

FACULTE DES SCIENCES DE LA VIE ET DE LA NATURE

DEPARTEMENT SCIENCES ALIMENTAIRE

Spécialité : qualité des produits et sécurité alimentaire

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme MASTER

Thème

Essai d'incorporation de la gomme de caroube dans les sauces

Présenté par :

- **DAOUD Sarah**
- **DJERADA Tamazight**

Soutenu le : 14/09/2022 à 12h30min

Devant les jurys composé de :

- | | | |
|--|-------------------|---------------------|
| - M. GUEMGHAR Hayet | Professeur | Présidente |
| - Melle : MEKHOUKHE Aida | MCB | Encadreur |
| - M. ISSAADI Ouarda | MCB | Examinatrice |
| - Invité d'honneur : Mr Boubekur TIDJET | | |

Année Universitaire

2021 – 2022

Remerciements

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

Nos profondes gratitude vont à notre promotrice Melle MEKHOUKHE.A, pour l'honneur qu'elle nous a fait de nous encadrer, pour ces précieux conseils, ces orientations, sa disponibilité, son soutien moral et financier, et la confiance qu'elle nous a fait, dont on gardera des souvenirs de ces qualités profondément humaines.

Nos remerciements s'adressent aux membres du jury : Mme le professeur GUEMGHAR.H pour avoir accepté de présider le jury et Mme Docteur ISSAADI.O de nous avoir fait l'honneur d'examiner ce document.

Nous tenons également à exprimer notre grande considération et notre vive reconnaissance À Mr HADJAL.S (directeur R&D) et Mr TIDJET. B (ingénieur R&D), Pour leurs aides, conseils, leurs chaleureux accueil, leurs bienveillances, et tous les efforts fournis afin de contribuer à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à Mme OURARI.C pour son soutien ses conseils, et sa disponibilité tout au long de notre travail pratique

Nous remercions l'ensemble de l'équipe de notre laboratoire L3BS, pour leur aide, leur esprit d'équipe et leur soutien.

Notre reconnaissance va à tous les enseignants et les doctorants.

Nous tenons également à remercier vivement nos chers camarades pour leurs soutiens et leur grande serviabilité.

Merci à toutes personnes, ayant contribué à l'avancement de mes travaux.

DEDICACE

Au nom du dieu le clément et le miséricordieux

Louange à ALLAH le tout puissant

Je dédie ce modeste travail en signe de respect

Reconnaissance et de remerciement :

*A mes parents, pour leurs amour, encouragements et leurs sacrifices, ainsi
mes adorables petits frères et sœurs*

*A ma famille, mes proches et a ceux qui mon donnent de l'amour et de la
vivacité.*

*A la mémoire de mes meilleures amies Amina et Lwiza qu'elles reposent en
paix. Elles*

m'ont toujours encouragé avec tendres et amour. Avec toute ma sympathie.

Et A MES CHERS AMI(E)S

A TOUS CE QUE J'AIME ET CEUX

QUI M'AIME

SARAH

DEDICACE

Toutes les lettres ne sauraient trouver les

Mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la

Reconnaissance...aussi c'est tout simplement que je dédie ce modeste

Travail...

A MES TRES CHERS PARENTS;

**Aucune dédicace ne saurait être éloquente pour exprimer la profondeur des sentiments
d'affection,**

**d'estime et de respect que je vous porte, pour l'amour dont vous m'avez toujours
comblé,**

**D'éducation et le bien être que vous m'assurez, pour votre soutien, vos sacrifices et vos
prières. Aussi**

fière d'y appartenir, aussi déterminé à en être digne

A MES FRERES et A MES SEURS et

A MES PROFESSEURS ET MES

COLLEGUES;

Avec toute ma sympathie.

Et A MES CHERS AMI(E)S

A TOUS CE QUE J'AIME ET CEUX

QUI M'AIME

TAMAZIGHT

Liste des abréviations :

AOAC : association du chimiste agricole official

Cp : centpoise

E : Echantillon

E410: Epaississant

FAO: Food and agriculture organization

FAOSTAT: Food and agriculture organization of statistic

GC : gomme de caroube

GCB : gomme de caroube brute

GCP : gomme de caroube purifiée

GR : globules rouges

LBG : locust bean gum

QX : quintaux

Liste Figures

Figure 1. Aspect botanique.....	3
Figure 2: Feuilles de caroubier.....	4
Figure 3: Fruits du caroubier.....	5
Figure 4: Coupetransversaledela gousse	5
Figure 5:Grainesdu caroubier.....	6
Figure 6 Distribution ducaroubier danslemonde	8
Figure 7:CartegéographiquedeladistributiondecaroubierenAlgérie	8
Figure 8: Structure chimique de la gomme de caroube.....	15
Figure 9: Cinétique de solubilitéde gomme de caroube extraite par a) l'eau (LBG w) et b) parl'acide (LBG a) (LBG w).....	17
Figure 10: Plan de travail	23
Figure 11 : Localisation de la zone d'étude	24
Figure 12 : A) Gousses de caroube ; B) Pulpe sans graines découpés en morceaux ; C) Graines	25
Figure 13 : des différentes étapes d'extraction de la gomme de caroube.....	26
Figure 14 : Principales étapes de purification	28
Figure 15:Teneur cendres (%) des échantillons	39
Figure 16: Composition chimique en humidité en fibre et en cendres des deux échantillons .	42
Figure 17: Composition chimique en sucres, lipides et en protéines des deux gommess	43
Figure 18: Cinétique de solubilitéde gomme de GCP à différents pH.....	45
Figure 19: Activité cytotoxique de la GCP	46
Figure 20: Suivi de pH des échantillons de mayonnaise au cours du temps.....	47
Figure 21: Suivi de l'acidité des échantillons de mayonnaise au cours du temps	49
Figure 22: Suivi de l'écoulement des échantillons de mayonnaise au cours du temps.....	51
Figure 23: Suivi de la viscosité des échantillons de mayonnaise au cours du temps.....	52
Figure 24: mesure de la taille des gouttelette	54

Liste des tableaux

Tableau I: Production de la caroube dans le monde.....	12
Tableau II: Composition chimique de la gomme de caroube.....	15
Tableau III Proportions de certains ingrédients de la mayonnaise.....	20
Tableau IV : Solvants de solubilisation et de précipitation.....	27
Tableau V : Composition des échantillons de mayonnaises préparées.....	34
Tableau VI: Composition chimique de la gomme brute et purifiée.....	40
Tableau VII: Propriété physique de la gomme brute et purifiée.....	43
Tableau VIII : Caractères macroscopiques des échantillons formulés suivant leur pH à partir du 30ème jour.....	48
Tableau IX: Caractères macroscopiques des échantillons formulés suivant leur acidité à partir du 30ème jour.....	50
Tableau X: Caractères rhéologique et macroscopiques des échantillons formulés suivant leur écoulement à partir du 30ème jour:.....	51
Tableau XI: Caractères rhéologique et macroscopiques des échantillons formulés suivant leur viscosité à partir du 30ème jour :	53

Table des matières

Introduction	1
Partie bibliographique	
I.Généralité sur le caroubier	3
1. Etymologie et Taxonomie	3
2. Description botanique	3
3. Origine et répartition géographique	7
3.1 Origine.....	7
3.2 Répartition.....	7
4. Typesdecaroubier et conditions de culture.....	9
5. Compositionchimiquedelacaroube	9
5.1 Pulpe.....	9
5.2 Graines	10
6. Productionmondiale	11
7. ProductionenAlgérie.....	12
8. Importanceéconomique	12
9. Effetsindésirablesdesproduitsdecaroube	13
II. Gomme de caroube	14
1.Description	14
2.Composition chimique	14
3.Structure chimique de la gomme.....	15
4.Comportementrhéologiquedelagomme de caroube.....	16
5.Solubilité	16
5.1 Effetdelatempérature	17
6. Viscosité.....	17
7. Extractiondela gomme de caroube	18
8. Domaines d'application.....	18
III. Sauces alimentaires.....	19
1. Mayonnaise	19
1.1 Définition	19
1.2 Ingrédients utilisés.....	19
1.3 Rôle des principaux ingrédients	20
1.3.1Huile	20

1.3.2 Jaune d'œufs.....	20
1.3.3 Vinaigre.....	21
1.3.4 Moutard.....	21
1.3.5 Autres produits.....	21
1.4 Processus industrielle de fabrication.....	21
Partie pratique Matériels et méthodes	
I. Matériels et méthodes.....	23
1. Plan du travail.....	23
2. Matériel végétal.....	24
2.1 Préparation de la matrice végétale.....	24
2.2 Extraction de la gomme.....	25
3 Purification de la gomme.....	27
3. Composition chimique de la gomme de caroube (brute et purifiée).....	28
3.1 Test de l'humidité.....	28
3.2 Dosage des sucres totaux.....	28
3.3 Détermination des protéines.....	29
3.4 Dosage des fibres.....	30
3.5 Détermination de la teneur des Lipides.....	30
3.6 Dosage des cendres.....	31
4. Analyses physiques.....	31
4.1 Détermination du pH.....	31
4.3 Détermination du degré Brix.....	32
5. Etude rhéologique.....	32
5.1 Test de solubilité.....	32
5.1.1 Etude de l'effet du pH sur la solubilité.....	32
6. Etude de la cytotoxicité de la gomme.....	33
7. Essai d'incorporation de la gomme dans une sauce alimentaire (mayonnaise).....	33
7.1 Préparation des échantillons de mayonnaise.....	33
7.2 Formulation de la mayonnaise.....	34
7.3 Contrôle de la stabilité de la mayonnaise.....	34
7.3.2 Suivie de certains paramètres physico-chimiques.....	35
7.3.2.1 Détermination du pH.....	35
7.3.2.2 Détermination de l'acidité.....	35

7.3.3 Etude de la qualité de l'émulsion	35
7.3.3.1 Mesure de la taille des gouttelettes	35
7.3.4 Contrôle macroscopique.....	36
7.3.5 Contrôle des caractéristiques rhéologiques	36
7.3.5.1 Détermination de la Consistance.....	36
7.3.5.2 Détermination de la Viscosité	37
8. Analyse statistique.....	37

