 2007). Les polyphénols ont un important potentiel chimiopréventif et sont des agents thérapeutiques naturels (Manson, 2003). Les extraits polyphénoliques aqueux de caroube diminuent la prolifération des cellules cancéreuses hépatocellulaires (Corsi *et al.*, 2002) ainsi que la viabilité des cellules cancéreuses du col de l'utérus par apoptose et les cellules cancéreuses du sein et de la prostate (Custodio *et al.*, 2011). De plus, les extraits polyphénoliques aqueux de la caroube inhibent la prolifération des cellules de carcinome et d'adénome du colon (Klenow *et al.*, 2009). Les mêmes résultats ont été observés pour l'extrait de fibres de caroube (Klenow *et al.*, 2008).

II.5.4. Effet antidiarrhéique

La valeur médicinale de la gomme de caroube consiste en sa capacité à réduire les infections gastro-intestinales à *Escherichia coli* productrices d'enterotoxines provoquant des diarrhées chez les nourrissons (Guggenbichler, 1983 ; Dakia *et al.*, 2011 ; Kaderi *et al.*, 2014). Les extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. ont un effet inhibiteur sur plusieurs souches d'*E.coli* et de *Staphylococcus*. En effet, les glyconutriments agissent comme prébiotiques spécifiquement pour la flore bénéfique et inhibent la surcroissance des bactéries pathogènes, permettant au caroubier d'être utilisé comme traitement sûr pour soulager rapidement et efficacement les diarrhées aiguës chez les enfants (Rtibi *et al.*, 2017).

II.5.5. Effet antidiabétique

La diminution de l'hyperglycémie post-prandiale par l'inhibition de deux enzymes clés associées au diabète sucré de type 2, telles que l' α -amylase et l' α -glucosidase, est une stratégie thérapeutique importante utilisée pour la régulation ou la gestion du diabète (type 2). En effet, l' α -glucosidase, après son activité de catalyse, libère du glucose dans le sang, ce qui provoque une augmentation de son taux. La réduction de l'absorption intestinale des glucides par les inhibiteurs de l' α -glucosidase limite l'augmentation du taux de glucose dans le sang (Rtibi *et al.*, 2017). Les décoctions aqueuses de feuilles, de farine de germe, de pulpe, de gomme de caroube et d'écorce de tige de caroubier ont une activité inhibitrice *in vitro* sur l' α -amylase,

l' α -glucosidase (**Custódio *et al.*, 2015**). Les inositols présentent un grand potentiel pour la santé et ont été proposés pour traiter des troubles tels que le diabète sucré, l'obésité, l'athérosclérose et l'hypertension (**Nasar-Abbas *et al.*, 2015**). Parmi les inositols, le d-pinitol joue un rôle important dans le contrôle du diabète (**Bates *et al.*, 2000**). L'administration orale de pinitol de caroube (10 mg/kg) a réduit de manière significative la glycémie entre 2 et 6 heures chez des rats diabétiques induits par la streptozotocine (**Kim *et al.*, 2005**).

II.5.6. Effet gastro-intestinal

Vivatvakin et Buachum, (2003) et **Miyazawa *et al.* (2007)** ont démontré que les agents épaississants tels que la gomme de caroube (galactomannanes) ont été administrés avec succès pour le traitement du reflux gastro-œsophagien (régurgitations) chez les nourrissons.

Chapitre III

La caroube dans le domaine alimentaire

III.1. La caroube comme substituant du cacao

Les substituts du cacao sont des substances qui peuvent être utilisées dans les biscuits, les gâteaux, les desserts ou le chocolat, pour le remplacement total ou partiel du cacao afin de réduire la teneur en matières grasses, ou pour apporter des caractéristiques différentes au produit final (Rosa *et al.*, 2015).

III.1.1. Comparaison entre les propriétés physico-chimiques de la poudre de caroube et de la poudre de cacao

La poudre de caroube est exempte des deux anti-nutriments que sont la caféine et la théobromine (Craig et Nguyen, 1984) et présente des niveaux de fibres brutes plus élevés que la poudre de cacao. Elle est également dépourvue d'acide oxalique présent dans le cacao, ce qui permet une meilleure absorption des minéraux (Yousif et Alghzawi, 2000).

La valeur du pH de la poudre de caroube torréfiée (4,81) est inférieure à celle de la poudre de caroube non torréfiée (5,96), à cause de l'acide pyruvique formé pendant la caramélisation au cours de la torréfaction (Lee *et al.*, 1990). Tandis que la poudre de cacao présente un pH alcalin (7,1) en conséquence du procédé néerlandais utilisé au cours de la fabrication du cacao (processus d'alcalinisation) (Yousif et Alghzawi, 2000).

Les teneurs des graisses, des cendres, des tannins et des protéines de la poudre de caroube torréfiée et non torréfiée sont inférieures à celles de la poudre de cacao (Yousif et Alghzawi, 2000).

En ce qui concerne la teneur en sucre, la poudre de caroube, torréfiée ou non, contient environ 20 fois plus de sucre que la poudre de cacao (Yousif et Alghzawi, 2000).

La couleur de la poudre de caroube torréfiée est très ressemblante à celle de la poudre de cacao (Yousif et Alghzawi, 2000).

L'activité de l'eau (A_w) de la poudre de caroube (0,33) et celle de la poudre cacao (0,18) sont faibles, cela améliorerait leur broyage en particules de très petite taille (Yousif et Alghzawi, 2000).

Yousif et Alghzawi, (2000) ont comparés entre les propriétés physico-chimiques des poudres de caroube et la poudre de cacao les valeurs sont représentées dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Propriétés chimiques et physiques des poudres de caroube (torréfiée et non torréfiée) et de la poudre de cacao (Yousif et Alghzawi, 2000).

Composition	Poudre de caroube non torréfiée	Poudre de caroube torréfiée	Poudre de cacao
Humidité (%)	11,07 ± 0,38	9,03 ± 0,05	2,51 ± 0,34
Protéines brutes (%)	5,54 ± 0,38	5,82 ± 0,08	22,9 ± 0,38
Lipides brutes (%)	0,30 ± 0,04	0,74 ± 0,12	22,88 ± 0,63
Cendres (%)	2,79 ± 0,22	2,48 ± 0,13	6,40 ± 0,63
Fibres brutes (%)	10,99 ± 0,51	7,24 ± 0,14	4,93 ± 0,50
pH	5,96 ± 0,02	4,81 ± 0,03	7,10 ± 0,05
Tannins (%)	3,1 ± 0,03	3,75 ± 0,12	4,91 ± 0,13
Sucres totaux (%)	45 ± 0,30	38,7 ± 0,51	2,16 ± 0,94
Activité de l'eau (A_w)	0,45	0,33	0,18
Couleur	0,21	0,85	0,70
Taille des particules (µm)	500	150	70

Ces dernières années, la demande de la poudre de cacao a augmenté et son approvisionnement s'est resserré, ce qui a entraîné une hausse constante de son prix. Par conséquent, il y a eu une incitation croissante à l'industrie alimentaire pour trouver un véritable substitut au cacao (Fadel *et al.*, 2006).

La poudre de caroube présente un grand potentiel pour remplacer la poudre de cacao, car elle contient des composants phytochimiques similaires à ceux du cacao (Loullis et Pinakoulaki, 2017). En effet, la poudre de caroube présente des avantages nutritionnels par rapport à la poudre de cacao, car elle contient moins de matières grasses et plus de fibres alimentaires (Yousif et Alghzawi, 2000). La poudre de caroube, contrairement au cacao, ne contient ni caféine, ni théobromine, ni acide oxalique. La caféine et la théobromine sont des stimulants bien connus, et l'acide oxalique, lorsqu'il entre en contact avec les tissus humains, réagit avec le calcium pour former de l'oxalate de calcium, qui est à l'origine des calculs rénaux (Nasar-Abbas *et al.*, 2015). En raison de sa richesse en sucres (majoritairement le saccharose), la caroube est utilisée comme édulcorant naturel (Yousif et Alghzawi, 2000). Une fois la caroube est torréfiée, sa teneur élevée en sucres favorise les mêmes réactions chimiques (Réactions de Maillard) qui se produisent lors de la torréfaction du cacao, induisant ainsi à la libération de précurseurs responsables d'un arôme et une saveur semblables. Compte

tenu de cette similitude aromatique et visuelle frappante, la caroube se présente comme étant un grand candidat à la substitution du cacao (**Quelal-Vásconez et al., 2018 ; Loullis et Pinakoulaki, 2017**).

Rosa et al. (2015) ont évalué l'effet du remplacement de la poudre de cacao par de la farine de caroube pour la préparation de gâteaux sans gluten à partir de farines de soja et de banane en examinant les propriétés physico-chimiques et sensorielles de cinq formulations de gâteaux (avec remplacement à 0, 25, 50, 75 et 100% de la poudre de cacao par de la farine de caroube). Le remplacement de la poudre de cacao par la farine de caroube a permis d'augmenter la teneur en fibres alimentaires des gâteaux, de réduire leur teneur en lipides et en glucides et de diminuer leur teneur en calories. Le remplacement croissant de la poudre de cacao par la farine de caroube a entraîné une diminution de la cohésion, de l'élasticité et de la résilience des gâteaux. Les attributs sensoriels n'ont pas montré de différences significatives pour les gâteaux avec le remplacement de jusqu'à 75% de la poudre de cacao par de la farine de caroube.

Ces résultats indiquent qu'il est possible de préparer des gâteaux sans gluten en utilisant de la farine de caroube pour remplacer la poudre de cacao, qui est riche en protéines, en fibres et faible en calories et présente des caractéristiques sensorielles agréables pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque (**Rosa et al., 2015**).

Salih et Jilal, (2020) ont développé trois produits alimentaires enrichis en poudre de caroube (Pain, Cake et Flocons). Leurs résultats ont montré que les produits testés étaient acceptables du point de vue aspect et goût. Le pain et le cake enrichis avec de la poudre de caroube ont été appréciés par la majorité des dégustateurs (plus de 80%) ont jugé le pain «agréable» et le cake «très agréable». Par conséquent, l'utilisation de la caroube comme ingrédient dans ces deux produits a eu un effet extrêmement positif sur leur apparence générale et leur goût. Pour les flocons, ce produit a été accepté par la moitié des dégustateurs. Grâce à sa teneur élevée en sucres, l'ajout de la caroube a permis également de réduire de 50% la quantité de sucre dans le cake et de formuler des flocons sans ajout de sucre.

III.1.2. Préparation de la poudre de caroube

La transformation des gousses de caroube permettant d'obtenir la poudre de caroube qui passe par plusieurs étapes (Figure 11).

III.1.2.1. Étapes préparatoires

Le traitement des gousses de caroube commence par un triage où sont sélectionnées des gousses d'apparence saine et non endommagées. Les gousses sont lavées à l'eau pour enlever toute saleté, terre ou poussière. Un séchage, au soleil ou mécanique, peut ensuite être appliqué (Batlle et Tous, 1997).

III.1.2.2. Croquettes

Les gousses sont écrasées mécaniquement de façon grossièrement en petits fragments pour permettre une séparation faciles des deux principaux composants, les graines et la pulpe (Batlle et Tous, 1997).

III.1.2.3. Torrification

La température et la durée de torrification affectent fortement les propriétés chimiques de la poudre de caroube. Cependant, le temps de torrification est un facteur critique déterminant la qualité globale du produit (Şahin *et al.*, 2009).

Selon Yousif et Alghzawi, (2000), les températures de torrification inférieures à 80°C ne sont pas efficaces pour produire une poudre de caroube acceptable, alors que les températures supérieures à 400°C sont difficiles à contrôler. La meilleure combinaison temps/température pour la torrification de la caroube croquée est de 150°C pendant 60 min permettant d'obtenir les meilleures caractéristiques sensorielles.

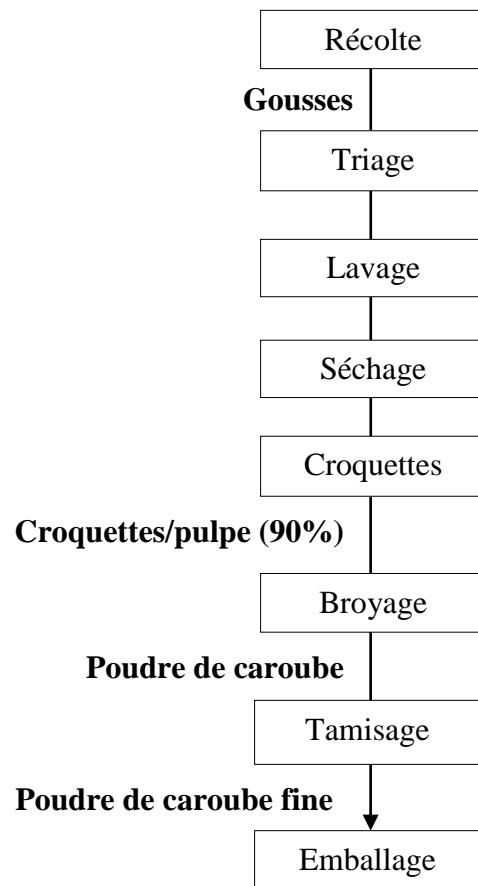


Figure 11 : Processus de préparation de la poudre de caroube (Iipumbu, 2008).

III.1.2.4. Broyage

Pour obtenir de la poudre de caroube, le broyage des croquettes torréfiées ou non peut être effectué à l'aide d'équipements de broyage lourds tels que des broyeurs à marteaux motorisés (traitement commercial) ou à l'aide de petits équipements de broyage (mortier et pilon) au niveau de la cuisine (Batlle et Tous, 1997).

La taille des granulés de la poudre résultante est principalement déterminée par le type et la taille de l'équipement de broyage utilisé, la taille des morceaux (croquettes) et la composition, en particulier la teneur en humidité des matières premières avant le broyage (Iipumbu, 2008).

III.1.2.5. Emballage

Les matériaux d'emballage à contact alimentaire jouent un rôle incontournable en matière de protection des denrées mais aussi de conservation des qualités nutritionnelles et organoleptiques (Severin *et al.*, 2011).

Les sacs en polyéthylène se sont avérés les plus appropriés pour l'emballage de la poudre de caroube (Yousif et Alghzawi, 2000). Cela est dû à l'absence de phénomènes de migration du contenant vers le contenu et vice versa (Limam, 2002).

III.2. La gomme de caroube comme additif alimentaire

Le produit à base de caroube le plus utilisé, notamment dans l'industrie alimentaire, est la gomme de caroube (CBG ou LBG) (Figure 12) (El Batal *et al.*, 2013). Utilisée industriellement comme additif alimentaire (E410) et connue pour ses propriétés texturantes: épaississantes et stabilisantes. Elle rentre notamment dans la composition des crèmes glacées, des mayonnaises, des produits de boulangeries, des soupes, des aliments pour bébés, des produits laitiers, etc. (Gillet *et al.*, 2014). Elle est également utilisée dans les industries non alimentaires (produits pharmaceutiques, cosmétiques, peintures, cirage, textiles et du papier...) (Batlle et Tous, 1997). La gomme a la capacité de former une solution très visqueuse à une concentration relativement faible et elle est exploitée pour sa propriété de synergie avec le carraghénane, l'agar et le xanthane pour former des gels plus forts et plus élastiques (Pedersen, 1980 ; Sanchez *et al.*, 2000).



Figure 12: La gomme de caroube (Anonyme, 2017).

III.2.1. Extraction et purification de la gomme de caroube

L'extraction et la purification de la gomme des graines est un processus lent et difficile, principalement en raison de la dureté du tégument de la graine (Kawamura, 2008).

Premièrement, les gousses de caroube sont concassées et les graines sont récupérées.

Deuxièmement, les téguments des graines sont enlevés. Pour ce faire, quatre procédés distincts peuvent être utilisés.

-Procédé chimique : consiste à carboniser les enveloppes coriaces à l'aide d'un traitement à l'acide sulfurique (**Wielinga, 1990**) suivi d'un lavage et un brossage afin d'éliminer les fragments restants. Ce procédé permet d'obtenir une gomme de caroube blanche de haute viscosité (**Kawamura, 2008**).

-Procédé thermique : repose sur l'éclatement plus ou moins complet de l'enveloppe par rôissage à des températures allant jusqu'à 550°C au moins, de sorte que l'enveloppe se détache en grande partie. Les fragments d'enveloppes résiduels sont éliminés mécaniquement par frottement (**Wielinga, 1990**).

Les deux traitements précédents sont agressifs car ils réduisent le potentiel de LBG à développer des viscosités élevées (**Pollard et al., 2008**).

-Procédé mécanique : Grâce à des broyeurs à marteaux ou autre décortiqueuse et appareil dégermeur, les téguments sont séparés de l'endosperme de la graine. Dans ce cas, il est possible d'obtenir un endosperme pur et intact, et non mélangé aux enveloppes et au germe (**Gillet, 2018**).

-Procédé physique : consiste à tremper les graines dans une solution aqueuse puis procéder à une congélation (**Gillet et al., 2014**).

Ensuite, les radicules sont écrasées par broyage mécanique et éliminées par tamisage. Il ne reste alors plus que les endospermes qui seront broyés en fines particules pour obtenir la gomme de caroube brute (**Gillet et al., 2014**).

Par ailleurs, la gomme de caroube subit différentes étapes de purification (clarification) dans le but d'éliminer les odeurs, les impuretés et les enzymes endogènes (**Lopes da Silva et Gomçalves, 1990**). La clarification consiste à une solubilisation de la gomme de caroube dans de l'eau par augmentation de la température, dans la soude ou dans l'acide acétique à 1% (**Dea et Morrison, 1975**) suivie d'une étape de filtration (**Gillet, 2018**) ou de centrifugation afin d'éliminer la fraction insoluble (**Dea et Morrison, 1975**).

Enfin, les galactomannanes sont précipités à l'aide de solvant généralement l'éthanol ou l'isopropanol. Le précipité est récupéré par filtration, séché et broyé en fines particules. Ainsi, la gomme de caroube obtenue (Figure 13) est dite clarifiée (extraite et purifiée) (**Kawamura, 2008**).