II. Résultats et discussion

1. Le choix du solvant	39
2. Analyses physicochimiques	40
2.1 Composition chimique des deux gommes (GCB et GCP)	40
2.1.1 Détermination de la teneur en humidité, cendres et fibres	41
2.1.2 Détermination de la teneur en sucres totaux, protéines et lipides	42
2.2 Détermination des caractéristiques physiques.....	43
3. Etude des caractéristiques rhéologiques.....	44
3.1 Etude de l'effet du pH sur la solubilité de GCP	44
4. Etude de la cytotoxicité de la gomme	45
5. Contrôle de la stabilité de la mayonnaise.....	46
5.1 Suivi du pH.....	46
5.2 Suivi de l'acidité.....	48
5.3. Contrôle des caractéristiques rhéologiques	50
5.3.1 Détermination de la Consistance (écoulement).....	50
5.3.2 Détermination de la Viscosité	51
5.4 Etude de la qualité de l'émulsion	53
5.4.1 Détermination du sens de l'émulsion	53
Conclusion.....	55

Liste bibliographique

Annexes

Résumé

Introduction

Introduction

Le caroubier est un arbre d'exception qui opère une véritable fascination. Sa silhouette d'une noble beauté par son feuillage vert persistant toute l'année, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers qui représente le plus grand potentiel de valorisation grâce à sa richesse en éléments nutritifs qui a suscité l'attention de plusieurs chercheurs. Les gousses entières, la pulpe, mais surtout les graines dont on extrait la gomme font l'objet d'un commerce important en direction de l'Europe et sont largement utilisées dans l'industrie agro-alimentaire (**Biner et al., 2007 ; Sbay, 2008 ; Brassesco et al., 2021**)

La gomme de caroube (GC) ou locust bean gum (LBG) est une poudre blanche à crémeuse obtenue à partir de l'endosperme des graines de caroube. Chimiquement c'est un galactomannane qui correspond essentiellement à des polysaccharides hydro colloïdes de haut poids moléculaire. Cette molécule est considérée comme le premier galactomannane employé comme additif (E410) dans nombreuses applications industrielles (alimentaires et non alimentaires) comme agent épaississant et stabilisant en raison de sa capacité à augmenter la viscosité. (**Dakia et al., 2017 ; Mekhoukhe et al., 2020**).

La mayonnaise est un assaisonnement alimentaire populaire à fort potentiel pour la recherche et le développement. Ses ingrédients ont des effets importants pour sa structure d'émulsion. Le choix d'un ou plusieurs modifications de texture pour la formation d'une mayonnaise dépend de nos attentes et de ressources disponibles (**Taslikh, 2021**)

En Algérie, Malgré l'engouement et l'intérêt qui sont portés à ce fruit et ses sous-produits depuis quelques décennies, peu de travaux sont disponibles sur la valorisation de la graine de caroube et ses sous-produits surtout la gomme, très peu d'informations sont disponibles sur son utilisation surtout comme épaississant dans les sauces alimentaires.

Cette présente étude s'inscrit dans ce contexte qui porte l'essai d'incorporation de la gomme de caroube dans une sauce alimentaire (mayonnaise) préparée au niveau du complexe CEVITAL et de voir son habilité à améliorer soit seule ou en mixture avec une autre substance hydrocolloïde sa stabilité, la thématique de ce travail le rend original puisqu'il porte sur une recherche totalement innovatrice.

Le travail comprend, un premier volet relatif à une étude bibliographique qui met l'accent sur la gomme de caroube et la mayonnaise. Une deuxième partie expose la partie pratique passant en premier lieu par matériel et les méthodes mis en œuvre dans le cadre de ce

travail. L'extraction de la gomme, la formulation de la mayonnaise a base de cet additif et les différentes analyses effectuées au cours de cette partie. Et par la suite étalés les résultats obtenus et essayer de les discuter et en fin on termine par une conclusion et perspectives.

Partie bibliographique

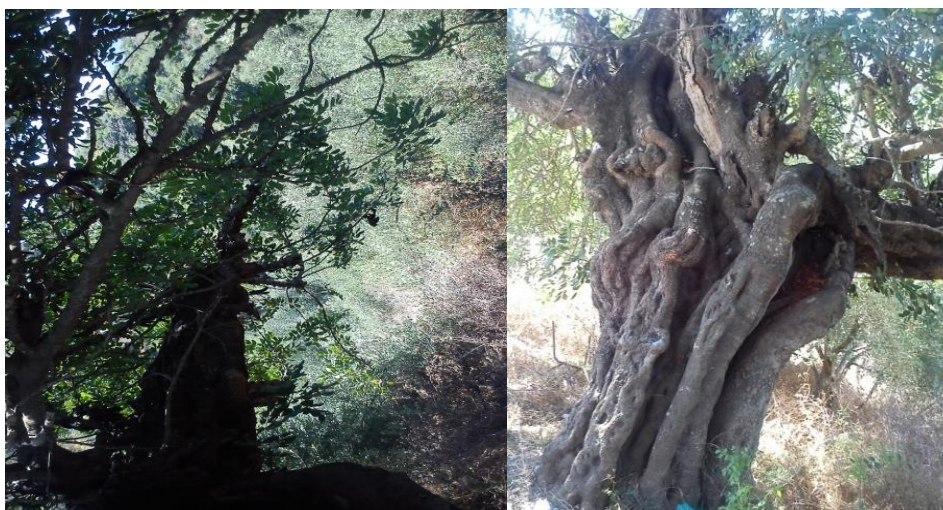
I. Généralité sur le caroubier

1. Etymologie et Taxonomie

Le nom scientifique du « caroubier » *Ceratonia siliqua* L. dérive du grec keras, corne, et du latin siliqua, faisant allusion à la dureté et à la forme de la gousse. Le nom commun provient de l'hébreu kharuv, dont sont dérivés l'arabe kharrub et plus tard algarrobo ou garrofero en espagnol, carrubo en italien, caroubier en français (**Zhengzhang, 1991 ; Battle et Tous, 1997 ; Karababa et Kuskuner, 2013**). Cette espèce appartient au genre *Ceratonia* de la sous-famille des Caesalpinioïdae, de la famille des Fabaceae (Légumineuses), qui fait partie de l'ordre des Fabalae (Rosales), Classe des Magnoliopsida (**Quezel et Santa, 1962**).

2. Description botanique

Le caroubier est un arbre (figure 1 A) sempervirent, typiquement méditerranéen qui croît sous les climats chauds et peut atteindre une quinzaine de mètres de hauteur (7 à 20 m). Il possède une cime très étalée et arrondie. Le tronc est épais (Figure 1 B), très crevassé, tortueux. Cette espèce ligneuse a une écorce lisse et grise à l'âge juvénile et brune, rugueuse à l'âge adulte. Son bois est blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune et devient rose veiné puis rouge foncé et dur en vieillissant. Il a développé un système racinaire pivotant qui pénètrent dans le sol et peut atteindre une profondeur de 18 m ou même plus, très ramifiée en surface (**Quezel et Santa, 1962 ; Ait Chitt et al., 2007 ; Rodriguez-Solana et al., 2021**).



A)

B)

Figure 1. Aspect botanique A) Arbre de caroubier B) Tronc (Photos prises à Imezayen Bejaia)

Les feuilles sont persistantes (Figure 2), qui mesurent de 10 à 20 cm de long, sont caractérisées par un pétiole sillonné à la face interne et par un rachis portant 8 à 15 folioles, opposées, qui font de 3 à 7 cm, elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, faiblement échancrées de couleur verte (Ait Chitt *et al.*, 2007 ; Boublezna *et al.*, 2019).



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

Les fleurs sont verdâtres, de petite taille (6 à 16 mm de longueur), spiralées et réunies en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires, plus courtes que les feuilles à l'aisselle des quelles elles se sont développées (Batlle et Tous, 1997).

Les fruits sont des gousses indéhiscentes, allongées, comprimées, droites ou recourbées, épaissies au niveau des sutures nommées caroubes de grande taille, de 10-30 cm de long, 1,5-3,5 cm de large, environ 1 cm à 2 cm d'épaisseur. Chaque caroube pèse environ 15 à 30 grammes. La gousse est séparée à l'intérieur par des cloisons pulpeuse se renferme 12 à 16 graines brunes dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm. Ces graines, toutes d'un poids identique de venant très dures à maturité, la couleur de la caroube est d'abord verte, puis elle devient brun foncé à maturité (Figure. 3)(Evreinoff, 1948 ; Batlle et Tous ,1997).



Figure 3: Fruits du caroubier (photo prise à Imezayen - Bejaia)

La pulpe est constituée de péricarpe ou peau (Figure 4), de nature fibreuse et coloré, de mésocarpe ou pulpe, de nature charnue, riche en sucres. Il représente environ 70 à 95% du fruit entier, et enfin d'endocarpe, de nature fibreuse ; il recouvre l'intérieur du fruit en le divisant en segments ou loges carpellaires où se situent les graines) (Caja, 1985). Cette pulpe très sucrée, nutritive, rafraîchissante est très appréciée par la population de la région méditerranéenne (Evreinoff, 1947 ;Batlleet Tous,1997).

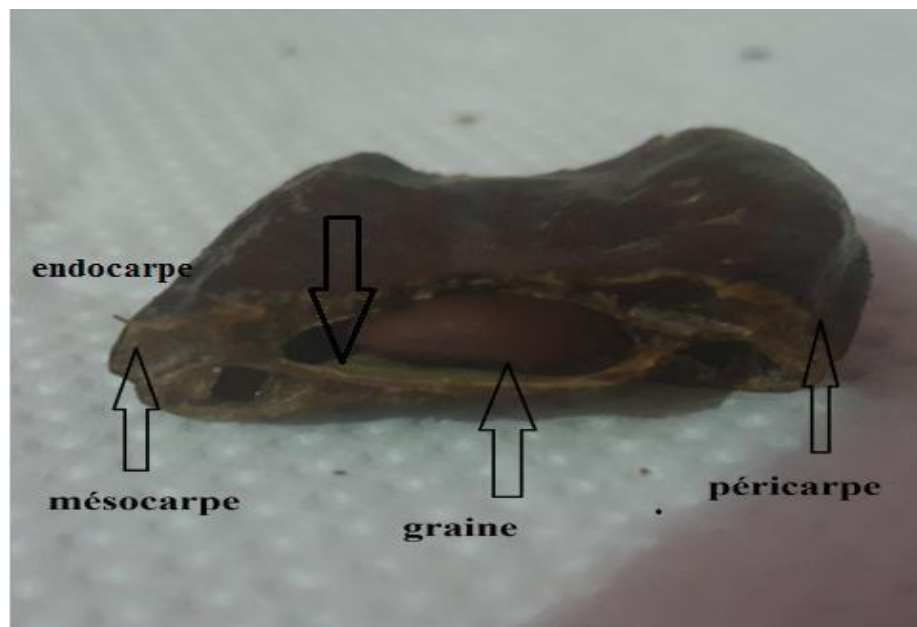


Figure 4: Coupe transversale de la gousse (photos prises au Laboratoire Biotechnologie université de Bejaia)

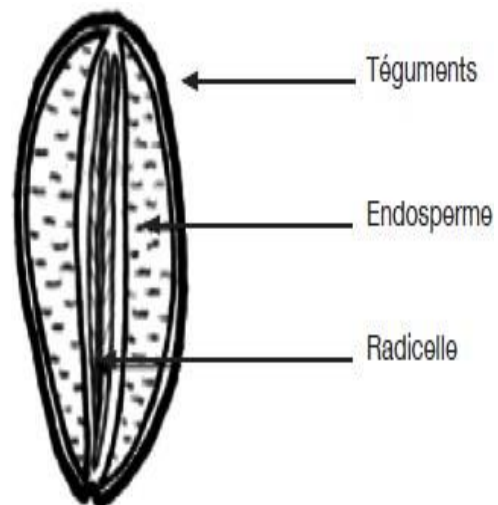
Les graines se caractérisent par une texture très dure, comprimées, ayant la forme ovale oblongue, une couleur brunâtre et brillante, dont la longueur et la largeur varie de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm et de 3 à 5 mm d'épaisseur (Martindale, 1989 ; Rodriguez-Solana et al., 2021).

D'après Melgarejo et Salazar (2003), la graine du caroubier (Figure 5 a) est composée de trois parties (Figure 6 b):

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



A) Photo prise au laboratoire de recherche L3BSBejaia.



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

Figure 5: Graines du caroubier

3. Origine et répartition géographique

3.1 Origine

Le lieu d'origine du caroubier demeure incertain. **Schweinfurth (1894)** a insinué qu'il est originaire du Sud de l'Arabie (Yémen). Cependant, **Zohary(1973)** a considéré le caroubier comme originaire de la flore d'Indo Malaisie, groupé avec *Olea*, *Laurus*, *Myrtus*. D'autres auteurs, comme **Vavilov (1951)** et **De Candolle (1983)**, ont rapporté qu'il serait natif de la région Est méditerranéenne (Turquie et Syrie). Le caroubier était connu dans le proche Orient et les îles de la Méditerranée. En Egypte, les pharaons utilisaient la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIe siècle avant J.C). Cette espèce ligneuse a été domestiquée depuis le néolithique (4000 ans avant J.C.), et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C (**Batleet Tous, 1997**).

Le caroubier a été introduit très anciennement par les grecs, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce, en Italie, en Espagne et au Portugal (**Rejeb,1994**). Il est également implanté dans plusieurs autres pays, ayant des régions à climat méditerranéen en comme l'Australie, l'Afrique du Sud, les États-Unis (notamment l'Arizona et la Californie du Sud), les Philippines et l'Iran (**Evreinoff, 1947**).

3.2 Répartition

Le caroubier est distribué dans toute la région du bassin méditerranéen (Figure. 6). On le rencontre actuellement dans une zone allant de l'Espagne et du Portugal jusqu'en Turquie, en Syrie, en passant par le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Lybie, l'Egypte, le Liban, la Grèce, l'Italie et la France. Plus récemment, le caroubier a été introduit dans de nombreux autres pays à climats chauds et semi-arides, principalement aux États-Unis (Floride et Californie), l'Australie et l'Argentine, l'Arizona, le Chili, le Mexique et l'Afrique du Sud (**Battle et Tous,1997**).

En Algérie sa distribution peut être effectuée selon deux critères, climatique et production. La distribution de caroubier en Algérie (Figure.7), suivant le critère de production ; Bejaia, Blida, Tipaza, Boumerdés, Ain-Defla, Bouira, Tlemcen, Mila, Mascara, Tizi Ouzou, B.B. Arreridj. Suivant le critère climatique; on a établi l'aire de répartition ; les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales: Sahel algérois, Dahra, Grande-Kabylie et Petite-Kabylie, vallée de la Soummam (1074 ha) et de l'Oued-Isser, collines d'Oran et des

coteaux Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaines de Bône, Mitidja et les vallées intérieures (1054 ha)(Quezel et Santa, 1962).

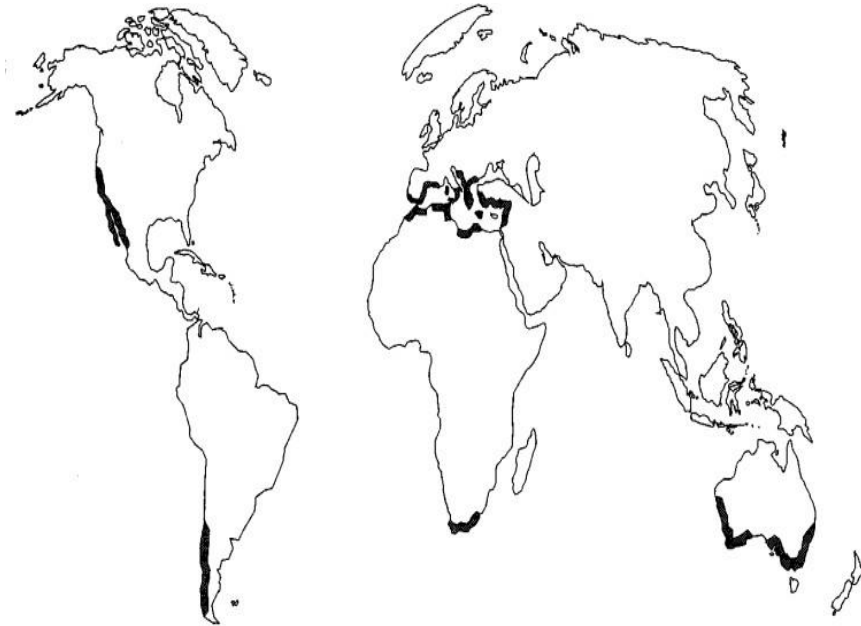


Figure 6 Distribution du caroubier dans le monde (Batlle etTous, 1997)

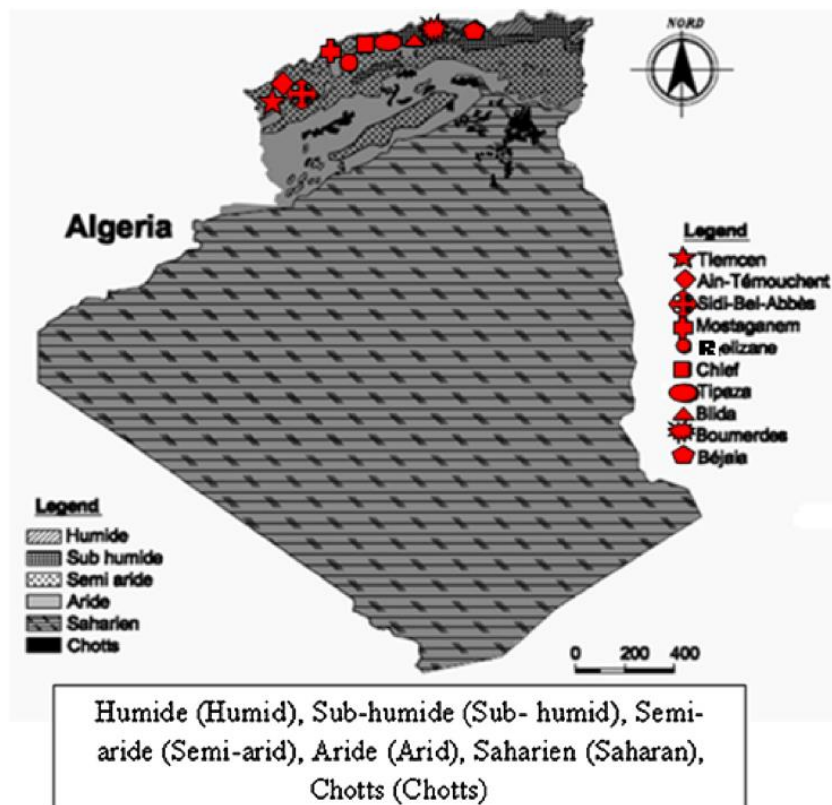


Figure 7: Carte géographique de la distribution de caroubier en Algérie (Boublenza et al., 2019)

4. Types de caroubier et conditions de culture

Il existe deux types de caroubier, l'un sauvage ayant un rendement intéressant en graines et l'autre cultivé. Assurément, les types sauvages sont connus pour leur taux élevé en graines et leur faible teneur en pulpe (Marakis *et al.*, 1988 ; Boublenza *et al.*, 2019). De plus, elles sont caractérisées par des péricarpes non charnues (Tous *et al.*, 1995 ; Battle *et Tous*, 1997 ; Gharnit *et al.*, 2001). En contrepartie, les gousses de types cultivés sont d'après Battle *et Tous* (1997) ; Kessout *et al.* (2022) plus charnues et plus riches en sucre et sont amplement utilisées comme matière première pour la production des sirops. La domestication de certains arbres sauvages non cultivés a été pratiquée dans le but d'augmenter le rendement en graines et la qualité de la gomme pour l'exploitation industrielle (Batista *et al.*, 1996; Makris *et Kefalas*, 2004 ; Boublenza *et al.*, 2019).