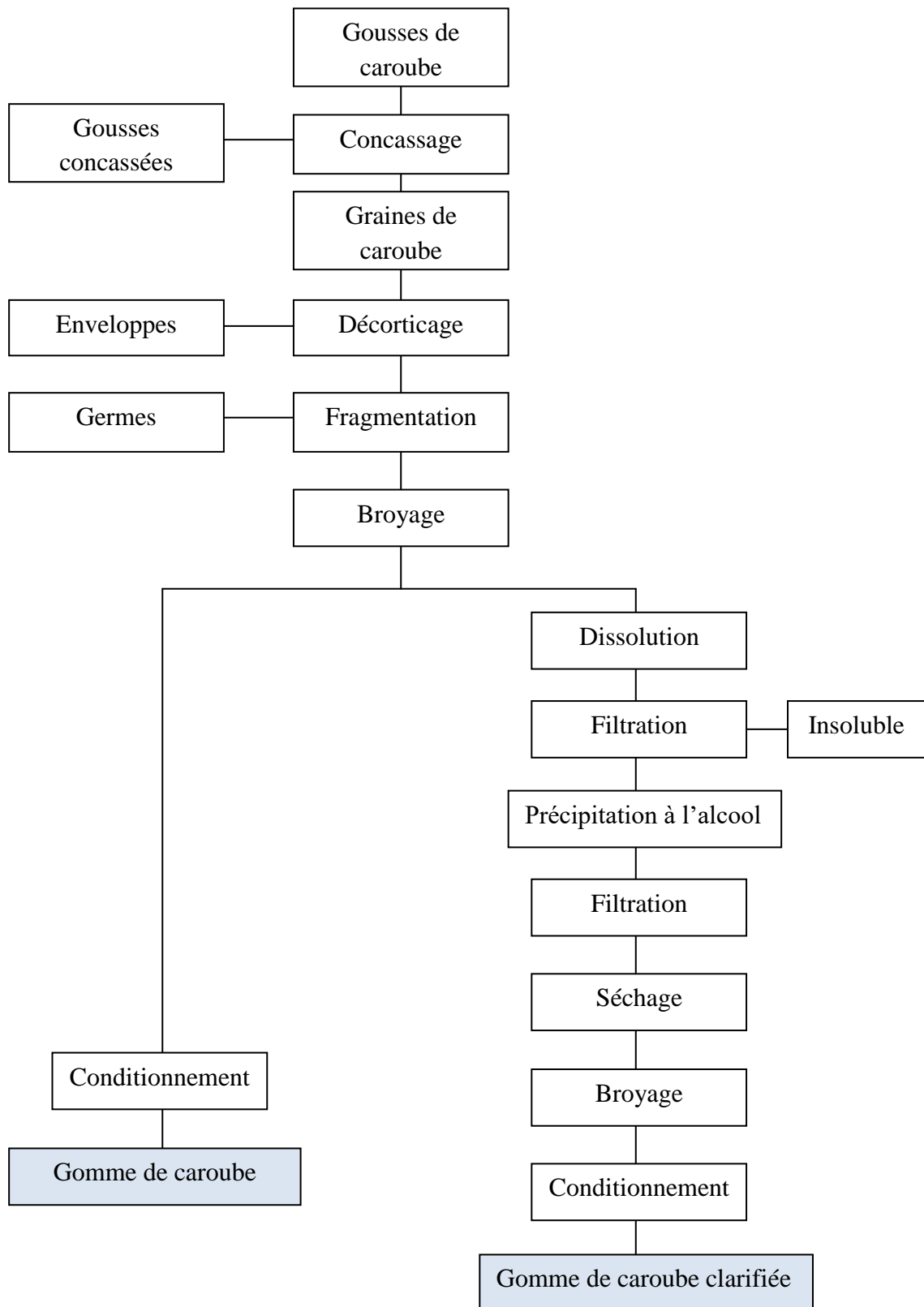


Figure 13: Schéma du procédé d'extraction et de purification de la gomme de caroube (Kawamura, 2008).

III.3. Le sirop de caroube comme substitut du sucre

Une autre utilisation de la gousse est l'exploitation de sa forte teneur en sucres. Elle contient environ 200-500 g/kg de sucres totaux, soit une teneur en sucres plus élevée que celle de la betterave ou de la canne à sucre, qui est inférieure à 200g/kg (**Petit et Pinilla, 1995**).

Le sirop de caroube est préparé selon la méthode traditionnelle utilisée par les familles tunisiennes (voir annexe 3). Pour commencer, les gousses de caroube sont lavées à l'eau et séchées dans le four pendant 30 minutes à 40°C. Après décorticage des gousses et élimination des graines, les pulpes de caroube sont broyées puis filtrées à travers une toile (**Dhaouadi et al., 2014**).

Ensuite, les pulpes sont laissées macérer dans de l'eau puis bouillies pendant 30 minutes. La solution est ensuite filtrée et la boisson sucrée est évaporée sous vide jusqu'à 70°Brix (**Ozcan et al., 2007 ; Dhaouadi et al., 2014**).

Le sirop de caroube fabriqué peut être utilisé dans diverses formulations alimentaires comme alternative au sucre. Il est généralement utilisé pour ramollir et conserver les fruits de saison ou pour la préparation de gâteaux, de biscuits et de confiseries maison. Il peut également être utilisé comme garniture pour les desserts, à verser sur des brochettes ou des crêpes, en faisant mariner la viande, ou comme édulcorant dans les boissons chaudes ou froides (**Nasar-Abbas et al., 2015**).

Le jus de caroube, lorsqu'il est évalué par rapport au jus de raisin, a été jugé comparable en propriétés sensorielles (**Rababah et al., 2013**). La production de sirop de caroube est presque la même que celle de la mélasse de raisin (**Yatmaz et Turhan, 2018**).

Ces sous-produits alimentaires sont largement utilisés dans de nombreux pays d'Afrique du Nord, certains des pays du Moyen-Orient comme l'Égypte et d'Arabie (**Dhaouadi et al., 2014 ; Nasar-Abbas et al., 2015**).

III.4. La caroube dans les produits laitiers

Le lait se prête à de très nombreuses transformations et donne naissance à une multitude de produits laitiers qui sont au cœur de notre alimentation, tel que le yaourt (voir annexe 4), les crèmes glacées (voir annexe 5) et autres produits laitiers qui font ainsi partie de notre quotidien et contribuent, à notre équilibre alimentaire (**Bourlioux et al., 2011**).

Le Codex Alimentarius autorise l'utilisation de divers ingrédients facultatifs, tels que les régulateurs d'acidité, les agents de carbonatation, les colorants, les émulsifiants, les exhausteurs de goût, les conservateurs, les stabilisateurs et les épaississants et édulcorants dans les laits fermentés. Les additifs, tels que la gomme de caroube, la gélatine, l'amidon, la carraghénine, la gomme xanthane et la gomme de guar, les alginates, la carboxyméthylcellulose et l'agar, peuvent être utilisés pour améliorer les caractéristiques de la texture, de la consistance et de l'apparence du yaourt (**De Oliveira, 2014**).

III.4.1. La gomme de caroube dans les yaourts allégés

Les consommateurs, les organismes de réglementation et l'industrie alimentaire sont de plus en plus conscients de l'importance cruciale du régime alimentaire pour la santé et le bien-être des êtres humains (**Chaput et al., 2012 ; Milliron et al., 2012**).

En particulier, l'augmentation des maladies chroniques liées à la surconsommation de calories suscite une inquiétude croissante. Les laboratoires de recherche universitaires, gouvernementaux et industriels ont donc été activement impliqués dans la formulation d'aliments à teneur réduite en calories, tels que des versions allégées ou sans matières grasses de produits alimentaires traditionnels (**Hoefkens et al., 2011 ; Nehir El et Simsek, 2011**).

La graisse dans les aliments peut être partiellement ou totalement remplacée par une large gamme de produits, classés comme mimétiques et substituts de graisse. Les mimétiques de graisse sont des matériaux, généralement à base de glucides et/ou de protéines (**Nehir El et Simsek, 2011**).

Parmi les matières grasses mimétiques non caloriques on a la gomme de caroube (**Nehir El et Simsek, 2011**). L'incorporation des mimétiques de matières grasses sert à imiter les propriétés organoleptiques ou physiques des triacylglycérols (**Swanson, 2006**).

Les hydrocolloïdes alimentaires (tels que l'amidon, les gommes et les protéines) sont couramment utilisés dans les produits alimentaires à faible teneur en graisses pour remplacer

certaines des caractéristiques habituellement fournies par les gouttelettes de graisse (**Chung et al., 2013**).

Les protéines de lactosérum et les protéines de caséine ont la capacité d'interagir avec les hydrocolloïdes, mais que cette réactivité semble dépendre fortement de la concentration de la gomme et du traitement thermique. L'optimisation du rapport protéines:gomme peut être nécessaire pour maximiser la réaction entre les hydrocolloïdes et les protéines afin de produire des solutions visqueuses (**Schmidt et Smith, 1992**).

L'ajout de la gomme de caroube (LBG) apporte une bonne stabilité et une texture souhaitable dans les yaourts allégés (**Fizman et al., 1999 ; Sanchez et al., 2000**). La gomme de caroube, lorsqu'elle est ajoutée à 0,02 % dans un yaourt à faible teneur en matières grasses, augmente la fermeté, la viscosité et la capacité de rétention d'eau et réduit la synérèse (**Ünal et al., 2003**).

III.4.2. Le concentré de jus de caroube (CJC) dans le yaourt

Ces dernières années, l'utilisation d'additifs alimentaires naturels et l'incorporation de substances favorables à la santé dans l'alimentation ont suscité un intérêt croissant. L'un de ces additifs est la caroube. Il s'agit d'un édulcorant naturel (**Yousef et Alghzawi, 2000**).

Le concentré de jus de caroube (CJC) ou sirop de caroube est produit par l'ébullition de jus de caroube sans ajout d'ingrédients ni de techniques technologiques. En raison de la caramélisation et des réactions de brunissement non enzymatiques, la couleur du CJC est brune et jaune foncé (**Atasoy, 2009**).

Le CJC est directement consommé ou mélangé avec du yaourt en Turquie. Le mélange de CJC et de yaourt est largement fabriqué et consommé à domicile, surtout pendant les saisons hivernales. Les fruits cultivés localement contribuent à l'alimentation traditionnelle dans de nombreuses régions du monde (**Atasoy, 2009**).

Le sirop de caroube est un sous-produit riche en sucres. Cependant les bactéries lactiques se sont avérées efficaces pour la fermentation des sucres du sirop de caroube (**Bouhadi, 2017**).

Le sirop de caroube convient à la production de yaourts aromatisés, mais à des concentrations élevées, il entraîne une prolongation du temps de fermentation dû probablement à la forte teneur en sucre du sirop ce qui inhibe la croissance de la culture de

départ du yaourt. Par conséquent le développement acide devient lent et provoque une augmentation de la synérèse (Atasoy, 2009).

III.4.3. La gomme de caroube dans les glaces

La crème glacée est un produit laitier congelé consommé à l'état congelé où les processus de congélation et de fouettage sont des opérations unitaires importantes pour le développement de la structure, de la texture et de la palatabilité souhaitées. En tant qu'aliment complexe, elle est constituée de petites cellules d'air dispersées dans une phase aqueuse continue partiellement congelée (Bahramparvar et Tehrani, 2011).

La gomme de caroube, seule ou en combinaison avec la gomme de guar, est utilisée dans les produits laitiers surgelés pour ses propriétés texturales. Elle est notamment utilisée comme épaississant et stabilisateur dans les glaces (Barak et Mudjil, 2014).

La principale fonction des polysaccharides dans la crème glacée est liée à la stabilisation (contrôler la recristallisation de la glace, empêcher la croissance des cristaux de glace en raison des fluctuations de température pendant la congélation et le stockage, prévention de la séparation des phases), à l'épaississement, à la texture, au choc thermique et à la résistance à la fonte (Regand et Goff, 2002 ; Yousefi et Jafari, 2019). Les hydrocolloïdes peuvent affecter la qualité de la fonte de la crème glacée, car ils ont la capacité de lier l'eau et donc d'améliorer la microviscosité des crèmes glacées (Marshall *et al.*, 2012). Il a été révélé qu'une concentration plus élevée d'hydrocolloïdes a généralement une relation directe avec la diminution du taux de fonte de la crème glacée (Cropper *et al.*, 2013 ; Varela *et al.*, 2014).