Le caroubier est décrit comme une plante à grande adaptabilité aux régions du bassin méditerranéen (Zengin *et al.*, 2008 ; Rodriguez-Solana *et al.*, 2021 ; Kessout *et al.*, 2022), caractérisé par des conditions climatiques semi-aride méditerranéennes. Ils ont un système profondément enraciné permettant une adaptation aux différents types de sols et conditions de salinité (Obeidat *et al.*, 2011 ; Kessout *et al.*, 2022). Pour cela, ils poussent mieux dans les sols calcaires et de préférence les zones côtières proches de la mer (Battle *et Tous*, 1997).

5. Composition chimique de la caroube

Le fruit de la caroube est un mélange complexe de métabolites primaires et secondaires avec la présence de sucres et de fibres étant caractéristiques de ces fruits, suivis d'une grande diversité de polyphénols, de nombreux minéraux et acides aminés peuvent être également présents. La pulpe et les graines sont les deux principaux constituants de la caroube et présentent respectivement 90% et 10% de son poids total (Goulasetal., 2016 ; Mekhoukhe *et al.*, 2018; Van Rijs *et Fogliano*, 2020 ; Elaoufi *et al.*, 2022).

5.1 Pulpe

La composition chimique de la pulpe dépend généralement, du cultivar, de l'origine et par fois de la période de récolte (Albanell *et al.*, 1991 ; Kessout *et al.*, 2022). Elle contient des glucides, ainsi que des fibres alimentaires (Tableau en annexe), des tanins et des polyphénols (Papagiannopoulos *et al.*, 2004 ; Van Rijs *et Fogliano*, 2020 ; Elaoufi *et al.*, 2022).

Thomson(1971), a découvert dans 40 cultivars un taux de sucres de 37 à 62%, des protéines brutes 2,2 à 6,6%, des fibres brutes de 4,2 à 9,6% et une teneur en cendre de 1.5 à 2.4%.

D'après **Rababah et al. (2013)** ; **Fidan et al.(2018)** ; **Rodriguez-Solana et al. (2021)** ; **Richane et al. (2022)**, la pulpe charnue est très riche en sucre (48-72%), principalement, le saccharose, suivi par le glucose et le fructose et le maltose (tableau en annexe). Elle contient une faible teneur en protéines (2-6%). D'après **Ayaz (2009)**, la farine de gousse de caroube broyée contient à peu près 4,45% de protéines : aspartique (acide aspartique + asparagine), alanine, acide glutamique (acide glutamique + glutamine), leucine et valine ; ensemble, elles représentent 57% de la teneur en acides aminés total des gousses. Tandis que des teneurs négligeables en lipides (0,4-0,6%) ont été détectées dans la pulpe par **Youssef et al.(2013)**.

La fibre de caroube est unique dans sa composition compte tenu de la présence de fortes quantités de poly phénols principalement des tanins. La teneur en fibres totaux est généralement rangée entre 30 à 40 % (**Haber, 2002** ; **Rodriguez-Solana et al., 2021**). L'analyse minéralogique réalisée par **Puhan et wielinga (1996)** ; **Youssef et al. (2013)** de la pulpe a révélé une teneur appréciable en minéraux (en mg/100g de pulpe) K= 1100, Ca= 307, Mg=42, Na=13, Cu=0.23, Fe=104, Mn=0.4, Zn=0.59.

5.2 Graines

La graine est composée essentiellement d'antioxydants et de polysaccharides. Elle est exploitée depuis l'antiquité comme mesure de pierres précieuses et semble également avoir été utilisée par les pharmaciens pour peser leurs ingrédients (le carat) (**Batlle et Tous, 1997** ; **Karababa et Kuskuner, 2013**).

Des travaux réalisés par **Bouzouita et al. (2007)** ; **Fidan et al. (2020)** ; ont révélé que la graine est pauvre en minéraux, en fibres, en glucides, en revanche elle renferme une teneur non anodine en lipides majoritairement les insaturés et très riche en protéines (50%).

Wang et al. (2001) ont pu extraire une protéine dite ; caroubine, insoluble dans l'eau isolée à partir d'embryons de caroube. Elle correspond à un mélange de protéines polymérisées de tailles dissemblables. **Wang (2001)** ; **Smith (2010)**, rapportent que ce type de protéine possède les mêmes propriétés rhéologiques que le gluten. Cependant, la caroubine possède une structure plus ordonnée avec des changements mineurs dans la structure secondaire lorsqu'elle est hydratée. Ces molécules pourraient être utilisées comme ingrédients

sains dans les aliments nutraceutiques et peuvent constituer une nouvelle source d'aliments pour de différents secteurs de population notamment les intolérants au gluten (**Bengoechea et al., 2008**). Elle contient également des polysaccharides essentiellement galactomannane connu sous le nom de gomme de caroube (**García-Ochao et Casas, 1992 ; Lizardo et al., 2002**).

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

6. Production mondiale

Le caroubier présente une irrégularité de production très marquée dont on attribue généralement la cause à une mauvaise pollinisation, à des déficiences en soins culturaux et aux conditions climatiques (**FAO, 2003 ; Ben Ayache et al., 2021**). La production mondiale annuelle de caroube essentiellement méditerranéenne, est estimée à 144960 tonnes dont les principaux producteurs (Tableau I) sont Maroc avec 21801 tonnes, Turquie 18806 tonnes, Liban 4058 tonnes, Algérie 3280 tonnes, Tunisie 808 tonnes (**FAOSTAT, 2020**). Selon les statistiques fournies par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture **FAOSTAT, (2020)**, la superficie totale récoltée de la caroube dans le monde est estimée à 14504 ha (tableau I) et dont la production totale est estimée en 2020 à 49693 tonnes. La différence en rendement dépend de la récolte, de la région et des pratiques de culture (**Makris et Kefalas, 2004 ; Ben Ayache et al., 2021**). Ainsi, La grande variabilité phénotypique au sein et entre les cultivars présente d'importantes implications pour la sélection, la création de nouvelles plantations et l'optimisation de la productivité de cette culture (**Battle et Tous, 1997**).

Tableau I: Production de la caroube dans le monde d'après FAOSTAT (2020)

Pays	Production(tones)
Algérie	3280
Israël	405
Jordanie	0
Liban	4058
Maroc	21801
Mexique	333
Tunisie	818
Turquie	1806
Ukraine	192
Totale	32693

7. Production en Algérie

La superficie totale cultivée du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 809 ha en 2016 (FAOSTAT, 2016). D'après FAO (2010), la superficie était en 2009 de 927 ha dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia. Cette dernière a baissé à 729 ha d'après FAOSTAT (2020)

La superficie récoltée de caroube est de 789 ha avec un rendement de 36507 ha/ha La production nationale de la caroube est estimée à 33841 Qx et se concentre principalement dans la wilaya de Bejaia avec une production de 18.417 Qx, ce qui représente 54,42 % de la production nationale, suivie par la wilaya de Blida (23,79%) et Tipaza (16,55%). Malgré son vaste territoire et ses capacités, l'Algérie est à la traîne parmi les pays producteurs de caroube, derrière le Portugal, l'Espagne, le Maroc, l'Italie, Turquie et les autres pays producteurs.

L'Algérie a connu une petite progression de production de caroube de 2865 tonnes en 2011 (FAO, 2016) à 3280 tonnes en 2020 (FAOSTAT, 2020).

8. Importance économique

Le caroubier se révèle actuellement l'arbre le plus performant parmi les arbres fruitiers et forestiers puisque toutes les parties de l'arbre (feuille, fleur, fruit, bois, écorce et racine) sont

utiles, notamment le fruit (**Ben Ayache et al., 2021 ; Kessout et al., 2022**). Il présente un intérêt de plus en plus vif en raison non seulement de sa rusticité, son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, son système racinaire très développé, son bois de qualité, mais surtout de ses fruits qui font l'objet de transactions commerciales annuelles dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (**Sbay,2008 ; Ben Ayache et al., 2021**).En fait, la culture du Caroubier et l'industrialisation de ses produits ont connu un développement remarquable en raison des multiples utilisations de ses graines en industrie agro-alimentaire (amélioration de la texture des aliments), diététiques, pharmaceutique, cosmétique et en d'autres applications (**Correia etMartins-Loucao,2005 ; Richane et al., 2022**).

9. Effets indésirables des produits d ecaroube

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

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

II. Gomme de caroube

1. Description

La gomme de caroube (GC) connue également sous le nom de Locust bean gum (LBG) est une poudre blanche à blanc crémeux obtenue à partir de l'endosperme de graine de caroube, c'est un galactomannane qui n'est autre que le polysaccharide obtenu à partir de l'endosperme de la graine après élimination de la cuticule et du germe (**Deuel et Neukom, 1954 ; Dakia et al., 2007 ; Zhu et al., 2019 ; Donmez et al., 2022**).

Les galactomannanes sont des hémicelluloses (non-gélifiants) présentes dans le règne végétal, produits en quantités variables notamment dans l'endosperme d'une grande proportion de graines de légumineuses à l'instar *Ceratonia siliqua* (gomme de caroube), *Cyamopsis tetragonoloba* (gomme de guar) et *Caesalpinia spinosa* (gomme tara) (**Mc Cleary et al., 1974 ; Mathur et al., 2005 ; Zhu et al., 2019 ; Brassesco et al., 2021**).

2. Composition chimique

Les graines sont principalement composées de galactomannane, qui en comprend environ 80 à 85% le reste correspondant à des protéines et des impuretés (**Bouzouita et al., 2007 ; Dakia et al., 2008 ; Brassesco et al., 2021**). La teneur en protéines de la LBG comprend environ 32% d'albumine et de globuline, tandis que les 68% restants correspondent à glutéline (**Smith et al., 2010**). Les impuretés se réfèrent principalement aux cendres et à la matière insoluble dans l'acide (**Kawamura, 2008 ; Yuan et al., 2020**).