Les stabilisateurs servent également à empêcher la séparation des phases pendant la fonte (Bolliger *et al.*, 2000) afin de créer un produit plus rigide pendant la congélation et ajouter de la douceur à l'ensemble du corps (Goff *et al.*, 1993). Dans la crème glacée, les stabilisants sont souvent utilisés à des concentrations allant de 0,1 à 0,5%, les types les plus courants étant la carboxyméthylcellulose, la cellulose microcristalline, la gomme de guar et la gomme de caroube (LBG) (Cropper *et al.*, 2013).

Flores et Goff, (1999) et de Goff et al. (1999) suggèrent que la gomme de caroube peut fonctionner en formant un réseau de type gel.

Regand et Goff, (2002) ont étudié les mécanismes impliqués dans l'inhibition de la croissance des cristaux de glace pendant la recristallisation par les hydrocolloïdes. Ils ont

suggéré que l'effet de gélification et la rétention d'eau par les protéines et les polysaccharides entraînent une diminution de la vitesse de recristallisation. Cependant, les interactions moléculaires entre les polysaccharides et les protéines semblent être des facteurs clés pour retarder la recristallisation de la glace.

Selon **Bahramparvar et Tehrani, (2011)**, la gomme de caroube est un stabilisant puissant, utilisé à des niveaux de 0,1 à 0,2%. Ils l'ont considéré comme étant une gomme idéale pour la stabilisation de la crème glacée pour les raisons suivantes:

- Elle crée une viscosité uniforme, moyenne et reproductible qui n'est pas détruite par l'agitation ;
- Elle refroidit uniformément et permet d'incorporer facilement de l'air dans le mélange ;
- Elle offre une résistance supérieure aux chocs thermiques ;
- Elle ne produit aucun goût ni aucune propriété masquant la saveur du mélange.

Cropper *et al.* (2013) ont constaté que l'agrégation des graisses peut non seulement être affectée par les émulsifiants, mais que les stabilisateurs peuvent jouer un rôle en contribuant à la déstabilisation des globules gras.

III.4.4. La poudre de caroube dans les glaces

El-kholy (2015) a montré que la gravité spécifique, le poids par gallon et le point de congélation du mélange de crème glacée augmente par le remplacement partiel des solides non gras (SNG) par la poudre de caroube. En outre, l'ajout de la farine de caroube a entraîné une augmentation significative de la viscosité apparente, de la viscosité plastique et de l'indice de consistance tout au long de la période de maturation à $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures. De plus, la résistance à la fonte (faible capacité de fonte) de la glace de caroube a montré une proportion positive avec les niveaux de remplacement de la poudre de caroube. Le remplacement partiel des SNG de la glace par la poudre de caroube jusqu'à 24 % peut procurer à la glace au goût de caroube de bonnes caractéristiques physiques et sensorielles.



Conclusion et perspectives

La synthèse bibliographique réalisée avait pour objectif de mettre en valeur un produit qui est la caroube (*Ceratonia siliqua* L.). Un tel fruit avec des potentiels et des aptitudes à la transformation alimentaire industrielle devrait avoir sa place dans le secteur agroalimentaire et c'est ce qui a attiré l'intérêt de plusieurs chercheurs. Le caroubier en Algérie est face à une négligence de ses grandes valeurs, il n'a pas encore eu la place qu'il mérite au niveau des industries malgré les retombées économiques et les valeurs thérapeutiques et nutritionnelles qu'il peut avoir.

Les opérateurs cherchent sans cesse à améliorer la qualité de leurs produits et rationaliser les coûts de production. Un produit moins cher que le cacao avec les mêmes qualités gustatives et contrairement au cacao ne contient pas d'excitants tels que la caféine et la théobromine. La poudre de caroube se présente comme étant un grand candidat à la substitution du cacao.

Le sirop de caroube peut être utilisé dans diverses formulations alimentaires comme alternative au sucre. Il s'agit d'un édulcorant naturel. Ceci peut intéresser les industriels du point de vue économique et nutritionnel.

La gomme de caroube utilisée industriellement comme additif alimentaire (E410) est connue pour ses propriétés épaississantes et stabilisantes. Elle a également la propriété de synergie avec le carraghénane, l'agar et le xanthane pour former des gels plus forts et plus élastiques. Pour cela, les industries alimentaires pourraient l'utiliser pour remplacer certains additifs alimentaires d'origine animale.


Les industries agroalimentaires qui activent dans le domaine de la biscuiterie, chocolaterie, laiterie et la fabrication de la glace devraient se tourner vers l'utilisation et l'exploitation de la caroube. La SARL Boublenza a déjà le pied dans ce domaine, car après sa réussite dans l'exportation de la poudre de caroube, aujourd'hui, elle s'intéresse au marché local pour alimenter les industries par ce produit en tant que substitut du cacao.

Au terme de ce travail, nous pouvons donc dire que les industries alimentaires locales devraient être conscientes du potentiel de la caroube qui peut être utilisée comme ingrédient dans divers produits alimentaires transformés en améliorant leurs caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles.

En termes de perspectives dans le but de sauver la situation du caroubier, notamment celle de sa culture qui demeure déplorable et tend à disparaître moyennant sa substitution par d'autres cultures, essentiellement par l'olivier, de développer les produits alimentaires à base de caroube et d'intensifier les recherches de cette filière, il serait intéressant de :

- Les universités et les chercheurs peuvent donner une forte impulsion à la culture du caroubier en s'intéressant à l'étude génétique de cette espèce qui est une étape essentielle et préliminaire afin d'identifier les différentes variétés existantes en Algérie ;
- L'amélioration du caroubier nécessite l'appui de la biotechnologie, dont l'utilité est devenue indispensable pour la mise en place de tous programmes modernes d'amélioration génétique. Ainsi, il est possible par le biais de la culture *in vitro* de multiplier conformément et en un temps réduit un très grand nombre de clones sélectionnés ;
- Il est dans l'obligation des autorités responsables de mettre en place des programmes de développement agricole afin d'appuyer le quotidien de la population rurale qui endure une vie difficilement surmontable ;
- Inciter les industriels à l'utilisation des dérivés du caroubier dans la fabrication de produits alimentaires, pharmaceutiques...etc., tout en les encourageant à promouvoir par le biais du pouvoir marketing la consommation de leurs produits.

Références bibliographiques



A

- Aafi, A. (1996). Le caroubier: Caractères botaniques et écologiques, groupements végétaux, techniques d'élevage en pépinière, traitement et soins culturaux, utilisation et production. *Centre national de la recherche forestière. Maroc*, 1-7.
- Akşit, S., Çag˘layan, S., Cukan, R., &Yaprak, I. (1998). Carob bean juice: a powerful adjunct to oral rehydration solution treatment in diarrhoea. *Paediatric and perinatal epidemiology*, 12(2), 176-181.
- Almanasrah, M., Roseiro, L. B., Bogel-Lukasik, R., Carvalheiro, F., Brazinha, C., Crespo, J., ...& Duarte, L. C. (2015). Selective recovery of phenolic compounds and carbohydrates from carob kibbles using water-based extraction. *Industrial Crops and Products*, 70, 443-450.
- Atasoy, A. F. (2009). The effects of carob juice concentrates on the properties of yoghurt. *International journal of dairy technology*, 62(2), 228-233.
- Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M., & Monzani, A. (1997). Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. *Journal of food composition and analysis*, 10(2), 166-172.
- Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S., Correia, P. J., Alaiz, M., Sanz, C., ...& Strnad, M. (2007). Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *Journal of Food Quality*, 30(6), 1040-1055.
- Ayaz, F. A., Torun, H., Glew, R. H., 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 for human nutrition*, 64(4), 286.

B

- Bahramparvar, M., & Mazaheri Tehrani, M. (2011). Application and functions of stabilizers in ice cream. *Food reviews international*, 27(4), 389-407.
- Bahry, H., Pons, A., Abdallah, R., Pierre, G., Delattre, C., Fayad, N., ...& Vial, C. (2017). Valorization of carob waste: Definition of a second-generation bioethanol production process. *Bioresource technology*, 235, 25-34.
- Barak, S., & Mudgil, D. (2014). Locust bean gum: processing, properties and food applications—a review. *International journal of biological macromolecules*, 66, 74-80.
- Bates, S. H., Jones, R. B., & Bailey, C. J. (2000). Insulin-like effect of pinitol. *British journal of pharmacology*, 130(8), 1944-1948.
- Battle, I. and J. Tous. 1997. Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Bengoechea, C., Romero, A., Villanueva, A., Moreno, G., Alaiz, M., Millán, F., ...& Puppo, M. C. (2008). Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L.) germ proteins. *Food chemistry*, 107(2), 675-683.

Berrougui, H., Loued, S., Elghmari, A., Bouadili, A., Haddadi, B., & Khalil, A. (2008). *Antiatherogenic effect of Ceratonia Siliqua L. extract: inhibition of lipid peroxidation, inflammation and enhancement of cholesterol efflux. Chemistry and Physics of Lipids*, 154, S53–S54.

Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007). Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chemistry*, 100(4), 1453-1455.

Bolliger, S., Wildmoser, H., Goff, H. D., & Tharp, B. W. (2000). Relationships between ice cream mix viscoelasticity and ice crystal growth in ice cream. *International Dairy Journal*, 10(11), 791-797.

Boublenza, I., Ghezlaoui, S., Mahdad, M., Vasai, F., & Chemat, F. (2019). Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Scientia Horticulturae*, 256, 108537.

Bourlioux, P., Braesco, V., & Mater, D. D. (2011). Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(6), 305-314.

C

Caligiani, A., Marseglia, A., & Palla, G. (2016). *Cocoa: Production, Chemistry, and Use. Encyclopedia of Food and Health*, 185–190.

Calixto, F. S., & Cañellas, J. (1982). Components of nutritional interest in carob pods (*Ceratonia siliqua*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(12), 1319-1323.

Cavdarova, M., & Makris, D. P. (2014). Extraction kinetics of phenolics from carob (*Ceratonia siliqua* L.) kibbles using environmentally benign solvents. *Waste and Biomass Valorization*, 5(5), 773-779.

Chaput, J. P., Doucet, E., & Tremblay, A. (2012). Obesity: a disease or a biological adaptation? An update. *Obesity reviews*, 13(8), 681-691.

Chung, C., Degner, B., & McClements, D. J. (2013). Designing reduced-fat food emulsions: Locust bean gum–fat droplet interactions. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 263-270.

Circu, M. L., & Aw, T. Y. (2010). Reactive oxygen species, cellular redox systems, and apoptosis. *Free Radical Biology and Medicine*, 48(6), 749-762.

- Colette, C., & Monnier, L. (2011). Acides gras: classification, fonction et équilibre entre les différentes familles: Fatty acids: Classification, function and balance between the different families. *Médecine des maladies métaboliques*, 5(3), 237-245.
- Corsi, L., Avallone, R., Cosenza, F., Farina, F., Baraldi, C., & Baraldi, M. (2002). Antiproliferative effects of *Ceratonia siliqua* L. on mouse hepatocellular carcinoma cell line. *Fitoterapia*, 73(7-8), 674-684.
- Craig, W. J., & Nguyen, T. T. (1984). Caffeine and theobromine levels in cocoa and carob products. *Journal of Food Science*, 49(1), 302-303.
- Cropper, S. L., Kocaoglu-Vurma, N. A., Tharp, B. W., & Harper, W. J. (2013). Effects of locust bean gum and mono-and diglyceride concentrations on particle size and melting rates of ice cream. *Journal of food science*, 78(6), C811-C816.
- Cruz, C., Lips, S. H., & Martins-Loucao, M. A. (1993). Effect of root temperature on carob growth: nitrate versus ammonium nutrition. *Journal of plant nutrition*, 16(8), 1517-1530.
- Custódio, L., Patarra, J., Alberício, F., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., & Romano, A. (2015). *In vitro* antioxidant and inhibitory activity of water decoctions of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) on cholinesterases, α -amylase and α -glucosidase. *Natural Product Research*, 29(22), 2155-2159.

D

- Dakia, P. A. (2011). Carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds, endosperm and germ composition, and application to health. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 293-299). Academic Press.
- Dakia, P. A., Blecker, C., Robert, 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(5), 807-818.
- Dakia, P. A., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ. *Food Chemistry*, 102(4), 1368-1374.
- 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*
- Da Silva, J. L., & Gonçalves, M. P. (1990). Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. *Food Hydrocolloids*, 4(4), 277-287.
- DEA, I. C. M., & MORRIS, E. R. (1977). *Synergistic Xanthan Gels. Extracellular Microbial Polysaccharides*, 174-182.

Dea, I. C., & Morrison, A. (1975). Chemistry and interactions of seed galactomannans. In *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry* (Vol. 31, pp. 241-312). Academic Press.

De Candolle, A. (1883). *Origine des plantes cultivées* (Vol. 43). G. Baillièrè et cie.

De Oliveira, M. N. (2014). *FERMENTED MILKS | Fermented Milks and Yogurt. Encyclopedia of Food Microbiology*, 908–922.

De Souza, P. A., Moreira, L. F., Sarmiento, D. H., & da Costa, F. B. (2018). Cacao—*Theobroma cacao*. In *Exotic Fruits* (pp. 69-76). Academic Press.

Dhaouadi, K., Belkhir, M., Akinochi, I., Raboudi, F., Pamies, D., Barrajon, E., ... & Fattouch, S. (2014). Sucrose supplementation during traditional carob syrup processing affected its chemical characteristics and biological activities. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 1-8.

Dlilali, B., Ahmed, H., Zouaoui, B., Fatima, S., & Karima, O. Y. (2017). Kinetic of batch production of lactic acid from carob pods syrup. *Banats J Biotechnol*, 8(15), 57-65.

E

El Batal, H., Hasib, A., Ouattmane, A., Boulli, A., Dehbi, F., & Jaouad, A. (2013). Yield and composition of carob bean gum produced from different Moroccan populations of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *J. Mater. Environ. Sci*, 4(2), 309-314.

El-Dengawy, E. R. F., Hussein, A. A., & Alamri, S. A. (2011). Improving growth and salinity tolerance of carob seedlings (*Ceratonia siliqua* L.) by *Azospirillum* inoculation. *American-Eurasian journal of agricultural & environmental sciences*, 11(3), 371-384.

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

El-Kholy, A. (2015). Impact of carob pods powder on the physical and sensory properties of ice cream. *Ismailia Journal of Dairy Science & Technology*, 2(1), 7-11.

Evreinoff, V. A. (1947). Le Caroubier ou *Ceratonia siliqua* L. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 27(299), 389-401.

F

Fadel, H. H., Mageed, M. A. A., Samad, A. K. M. A., & Lotfy, S. N. (2006). Cocoa substitute: evaluation of sensory qualities and flavour stability. *European Food Research and Technology*, 223(1), 125-131.

Fidan, H., Stankov, S., Petkova, N., Petkova, Z., Iliev, A., Stoyanova, M., ...& Ercisli, S. (2020). Evaluation of chemical composition, antioxidant potential and functional properties of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 1-10.

Fiszman, S. M., Lluch, M. A., & Salvador, A. (1999). Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *International dairy journal*, 9(12), 895-901.

Flores, A. A., & Goff, H. D. (1999). Recrystallization in ice cream after constant and cycling temperature storage conditions as affected by stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 82(7), 1408-1415.

G

Gao, Y., Zhang, M., Wu, T., Xu, M., Cai, H., & Zhang, Z. (2015). Effects of D-pinitol on insulin resistance through the PI3K/Akt signaling pathway in type 2 diabetes mellitus rats. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(26), 6019-6026.

Gharnitl, N., El Mtile, N., Ennabili, A., & Sayah, F. (2006). Pomological characterization of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) from the province of Chefchaouen (NW of Morocco).

Gillet, S. (2018). *ETUDE DES RELATIONS ENTRE LA STRUCTURE DES GALACTOMANNANES DE CAROUBE ET LEURS PROPRIETES FONCTIONNELLES* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).

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

Goff, H. D., Caldwell, K. B., Stanley, D. W., & Maurice, T. J. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76(5), 1268-1277.

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

Gruendel, S., Garcia, A. L., Otto, B., Mueller, C., Steiniger, J., Weickert, M. O., ...& Koebnick, C. (2006). Carob pulp preparation rich in insoluble dietary fiber and polyphenols enhances lipid oxidation and lowers postprandial acylated ghrelin in humans. *The Journal of nutrition*, 136(6), 1533-1538.

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*, (4), 1129-1136.

Guggenbichler, J. P. (1983). Adherence of enterobacteria in infantile diarrhea and its prevention. *Infection*, 11(4), 239-242.

H

Haber, B. (2002). Carob fiber benefits and applications. *Cereal Foods World*, 47(8), 365.

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

Hoefkens, C., Verbeke, W., & Van Camp, J. (2011). European consumers' perceived importance of qualifying and disqualifying nutrients in food choices. *Food Quality and Preference*, 22(6), 550-558.

Huang, W. C., & Tang, I. C. (2007). Bacterial and Yeast Cultures—Process Characteristics, Products, and Applications. In *Bioprocessing for value-added products from renewable resources* (pp. 185-223). Elsevier.

I

Iipumbu, L. (2008). *Compositional analysis of locally cultivated carob (Ceratonia siliqua) cultivars and development of nutritional food products for a range of market sectors* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).

K

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

Kawamura, Y. (2008). Carob Bean Gum: Chemical and technical Assessment. *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Geneva, Switzerland*.

Khelifa, M., Bahloul, A., & Kitane, S. (2013). Determination of chemical composition of carob pod (*Ceratonia siliqua* L) and its morphological study. *J. Mater. Environ. Sci*, 4(3), 348-353.

Khelifa, M., Bahloul, A., & Kitane, S. (2013). Determination of chemical composition of carob pod (*Ceratonia siliqua* L) and its morphological study. *J. Mater. Environ. Sci*, 4(3), 348-353.

Kim, J. I., Kim, J. C., Joo, H. J., Jung, S. H., & Kim, J. J. (2005). Determination of total chiro-inositol content in selected natural materials and evaluation of the antihyperglycemic effect of pinitol isolated from soybean and carob. *Food Science and Biotechnology*, 14(4), 441-445.

Kim, J., Lee, K. W., & Lee, H. J. (2011). Cocoa (*Theobroma cacao*) seeds and phytochemicals in human health. In *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 351-360). Academic Press.

KIVÇAK, B., MERT, T., & ÖZTÜRK, H. T. (2002). Antimicrobial and cytotoxic activities of *Ceratonia siliqua* L. extracts. *Turkish Journal of Biology*, 26(4), 197-200.

Klenow, S., Gleis, M., Haber, B., Owen, R., & Pool-Zobel, B. L. (2008). Carob fibre compounds modulate parameters of cell growth differently in human HT29 colon adenocarcinoma cells than in LT97 colon adenoma cells. *Food and chemical toxicology*, 46(4), 1389-1397.

Klenow, S., Jahns, F., Pool-Zobel, B. L., & Gleis, M. (2009). Does an extract of carob (*Ceratonia siliqua* L.) have chemopreventive potential related to oxidative stress and drug metabolism in human colon cells?. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(7), 2999-3004.

Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M. S., & Nakayama, T. (2002). Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(2), 373-377.

L

Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., & Izydorczyk, M. S. (2001). Structural characteristics and rheological properties of locust bean galactomannans: a comparison of samples from different carob tree populations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(1), 68-75.

Lee, C. Y., Kagan, V., Jaworski, A. W., & Brown, S. K. (1990). Enzymic browning in relation to phenolic compounds and polyphenoloxidase activity among various peach cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(1), 99-101.

Limam, M. (2002). *Polymères pour l'emballage: Etude des échanges entre trois formes cristallines du polyéthylène téréphtalate et des liquides alimentaires aromatisés: Etudes et caractérisations de formulations à base de résine thermodurcissables pour boîtages alimentaires* (Doctoral dissertation, Lyon 1).

Liphshitz, N. (1987). *Ceratonia siliqua* in Israel: an ancient element or a newcomer?. *Israel Journal of Botany*, 36(4), 191-197.

Loullis, A., & Pinakoulaki, E. (2018). Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications. *European Food Research and Technology*, 244(6), 959-977.

M

Mahtout, R., Ortiz-Martínez, V. M., Salar-García, M. J., Gracia, I., Hernández-Fernández, F. J., Pérez de los Ríos, A., ...& Lozano-Blanco, L. J. (2018). Algerian carob tree products: A comprehensive valorization Analysis and future prospects. *Sustainability*, 10(1), 90.

Makris, D. P., & Kefalas, P. (2004). Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 105-108.