Plusieurs investigations ont montré que la composition chimique de GC purifiée est beaucoup plus faible en comparaison à GC brute (**Dakia et al., 2008 ; Farahnaky et al., 2014 ; Mekhoukhe et al., 2018 ; Mekhoukhe et al., 2020**). Cette variation est probablement tributaire d'après **Da Silva et al. (1990) ; Dakia et al. (2014)**, au traitement de purification appliqué qui permet d'éliminer la cellulose, la lignine et les lipides, ainsi que de diminuer considérablement les quantités de minéraux et de protéines. Le tableau II résume le composition chimique de la gomme de caroube

Tableau II: Composition chimique de la gomme de caroube (Barak et Mudgil, 2014)

Constituants	%
Galactomannane	80 à 85
Humidité	10 à 12
Protéines	5 à 6
Lipides	0,5 à 0,9
Fibre brute	0,8 à 1
Cendres	0,5 à 1

3. Structure chimique de la gomme

Les galactomannanes ont une structure générale semblable, constituée d'une chaîne de monomères dont chacune possède une chaîne principale de mannane sur laquelle il existe des ramifications d'une unité galactose (McClearly *et al.*, 1988 ; Zhu *et al.*, 2019 ; Yuan *et al.*, 2020).

Ils se distinguent par leur teneur en unité galactose exprimée par le rapport mannose sur galactose (M/G), par la répartition des unités galactose le long de la chaîne de mannane et aussi par leur masse molaire (Fox, 1992 ; Azero *et al.*, 2002 ; Yuan *et al.*, 2020). Cette différence dans la « microstructure » influence fortement les interactions moléculaires (da Silva *et al.*, 1990 ; Mao *et al.*, 2006) et les propriétés rhéologiques des solutions de galactomannanes. En outre sont des polysaccharides hydrosolubles et neutres (Deuel et Neukom, 1954 ; Dea *et al.*, 1975 ; Dakia *et al.*, 2008).

C'est des polysaccharides de haut poids moléculaire constitués d'une chaîne linéaire de 1,4- D-mannose (figure.8) sur laquelle un seul D-galactosyle est attachée sur le carbone C6 du D-mannosyl (Lopes da Silva *et al.*, 1996 ; Pollard, 2007 ; Xu *et al.*, 2022).

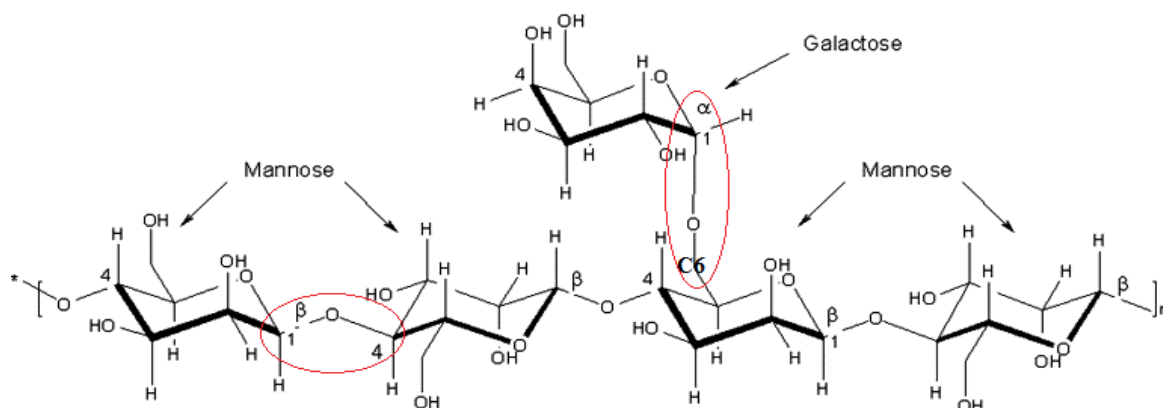


Figure 8: Structure chimique de la gomme de caroube (Haddarah, 2013).

D'après **McCleary (1986)** ; **Yuan et al. (2020)**, la répartition des résidus de galactose s'est avérée irrégulière, (laissant des régions du mannose non substitué). Ces régions permettent probablement des interactions avec d'autres polysaccharides, telles que l'interaction synergique avec κ -carraghénane (**Sand, 1982** ; **Srivastava et Kpoor, 2005** ; **Zhu et al., 2019**), par opposition à la gomme de guar, qui n'a pas des régions de mannose non substituées (**McCleary et al., 1985** ; **Kok 1999**).

4. Comportement rhéologique de la gomme de caroube

La rhéologie (du grec rheo, couler et logos, étude), est la science qui étudie l'écoulement (dans les liquides) et la déformation (solide ou semi-solide) de la matière sous l'effet de la force appliquée et la rupture des corps sous l'effet d'une contrainte (**Borzacchiello et al., 2017** ; **Moris, 2017**; **Taguet, 2020** ; **Fernandes et al., 2022**). Le comportement rhéologique des polymères est spécifiquement étudié afin d'étudier la structure et la disposition spatiale des macromolécules qui nous renseigne sur les différentes interactions intra et intermoléculaires (**Rasavi et Irani, 2019**; **Taguet, 2020** ; **Fernandes et al., 2022**).

La gomme pure peut être plus sensible à la dégradation, sous l'influence de la température, que la gomme non pure étant donné que cette dernière contient des matières qui protègent le galactomannane de la dégradation (**Köketal., 1998** ; **Yuan et al., 2020**). Par ailleurs, La gomme de caroube seule ne forme jamais un gel mais elle peut former des solutions stables très visqueuses à des concentrations très faibles (<1%) grâce à ses fortes capacités de rétention d'eau (gonfler avec l'eau) non assimilable par l'organisme (**Battle et Tous, 1997**, **Pollard, 2006** ; **Yuan et al., 2020**).

5. Solubilité

D'un point de vue pratique, la solubilité en solution aqueuse des galactomannanes de caroube s'exprime par le biais d'un pourcentage mesurant la proportion du produit restant en solution suite à une centrifugation (**Deuel et Neukom, 1954** ; **Dakia et al., 2008** ; **Yuan et al., 2020**). Cette solubilité dépend des dissolutions préalables, de l'équilibre entre les interactions molécules et molécules-solvant, de la nature physico-chimique des molécules ainsi que de l'état physique de la matière (**Dakia et al., 2008** ; **Dey et al., 2012** ; **Du et al., 2020**).

5.1 Effet de la température

Les galactomannanes de caroube sont généralement considérés comme partiellement solubles (Richardson *et al.*, 1990 ; Du *et al.*, 2020), voire faiblement à basse température (Rinaudo, 2001) et doit être chauffée pour atteindre une solubilité maximale. En effet d'après Dakia *et al.* (2007) ; Mekhoukhe *et al.* (2020), la gomme de caroube est partiellement soluble à l'eau froide 25°C (50%/ 1h) et doit être chauffé (Figure.9) pour atteindre une solubilité maximum à 80°C(90%/1h). En règle générale, la solubilité de la gomme de caroube n'excède pas 90%.

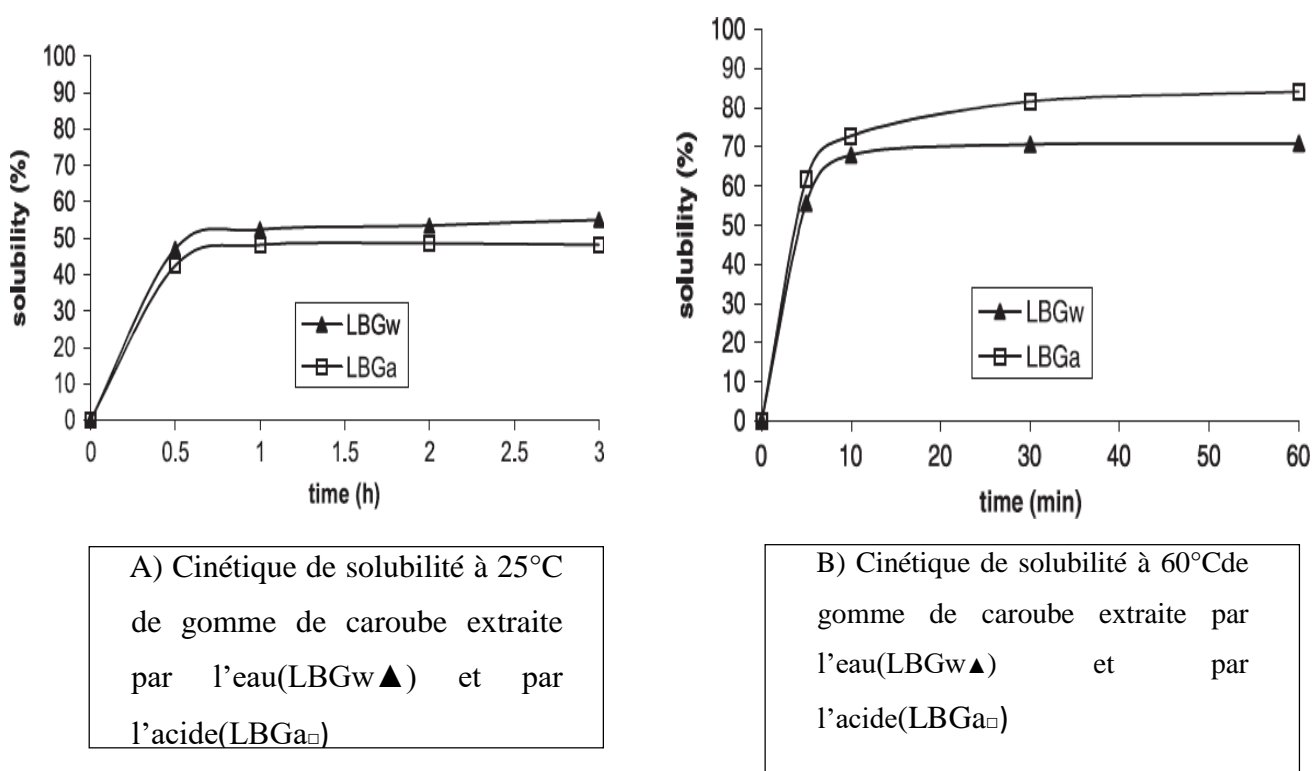


Figure 9: Cinétique de solubilité de gomme de caroube extraite par a) l'eau (LBG w) et b) par l'acide (LBG a) (Dakia *et al.*, 2008) , (LBG w) :Gomme de Caroube extraite a l'eau bouillante,(LBGa) Gomme de Caroube extraite à l'acide

6. Viscosité

Les galactomannanes sont commercialisés et conservés sous forme de poudre. Lors de la mise en solution, les macromolécules contenant plus de résidus galactose seront plus facilement solubles à froid. C'est le cas du guar (M/G = 2:1) avec 40 % de galactose, qui atteint sa solubilité et sa viscosité maximum à partir de 40°C .Par contre, les macromolécules peu ou pas ramifiées sont difficilement solubles et entraînent parfois la formation d'amas de

polymères (grumeaux) très difficilement accessibles au solvant. Un chauffage (sous agitation forte) sera alors nécessaire pour atteindre une solubilisation et une viscosité maximum. C'est le cas de la caroube (M/G =4:1) qui, avec 20% de teneur en galactose, atteint sa solubilité et sa viscosité maximum à 80°C (Gaisford *et al.*, 1986; Kök *et al.*, 1999 ; Dakia *et al.*, 2008 ; Xu *et al.*, 2022).

7. Extraction de la gomme de caroube

Les galactomannanes de caroube sont fort recherchés par l'industrie alimentaire pour leurs propriétés texturants. Dans ce but, l'endosperme de la graine de caroube peut être extrait et broyé pour donner naissance à une poudre blanche commercialisée sous le nom de «gomme de caroube» (Dakia *et al.*, 2008 ; Xu *et al.*, 2022).

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

Il existe principalement deux procédés ; chimique (traitement à l'acide sulfurique) et thermomécanique (traitement à l'eau bouillante et la torréfaction) permettant la séparation des endospermes des autres parties de la graine (enveloppes et radicules) (Dakia *et al.*, 2008 ; Kawomura, 2008; Prajapati *et al.*, 2013 ; Kivrak *et al.*, 2015).

8. Domaines d'application

Les galactomannanes de caroube sont considérés comme des substances hydrocolloïdes qui sont devenus ces dernières années le centre d'intérêt des chercheurs travaillant sur les polysaccharides d'intérêt technologique, Aujourd'hui, ces polysaccharides peuvent être utilisés dans plusieurs domaines les industries, pharmaceutiques, biomédical (Tableau en annexe), cosmétiques, du textile et alimentaires (Souza *et al.*, 2015 ; Zhu *et al.*, 2019 ; Donmez *et al.*, 2022 ; Palaiogianni *et al.*, 2022).

III. Saucés alimentaires

Les saucés (froides et chaudes) sont couramment utilisées dans la vie quotidienne de nombreux consommateurs. Ils sont généralement conditionnés dans de petits contenants à usage unique de différentes formes, sont pratiques à utiliser et faits de matériaux légers, de sorte qu'ils peuvent être considérés comme des aliments prêts à consommer. Un autre avantage des saucés est leur capacité à améliorer le goût des aliments (**Sikora et al., 2008 ; Garcia -Casal et al., 2016**). Les saucés froides se divisent en deux grandes catégories : les saucés d'assaisonnements émulsionnées non stables de type vinaigrette, celles émulsionnées stables à l'instar la mayonnaise (**Brottes et Rajaud, 2015**).

1. Mayonnaise

La mayonnaise est une sauce épaisse et crémeuse qui occupe une place prépondérante parmi les différentes saucés et vinaigrettes à base de matières grasses. Ils sont faciles à digérer et sont recommandés pour une utilisation quotidienne par tous les groupes de population, y compris les aliments prophylactiques et diététiques, pour la confection de différents plats, sandwichs, salades aussi bien en cuisine familiale qu'en restauration collective (**Miedviedieva, 2016**).

1.1 Définition

La mayonnaise est une émulsion huile dans eau (H/E) et est largement consommée comme assaisonnement traditionnel en raison de sa sensation en bouche crémeuse et saveur particulière. La mayonnaise conventionnelle contient 65 à 80 % de matières grasses, qui contribue à sa texture, son apparence, sa saveur et sa durée de conservation (**Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019**). C'est une émulsion de structure semi-solide d'huile (phase discontinue) dans l'eau (phase continue). Elle est viscoélastique grâce à un réseau de lipoprotéines adsorbées autour des gouttelettes d'huile adjacentes (**Wan et al., 2022 ; Wang et al., 2020**).

1.2 Ingrédients utilisés

C'est une émulsion huile dans eau (H/E) avec une texture épaisse et une saveur riche. La première mayonnaise commercialisée, sous forme de sauce crémeuse émulsionnée à froid, a été introduite dans l'industrie alimentaire vers 1900 (**Aganovic et al., 2018 ; Wang et al., 2020 ; Khairullah Mohammed et al., 2022 ; Hakimian et al., 2022**). Les normes de

composition varient considérablement, mais il semble y avoir un accord commun sur ce qu'on appelle les « ingrédients clés », à savoir l'huile (tableau III), le vinaigre, la moutarde, le jaune d'œuf ou l'œuf entier, le vinaigre, la moutarde, le sel et le sucre (Morley, 2016 ; Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019 ; Hakimian et al., 2022).

Tableau III Proportions de certains ingrédients de la mayonnaise (Amrouche, 2019)

Ingrédients	Concentration massique (%)
Huile	70-80
Jaune d'œuf	8-11
Vinaigre	4-5
Sel	1-1.5
Sucre	0.8-1.5
Stabilisant	0.1-0.5
Arôme	QS
Eau	QSP 100

QS : quantité suffisante ; QSP : quantité suffisante pour

1.3 Rôle des principaux ingrédients

Les ingrédients d'une émulsion alimentaires, comme la mayonnaise interagissent entre eux, soit physiquement ou chimiquement et déterminent la qualité finale des produits (Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019 ; Khairullah Mohammed et al., 2022).

1.3.1 Huile

C'est est un aliment stable aux contaminations microbiennes en raison de sa teneur élevée en matières grasses ce qui peut allonger sa durée de conservation (Morley, 2016 ; Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019). En tant que l'un des principaux ingrédients, il affecte positivement les caractéristiques rhéologiques et sensorielles du produit fini. Il contribue également à la saveur, la texture, l'onctuosité, appétence, apparence (Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019 ; Wan et al., 2022).

1.3.2 Jaune d'œufs

C'est la partie la plus vitale de la mayonnaise, il est impliqué dans la formation et dans la stabilisation de l'émulsion (Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019 ; Wan et al., 2022). Il peut également apporter de la couleur et saveur aux niveaux appropriés. Ils sont pasteurisés et

fournis sous forme liquide ou congelée. C'est une combinaison complexe d'interaction phospholipides -protéines, il est utilisé soit sous forme frais, séché ou congelé (Nieuwenhuzen, 2015 ; Morley, 2016).

1.3.3 Vinaigre

Le vinaigre contribue à la préservation de la qualité microbienne, et l'amélioration de l'arôme de mayonnaise (Morley, 2016 ; Anamaria, 2019 ; Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019).

1.3.4 Moutard

La moutarde contribue à la saveur et à la couleur de la mayonnaise. La majeure partie de la saveur de la moutarde provient des isothiocyanates (Milani et al., 2013 ; Morley, 2016).

1.3.5 Autres produits

- Sucre (saccharose) qui est appliqué dans certains produits de mayonnaise bien qu'à des niveaux relativement faibles. Il joue un rôle dans la conservation et contribue à la texture ainsi qu'à la douceur (Morley, 2016 ; Mirzanajafi-Zanjani et al., 2019).
- Sel est un autre composant de la mayonnaise, joue un rôle dans les modèles de stabilité en raison de sa fonctionnalité en tant que conservateur (Hakimian et al., 2022).
- Hydrocolloïdes (amidons, gommés, cellulose) sont des ingrédients fonctionnels sont souvent additionnés aux aliments pour améliorer la texture et la stabilité de l'émulsion (Dickinson, 2003 ; Morley, 2016 ; Schadle et al., 2022).

1.4 Processus industrielle de fabrication

Selon Kone (2001), en émulsion, la fabrication de la mayonnaise nécessite deux phases.

- **Phase grasse :** Constituée de l'huile dans les proportions déterminées selon la recette ainsi que des auxiliaires de fabrication qui y sont solubles tels que : l'émulsifiant, les vitamines, les arômes.
- **Phase aqueuse :** Constituée de l'eau dans les proportions définies selon la recette ainsi que des auxiliaires de fabrication qui y sont solubles à l'instar, les émulsifiants, les

vitamines, les arômes. Sa préparation proprement dite consiste à dissoudre les additifs dans l'huile. Le liquide limpide ainsi obtenu constitue la phase grasse complète.

- **Phase aqueuse :** Composée d'eau et du vinaigre ainsi que des adjonctions qui y sont solubles tels que : sel, sucre, arômes, conservateurs ...etc.

La préparation proprement dite de la phase grasse consiste à dissoudre les additifs dans l'huile. Le liquide limpide ainsi obtenu constitue la phase grasse complète

- Introduire la phase aqueuse et le jaune d'œuf dans la cuve ;
- Mettre en marche le broyeur colloïdal avec retour dans la cuve ;
- Introduire, en petites quantités au départ, la phase huileuse ;
- Augmenter progressivement la quantité de la phase huileuse à ajouter au fur et à mesure que l'émulsion commence à devenir visqueuse.