Manson, M. M. (2003). Cancer prevention—the potential for diet to modulate molecular signalling. *Trends in molecular medicine*, 9(1), 11-18.

Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2012). *Ice cream*. Springer, 1-55.

Milliron, B. J., Woolf, K., & Appelhans, B. M. (2012). A point-of-purchase intervention featuring in-person supermarket education affects healthful food purchases. *Journal of nutrition education and behavior*, 44(3), 225-232.

Mitrakos, K. (1982). Winter low temperatures in mediterranean-type ecosystems. *Ecologia mediterranea*, 8(1), 95-102.

Miyazawa, R., Tomomasa, T., Kaneko, H., Arakawa, H., & Morikawa, A. (2007). Effect of formula thickened with reduced concentration of locust bean gum on gastroesophageal reflux. *Acta Paediatrica*, 96(6), 910-914.

Musa Özcan, M., Arslan, D., & Gökçalık, H. (2007). Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(8), 652-658.

N

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

Nehir El, S., & Simsek, S. (2012). Food technological applications for optimal nutrition: an overview of opportunities for the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(1), 2-12.

Nunes, M. A., CochichoRamalho, J. D., & Silva Rijo, P. D. (1992). Seasonal changes in some photosynthetic properties of *Ceratonia siliqua* (carob tree) leaves under natural conditions. *Physiologia Plantarum*, 86(3), 381-387.

O

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

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

Oziyci, H. R., Turhan, I., Tetik, N., Kulcan, A. A., Akkoyun, T., Yatmaz, E., ...& Karhan, M. (2015). Concentration of D-pinitol in carob extract by using multi-stage enrichment processes. *GIDA Food Journal*, 40 (3), 125-131.

P

Papagiannopoulos, M., Wollseifen, H. R., Mellenthin, A., Haber, B., & Galensa, R. (2004). Identification and quantification of polyphenols in Carob Fruits (*Ceratonia siliqua* L.) and derived products by HPLC-UV-ESI/MS. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(12), 3784-3791.

Pedersen, J. K. (1980). Carrageenan, pectin and xanthan/locust bean gum gels. Trends in their food use. *Food Chemistry*, 6(1), 77-88.

Petit, M. D., & Pinilla, J. M. (1995). Production and purification of a sugar syrup from carob pods. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 145-152.

Phillips, G. O., & Williams, P. A. (Eds.). (2000). *Handbook of hydrocolloids* (pp. 53-64). Boca Raton, FL: CRC press.

Pollard, M. A., Kelly, R., Fischer, P. A., Windhab, E. J., Eder, B., & Amadò, R. (2008). Investigation of molecular weight distribution of LBG galactomannan for flours prepared from individual seeds, mixtures, and commercial samples. *Food Hydrocolloids*, 22(8), 1596-1606.

Priolo, A., Waghorn, G. C., Lanza, M., Biondi, L., & Pennisi, P. (2000). Polyethylene glycol as a means for reducing the impact of condensed tannins in carob pulp: effects on lamb growth performance and meat quality. *Journal of Animal Science*, 78(4), 810-816.

Q

Quelal-Vásconez, M. A., Pérez-Esteve, É., Arnau-Bonachera, A., Barat, J. M., & Talens, P. (2018). Rapid fraud detection of cocoa powder with carob flour using near infrared spectroscopy. *Food Control*, 92, 183-189.

R

Rababah, T. M., Al-u'datt, M., Ereifej, K., Almajwal, A., Al-Mahasneh, M., Brewer, S., ...& Yang, W. (2013). Chemical, functional and sensory properties of carob juice. *Journal of Food Quality*, 36(4), 238-244.

Regand, A., & Goff, H. D. (2002). Effect of biopolymers on structure and ice recrystallization in dynamically frozen ice cream model systems. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 2722-2732.

Rejeb, M. N., Laffray, D., & Louguet, P. (1991). Modification de la conductance stomatique de diverses origines tunisiennes de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) soumises à une contrainte hydrique prolongée. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. France: John LibbeyEurotext*, 149-158.

Rosa, C. S., Tessele, K., Prestes, R. C., Silveira, M., & Franco, F. (2015). Effect of substituting of cocoa powder for carob flour in cakes made with soy and banana flours. *International Food Research Journal*, 22(5).

Roseiro, L. B., Duarte, L. C., Oliveira, D. L., Roque, R., Bernardo-Gil, M. G., Martins, A. I., ... & Rauter, A. P. (2013). Supercritical, ultrasound and conventional extracts from carob (*Ceratonia siliqua* L.) biomass: Effect on the phenolic profile and antiproliferative activity. *Industrial Crops and Products*, 47, 132-138.

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

Ruiz-Aceituno, L., Rodríguez-Sánchez, S., Ruiz-Matute, A. I., Ramos, L., Soria, A. C., & Sanz, M. L. (2013). Optimisation of a biotechnological procedure for selective fractionation of bioactive inositols in edible legume extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(11), 2797-2803.

S

Saharkhiz, S., Mazaheri, D., & Shojaosadati, S. A. (2013). Evaluation of bioethanol production from carob pods by *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae* in solid submerged fermentation. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(5), 415-430.

Şahin, H., Topuz, A., Pischetsrieder, M., & Özdemir, F. (2009). Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *European Food Research and Technology*, 230(1), 155.

Salih, G., & Jilal, A. (2020). Utilisation alimentaire de la pulpe de caroube: Formulation et test consommateur. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8(2).

Sanchez, C., Zuniga-Lopez, R., Schmitt, C., Despond, S., & Hardy, J. (2000). Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. *International Dairy Journal*, 10(3), 199-212.

Sánchez-Segado, S., Lozano, L. J., de Los Rios, A. P., Hernández-Fernández, F. J., Godínez, C., & Juan, D. (2012). Process design and economic analysis of a hypothetical bioethanol production plant using carob pod as feedstock. *Bioresource technology*, 104, 324-328.

Saura-Calixto, F. (1988). Effect of condensed tannins in the analysis of dietary fiber in carob pods. *Journal of Food Science*, 53(6), 1769-1771.

Schmidt, K. A., & Smith, D. E. (1992). Milk reactivity of gum and milk protein solutions. *Journal of Dairy Science*, 75(12), 3290-3295.

Severin, I., Riquet, A. M., & Chagnon, M. C. (2011). Évaluation et gestion des risques—Matériaux d'emballage à contact alimentaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(2), 59-66.

Sigge, G. O., Lipumbu, L., & Britz, T. J. (2011). Proximate composition of carob cultivars growing in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 28(1), 17-22.

Silanikove, N., Gilboa, N., Nir, I., Perevolotsky, A., & Nitsan, Z. (1996). Effect of a daily supplementation of polyethylene glycol on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Quercus calliprinos*, *Pistacia lentiscus*, and *Ceratonia siliqua*) by goats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(1), 199-205.

Swanson, B. G. (2006). Fat replacers: mimetics and substitutes. *NUTRACEUTICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 5, 329.

T

Tetik, N., & Yüksel, E. (2014). Ultrasound-assisted extraction of d-pinitol from carob pods using response surface methodology. *Ultrasonics sonochemistry*, 21(2), 860-865.

Thangavelu, S. K., Ahmed, A. S., & Ani, F. N. (2016). Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 820-835.

Thomas, V., & Mehta, A. R. (1983). Effect of phloroglucinol on shoot growth and initiation of roots in carob tree cultures grown *in vitro*. In *Plant Cell Culture in Crop Improvement* (pp. 451-457). Springer, Boston, MA.

Tucker, S. C. (1992). The role of floral development in studies of legume evolution. *Canadian Journal of Botany*, 70(4), 692-700.

Turhan, I. (2014). Relationship between sugar profile and D-pinitol content of pods of wild and cultivated types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *International Journal of Food Properties*, 17(2), 363-370.

Turhan, I., Tetik, N., Aksu, M., Karhan, M., & Certel, M. (2006). Liquid–solid extraction of soluble solids and total phenolic compounds of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of food process engineering*, 29(5), 498-507.

U

Ünal, B., Metin, S., & Işıklı, N. D. (2003). Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low-fat set yoghurt. *International Dairy Journal*, 13(11), 909-916.

V

Valero-Muñoz, M., Martín-Fernández, B., Ballesteros, S., Lahera, V., & de las Heras, N. (2014). Carob pod insoluble fiber exerts anti-atherosclerotic effects in rabbits through sirtuin-1 and peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α . *The Journal of nutrition*, 144(9), 1378-1384.

Varela, P., Pintor, A., & Fiszman, S. (2014). How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream. *Food hydrocolloids*, 36, 220-228.

Vivatvakin, B., & Buachum, V. (2003). Effect of carob bean on gastric emptying time in Thai infants. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 12(2).

W

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. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3414-3419.

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

Y

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

Yousefi, M., & Jafari, S. M. (2019). Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 468-483.

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

Z

Zohary, D. (2002). Domestication of the carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 50(sup1), 141-145.

Zunft, H. J. F., Lüder, W., Harde, A., Haber, B., Graubaum, H. J., & Gruenwald, J. (2001). Carob pulp preparation for treatment of hypercholesterolemia. *Advances in Therapy*, 18(5), 230-236.

Zunft, H. J. F., Lüder, W., Harde, A., Haber, B., Graubaum, H. J., Koebnick, C., & Grünwald, J. (2003). Carob pulp preparation rich in insoluble fibre lowers total and LDL cholesterol in hypercholesterolemic patients. *European Journal of Nutrition*, 42(5), 235-242.