Partie pratique
Matériels et méthodes

I. Matériels et méthodes

1. Plan du travail

Ce présent travail portera sur l'essai d'incorporation de la gomme de caroube dans un produit alimentaire industriel « mayonnaise » et de concevoir l'habilité de la gomme après son extraction à améliorer certaines de ses caractéristiques en particulier la texture. L'objectif dans un premier temps est de déterminer certains paramètres physicochimiques de la gomme après son extraction, d'évaluer certains paramètres rhéologiques (solubilité et effet de pH), la cytotoxicité, et dans la seconde partie un essai de formulation d'échantillons de mayonnaise a été réalisé et un suivi de certains paramètres physicochimiques et une analyse sensorielle est effectuée. Certaines manipulations ont été effectuées au niveau du laboratoire de recherche L3BS de l'université de Bejaia et d'autres au niveau du complexe CEVITAL (au niveau de l'unité recherche et développement (R&D)).

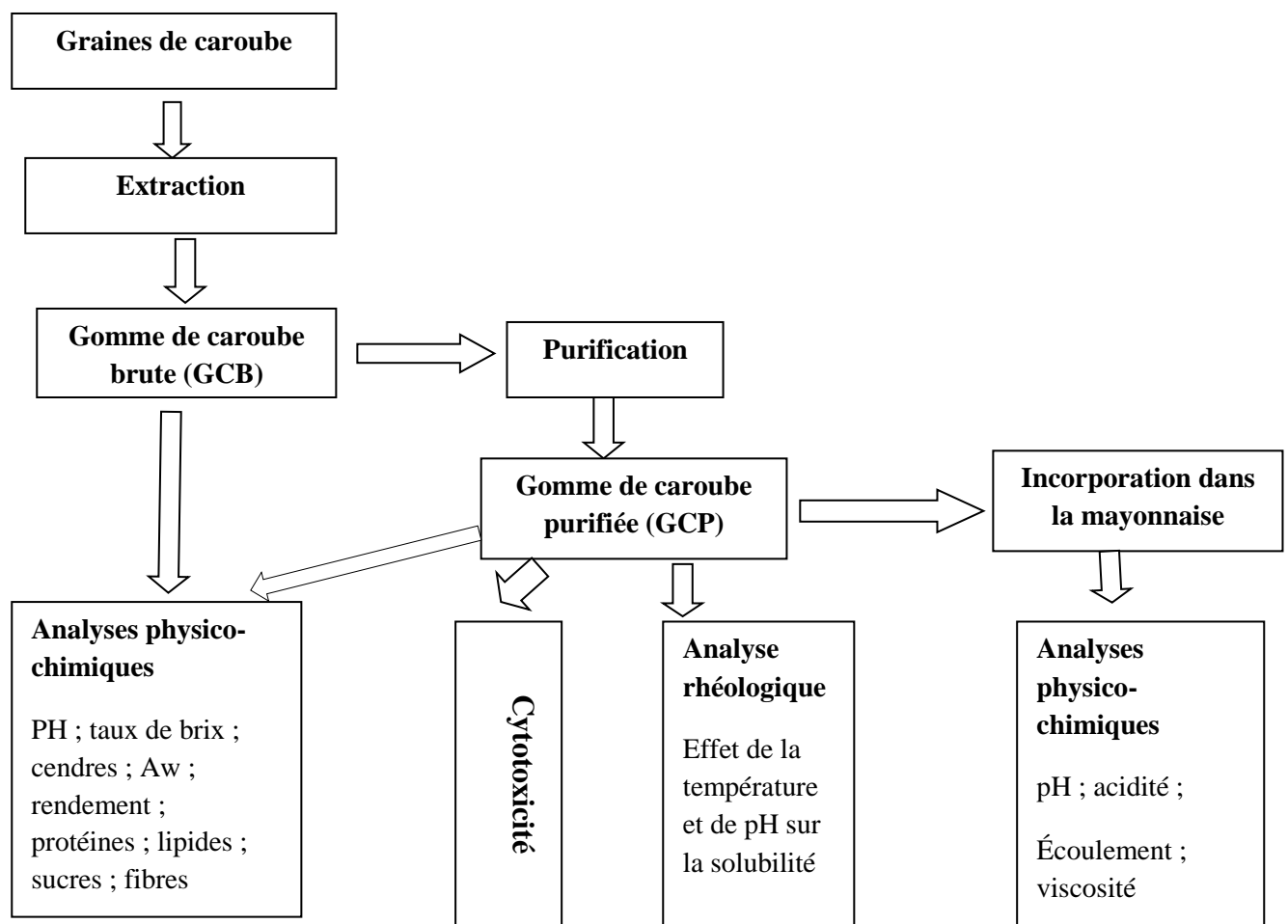


Figure 10: Plan de travail

2. Matériel végétal

2.1 Préparation de la matrice végétale

La matière végétale est un fruit « gousses » de caroube de l'espèce *Ceratonia siliqua* qui provient de la région d'Imazayen, située au Nord-est de la wilaya de Bejaïa commune de Boulimat latitude : 36°48'17'', longitude : 4°66'12'' Algérie. La récolte a été effectuée au mois septembre 2020.



Figure 11 : Localisation de la zone d'étude

Une identification de la caroube a été réalisée au niveau du laboratoire de physiologie végétale, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia. Les fruits ont été lavés, séchés à l'ombre pendant plus de 3 semaines, ensuite les pulpes ont été séparées de leurs graines. Les graines ont été récupérées, concassées (Figure 12.), broyées puis tamisées, la poudre ainsi obtenue a été lyophilisée et conservée pour des analyses ultérieures.



Figure 12 : A) Gousses de caroube ; B) Pulpe sans graines découpés en morceaux ; C) Graines

2.2 Extraction de la gomme

L'obtention d'une gomme de caroube blanchâtre de hautes qualités nécessite un travail judicieux en plusieurs étapes. Cette extraction a été réalisée selon le protocole décrit par **Dakia et al. (2008)** avec quelques modifications :

- **Traitement à l'eau bouillante**

La séparation de l'endosperme constitue un traitement primordial dans le processus de l'extraction. Une masse de graines (100g) sont additionnés à volume d'eau bouillante (800 mL), le mélange est chauffé à 100°C sous agitation pendant 1 h (Figure13 a).

- **Décorticage**

Les graines ont été récupérées (figure 13b), lavées avec de l'eau distillée, après refroidissement à température ambiante la cuticule et le germe sont séparés de l'endosperme manuellement (figure 13 c, e, d) respectivement.

- **Séchage et broyage**

Les endospermes ainsi récupérés ont été lavés et séchés (Figure f) dans une étuve à 40°C pendant 2 à 3 jours, puis broyés. La poudre obtenue est de couleur jaunâtre « gomme de caroube brute » non purifiée (GCB)(Figure.13)

- **Tamisage**

La poudre de GCB obtenue a été tamisée à l'aide d'un tamiseur d'une granulométrie de 250 µm afin de se débarrasser des grandes particules insolubles. Les figures ci-après indiquent les principales étapes de l'extraction de la gomme de caroube.

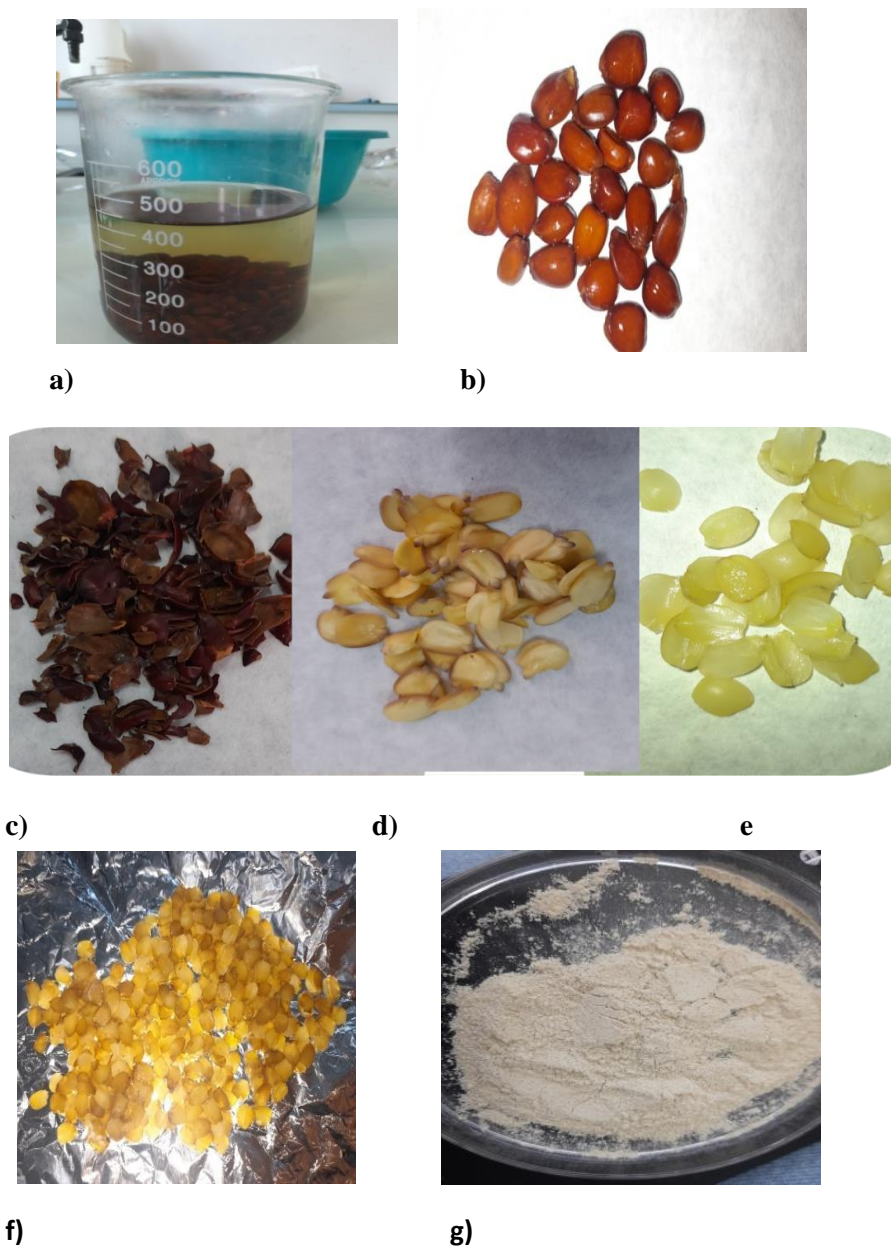


Figure 13 : les différentes étapes d'extraction de la gomme de caroube

3 Purification de la gomme

La purification permet de réduire considérablement les impuretés à l'instar des minéraux, protéines, cellulose, lignine et les lipides (**Lopez da Silva et al., 1990**). Dans cette étude plusieurs essais ont été réalisés (4 testes différents) pour choisir le bon solvant pour la précipitation des galactomannanes et établir un selon la teneur en cendres.