Annexes

Annexe 1

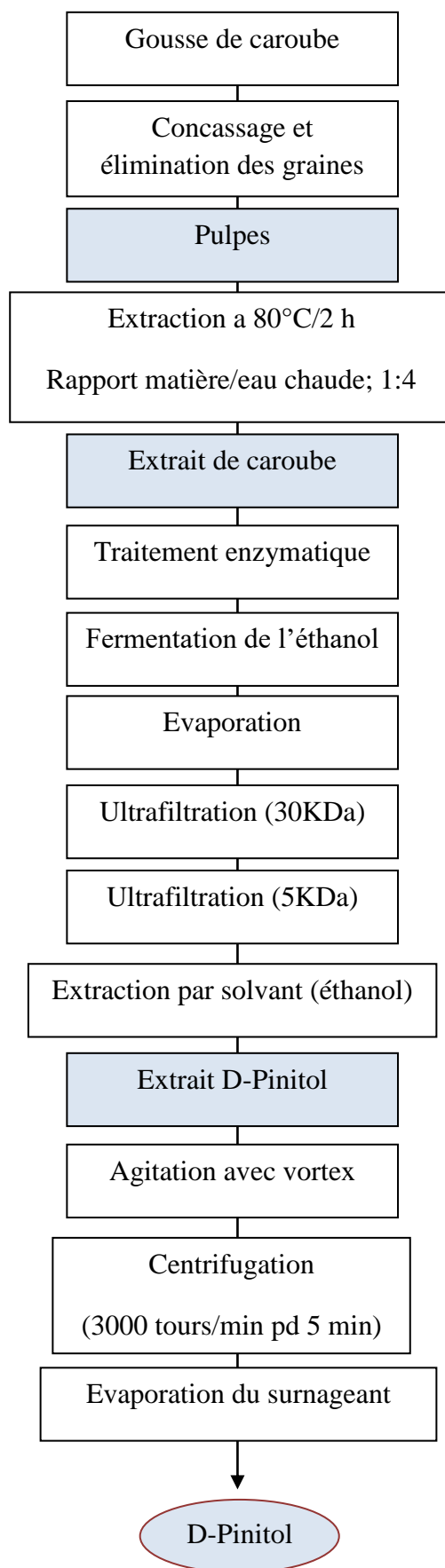


Figure 1 : Schéma du processus d'extraction du D-pinitol (Oziyci *et al.*, 2015).

Annexe 2

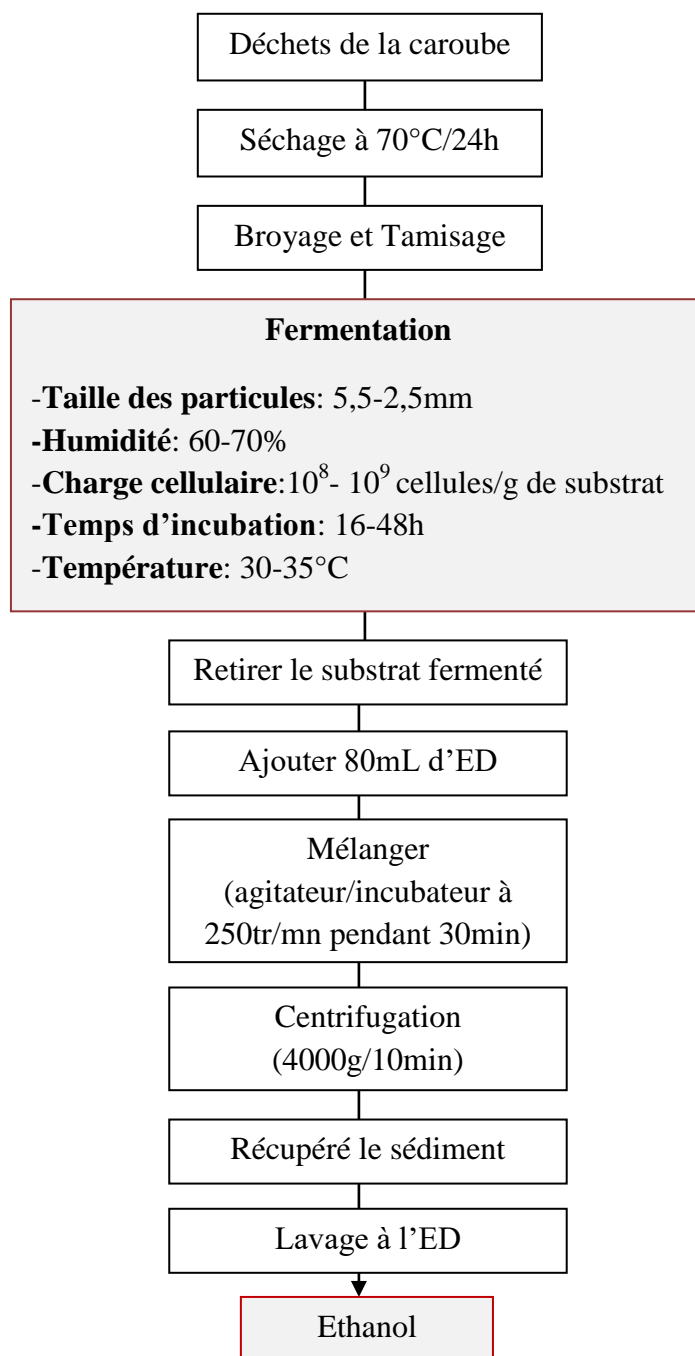


Figure 2: Procédé de production de l'éthanol par fermentation à l'état solide à partir des déchets de la caroube (Bahry *et al.* 2017).

Annexe 3

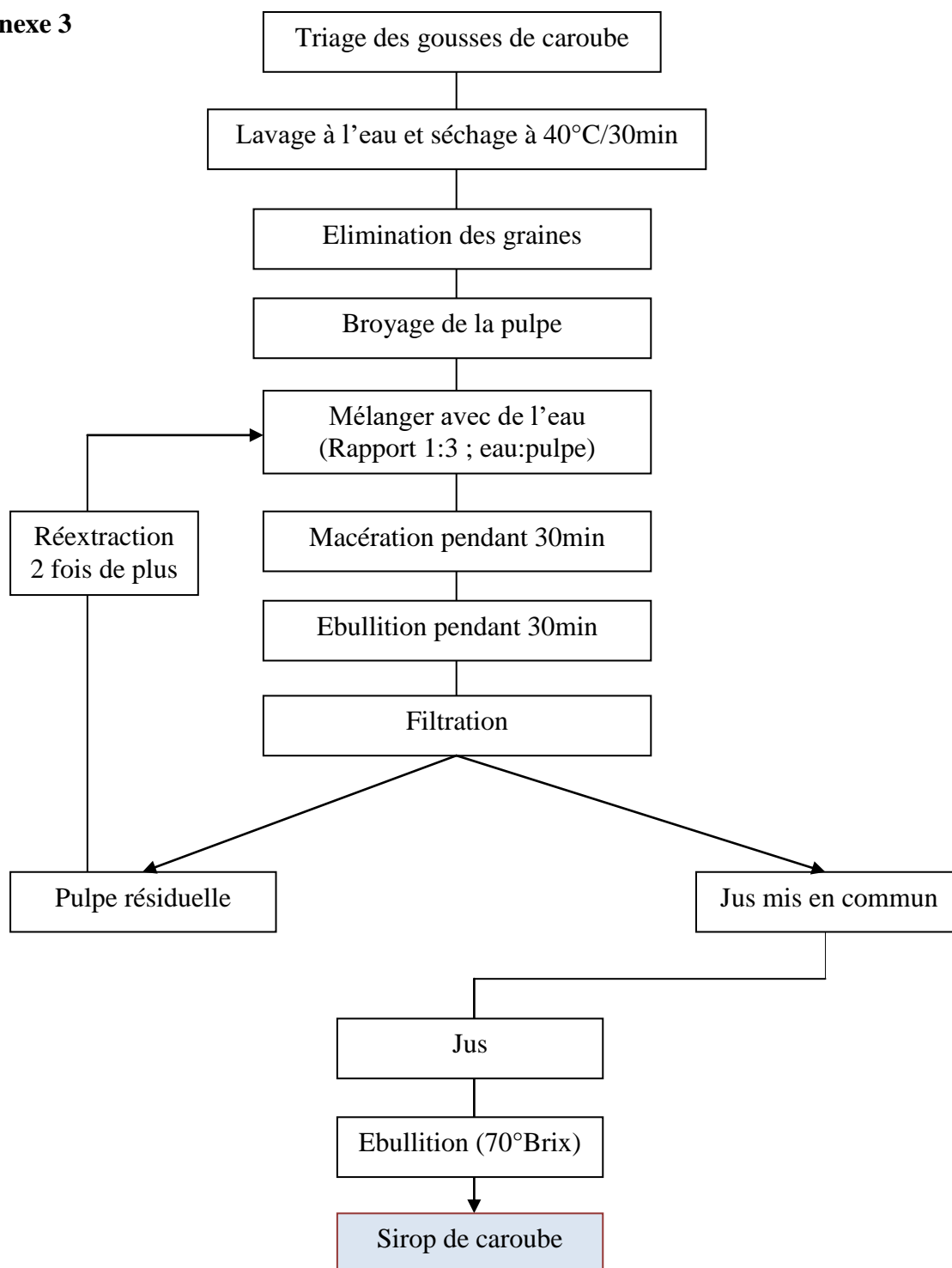


Figure 3: Processus de production du sirop de caroube (Dhaouadi *et al.*, 2014).

Annexe 4

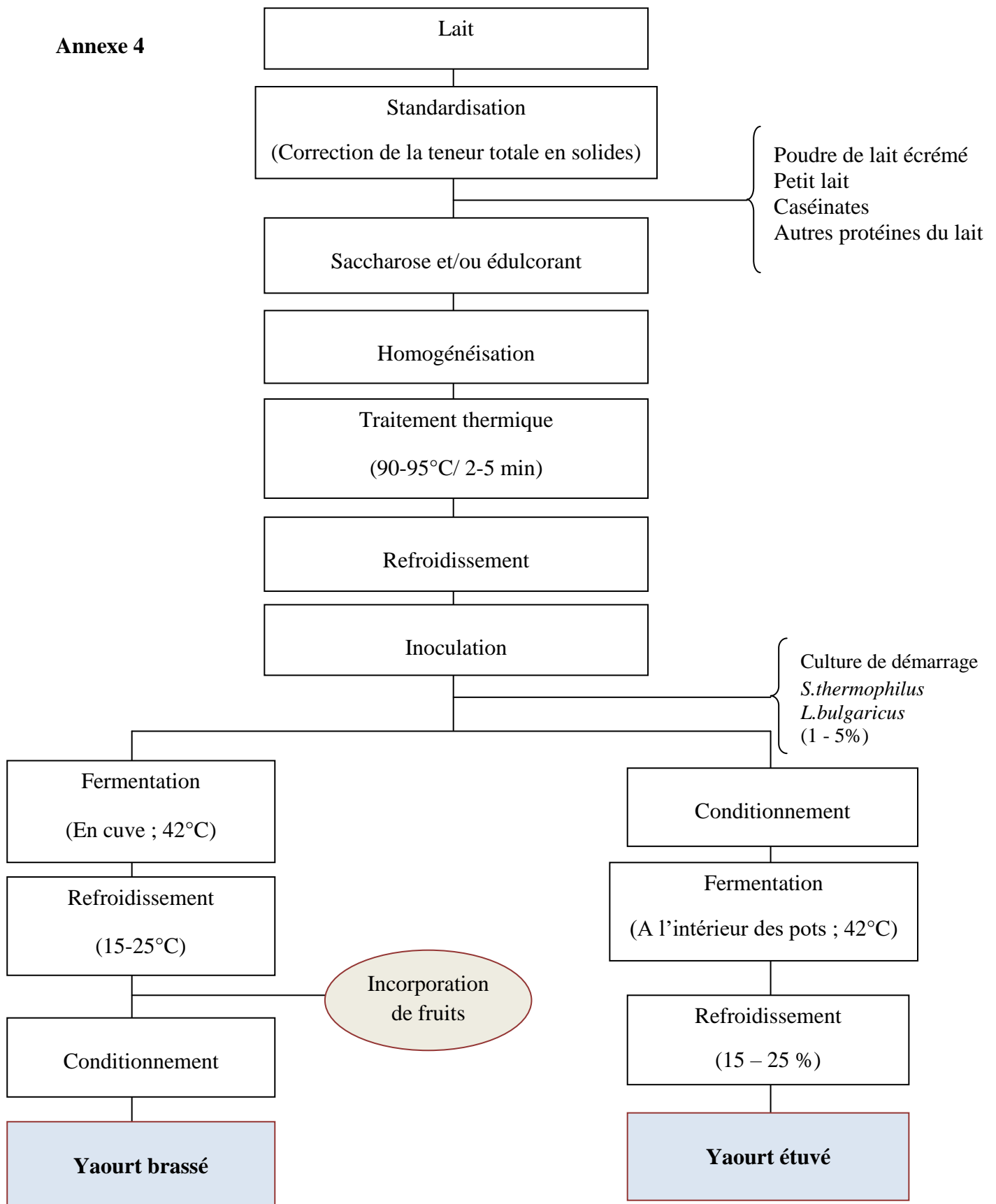


Figure 4: Processus de base de la fabrication du yaourt (De Oliveira, 2014).

Annexe 5

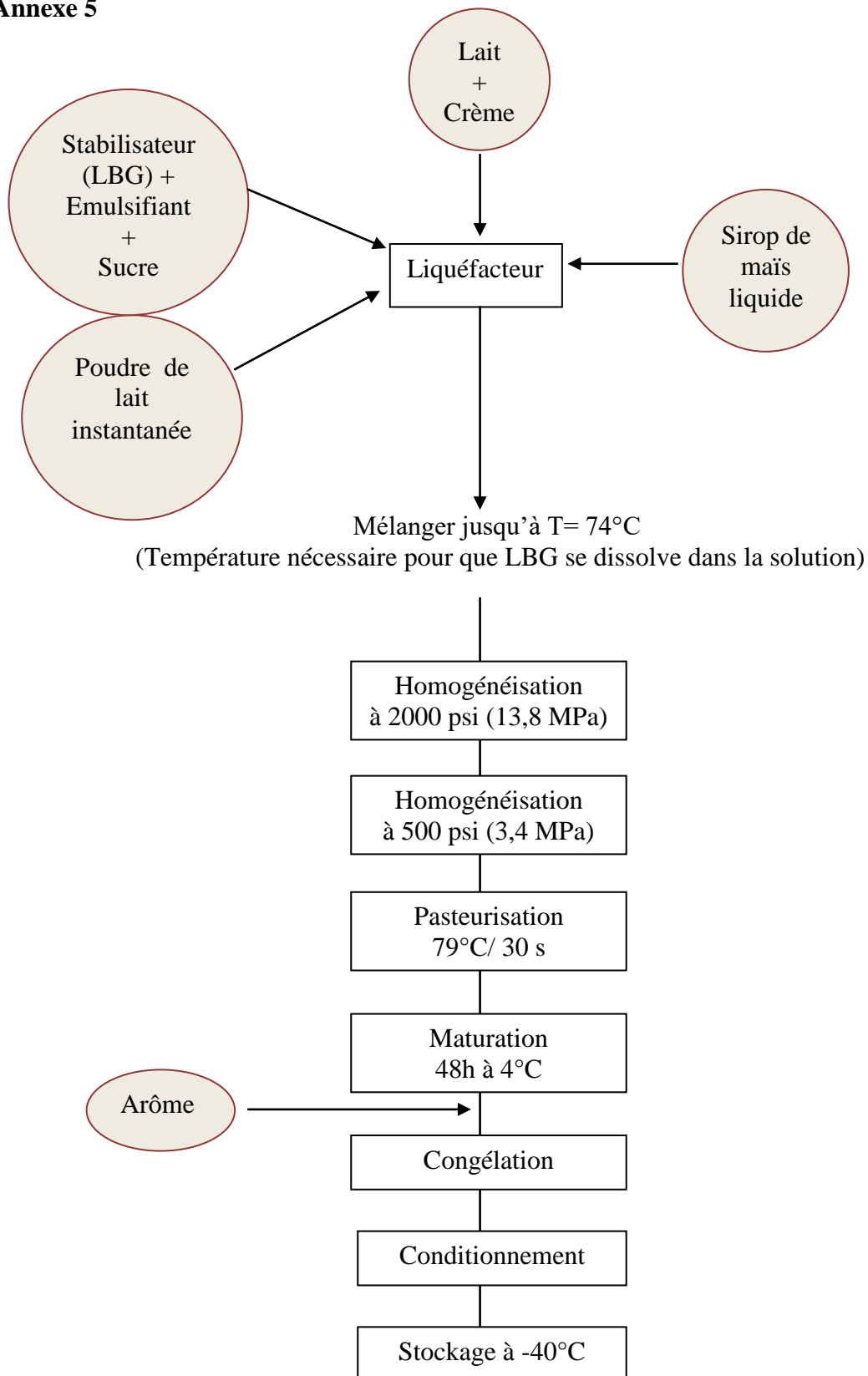


Figure 5 : Processus de fabrication des glaces (Copper *et al.*, 2013).

Glossaire botanique



Arbre : vivace ligneuse ayant un seul tronc et pouvant atteindre plus de 5-7 mètres à l'âge adulte.

Arbuste : ayant un seul tronc et n'atteignant pas 5-7 mètres à l'âge adulte.

Calcaire : se dit d'un sol alcalin (de pH élevé) le plus souvent drainé et peu fertile.

Composé : formé de plusieurs parties.

Cultivar : désigne les variétés obtenues par sélection, composées d'un ou plusieurs clones.

Dioïque : plantes à fleurs unisexuées. Individu à fleur mâle et individu à fleur femelle sur des pieds différents.

Étamine (f) : organe sexuel mâle de la fleur.

Feuille : appendice du tronc et des branches, inséré aux nœuds.

Foliole (f) : chaque partie d'une feuille composée ou petite feuille implantée sur rachis. Division d'une feuille pennée (palmier).

Fruit : n'existe que chez les angiospermes.

Glabre : dépourvu de poils.

Gousse : fruit sec, allongé et formé de deux valves contenant plusieurs graines.

Hermaphrodite : fleur pourvue des deux sexes (étamines+ carpelles).

Inflorescence : arrangement des fleurs sur hampe florale.

Mésocarpe : enveloppe médiane du fruit (chair).

Monoïque : plante qui porte à la fois des fleurs mâles et femelles sur le même pied.

Ovoïde : qui a la forme d'un œuf.

Paripenné : feuille composée à folioles paires.

Péricarpe : ensemble des tissus du fruit entourant la graine.

Persistant : qui conserve son feuillage durant toute l'année et ceci pour toutes les zones de rusticité dans lequel il peut être utilisé. (S'il perd ses feuilles en cas de grand froid on parlera de persistant hors gel ou de semi-persistant).

Pistil (m):organe femelle de la fleur.

Pollinisation : passage du pollen de l'anthere au stigmate (autofécondation). Elle peut être croisée d'une plante vers une autre.

Sclérophylle : plante à feuilles dures, à cuticules épaisse, adaptée à la sécheresse.

Stomate : artifice de respiration de la feuille.

Tégument : revêtement de surface, tissu superficiel.

Thermophile : qui a besoin de chaleur ou qui aime les milieux exposés au soleil.

Tronc : axe principal, lignifié, des arbrisseaux, arbres et qui portent des branches, feuilles, fleurs et fruits.

Unisexué : fleur qui a les caractères et les organes d'un seul sexe à la fois.

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), appartenant à la grande famille des légumineuses, est une essence presque endémique du pourtour méditerranéen, cultivé depuis longtemps pour ses produits dérivés mais aussi pour sa résistance au manque d'eau.

Ce travail consiste à présenter l'utilisation de l'espèce *Ceratonia siliqua*, comme source alimentaire alternative en l'incorporant dans les produits alimentaires et présenter son potentiel dans les industries agroalimentaires et ceci par l'utilisation d'un substitut de cacao à partir de la pulpe, l'exploitation de la gomme de caroube extraite à partir des graines comme stabilisant et épaississant naturel, l'utilisation du sirop de caroube extrait à partir de la pulpe comme édulcorant naturel. L'étude a prouvé que la caroube peut être utilisée ou incorporée dans des produits alimentaires comme alternative et pour développer des produits alimentaires avec des profils nutritionnels améliorés, économiques et avec une qualité sensorielle agréable.

Mots clés

Caroube, substitut de cacao, sirop, gomme de caroube

Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.), belonging to the large legume family, is an almost endemic species of the Mediterranean region, cultivated for a long time for its by-products but also for its resistance to water shortage.

This work consists in presenting the use of the species *Ceratonia siliqua*, as an alternative food source by incorporating it in food products and presenting its potential in the agro-food industries through the use of a cocoa substitute from the pulp, the exploitation of locust bean gum extracted from the seeds as a natural stabilizer and thickener, the use of locust bean syrup extracted from the pulp as a natural sweetener. The study proved that carob can be used or incorporated into food products as an alternative and to develop food products with improved nutritional profiles, economical and with a pleasant sensory quality.

Keywords

Carob, cocoa substitute, syrup, carob bean gum