Tableau IV : Solvants de solubilisation et de précipitation

Extraction Échantillons	Eau de solubilisation		Solvant de précipitation	
	Eau distillée	Eau déminéralisée	Ethanol	Isopropanol
E1	+	/	+	/
E2	+	/	/	+
E3	/	+	+	/
E4	/	+	/	+

E1 : eau distillée+ éthanol ; E2 : Eau distillée+ Isopropanol ; E3 : Eau déminéralisée + Ethanol ; E4 : Eau déminéralisée+ Isopropanol

Ce protocole permet d'obtenir quarts fractions différentes des galactomannanes sous forme de poudre.

La clarification de la gomme a été réalisée selon la méthode décrite par **Haddarah et al. (2014)** avec quelques modifications : Une masse de poudre GCB (1g) à un volume d'eau déminéralisé, Chauffée à une température 80 °C pendant 30 min. Après refroidissement pendant toute une nuit à température ambiante, le mélange a été centrifugé à 4500 tr/min pendant 15 min, un aliquote de surnagent a été récupéré et précipité toute une nuit dans 2 volume d'isopropanol. Après filtration, un séchage à 40°C, un broyage et un tamisage ont été réalisés. On obtient une poudre très fine poudre de caroube purifiée GCP. La figure ci-après résume les principales étapes de purification de la gomme de caroube.

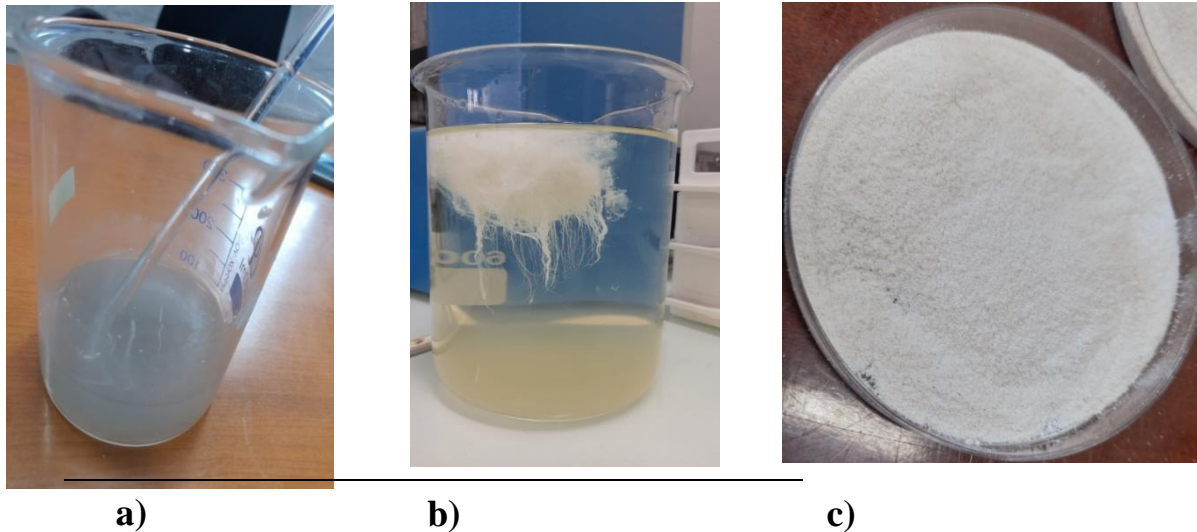


Figure 14 : Principales étapes de purification : A) précipitation à l'alcool B) précipité ; C) gomme purifiée

3. Composition chimique de la gomme de caroube (brute et purifiée)

3.1 Test de l'humidité (NF,1976)

Après la récupération des graines, un test d'humidité a été réalisé selon la méthode AOAC (2000). 100 mg d'échantillons ont été séchés pendant 3 h à 105°C, repesés après séchage. Les résultats sont exprimés comme suit :

$$H(\%) = \frac{(M1 - M2)}{P \times 100}$$

Où

H% : Humidité.

M1: Masse de la capsule + matière fraîche avant séchage en g.

M 2: Masse de l'ensemble après séchage en g.

P: Masse de la prise d'essai en g.

3.2 Dosage des sucres totaux

- **Principe**

Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment- là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 485nm (Dubois et al., 1956).

- **Protocole**

Les sucres totaux sont déterminés selon le protocole de phénol-sulfurique décrit par **Dubois et al.,1956**. Une masse d'échantillon (2g) est dissoute dans 50 mL d'éthanol (80%), le mélange est soumis à une agitation pendant 2 h. Après filtration le filtrat est récupéré, 1mL du filtrat est ajouté à 1 mL de phénol (5%) et à 5mL de H₂SO₄. La solution obtenue est agitée instantanément 25°C pendant 20 mn, une coloration jaune apparait, la lecture est réalisée au moyen d'un spectrophotomètre (UV-Visible) à une longueur d'onde de $\lambda=485$ nm, la teneur en sucres totaux est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec le glucose.

3.3 Détermination des protéines

- **Principe**

La détermination s'effectue en trois étapes : une étape de Digestion (minéralisation), où l'échantillon est minéralisé en milieu acide en présence d'un catalyseur, dans les conditions de minéralisation, l'azote organique est retrouvé sous forme d'ammonium, les ions ammonium sont transformés en ammoniac dans le milieu alcalin. Une étape de distillation ; On entraîne l'ammoniaque (NH₃) à la vapeur d'eau et on dose le condensat recueilli et enfin l'étape de titrage par le dosage volumétrique (acide/base) (**AOAC, 2007**).

- **Protocole**

La teneur en protéines dans la gomme de caroube est déterminée par le dosage de l'azote total selon la méthode officielle **AOAC (2007)**, cette analyse est effectuée à l'aide d'un appareil Kjeldahl (La digestion et la distillation). Dans un matras de Kjeldahl, on introduit 5g d'échantillons, 25mL d'acide sulfurique H₂SO₄ (97 %), 2g de catalyseur (20g de K₂SO₄ et 1g de HgO), puis on mélange et on laisse digérer à une température élevée (373°C, 3 h environ), puis le matras est chauffé jusqu'à la transformation de la couleur noire en une couleur limpide, à cet instant-là l'azote organique est transformé en azote minéral ; c'est l'étape de minéralisation. Dans un autre matras, on introduit 10 mL du contenu du premier matras 20 mL d'eau distillée et une solution de NaOH (35 %) environ (30mL) et un volume d'une solution d'acide borique (0,1N) ce qui permet la distillation de l'ammoniaque. L'ammoniaque obtenue est titrée à l'aide d'une solution d'acide sulfurique (H₂SO₄) et d'un indicateur coloré. L'azote total est calculé suivant la formule représentée ci- dessous :

$$\text{Azote total (N) (\%)} = \frac{(V_b - V_e) F * 14,01 * 10}{m} \times 100$$

Taux de protéines brutes (%) = N total (%) x 6,25

V_b : Volume de NaOH 0.1N utilisé pour un essai blanc (mL) ;

V_e : Volume de NaOH 0.1N utilisé pour la titration de la solution à doser (mL) ;

F : Facteur de conversion (6,25) ;

10 : Coefficient du volume total de la solution à doser ;

m : Masse de la prise d'essai (g) ;

14,01 : Masse atomique de l'azote. (g/mol) ;

3.4 Dosage des fibres

- **Principe**

Elle consiste d'après **De Pádua et al. (2004)** à traiter l'échantillon successivement avec de l'acide et de la base. L'hydrolyse acide/ basique (à chaud) permet de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibres alimentaires et des sels minéraux.

- **Protocole**

La teneur en fibres est déterminée selon le protocole décrit par **De Pádua et al. (2004)** avec quelques modifications ; 2g d'échantillons sont digérés dans 200mL de HCL (5%) pendant 30 min, le mélange est filtré et lavé à l'eau chaude. Le résidu obtenu est digéré par un volume de NaOH (5%) sous reflux pendant 30 min, le mélange est filtré et lavé à l'eau jusqu'à neutralité du pH. La solution obtenue est lavée à l'alcool éthylique et éther éthylique, le résidu est séché à 100°C pendant 2 h et la masse résiduelle est considérée comme des fibres.

3.5 Détermination de la teneur des Lipides

- **Principe**

L'extraction par solvant organique (éthyle éther), est réalisée avec un appareil de type Soxhlet. A la fin de l'extraction, on peut admettre que toute la matière grasse est transférée dans le solvant.

- **Protocole**

La quantité en lipides est estimée d'après la méthode décrite par **De Pádua et al. (2004)**. Une masse de poudre de gomme (2g) est extraite avec le soxhlet en utilisant l'éther diéthylique pendant 4 h. Le solvant est évaporé et le résidu est considéré comme lipides.

3.6 Dosage des cendres (AOAC, 2006)

- **Principe**

Le principe consiste à une incinération du matériel biologique. L'opération ne sera Terminée que lorsque la couleur des résidus deviendra blanche grisâtre, qui se transformera en une couleur blanche après refroidissement.

- **Protocole**

La teneur en cendres contenue dans les échantillons est déterminée selon la méthode **AOAC (2006)**. Une quantité en g de poudre est incinérée dans un four à moufle contrôlé et préchauffé à 600°C pendant 6h.

La teneur en cendres est déterminée en pourcentage (%) selon la formule suivante:

$$\text{Cendres \%} = \frac{m1-m0}{mi} * 100$$

m1 : masse (g) de creuset avec cendre après incinération ;

m0 : masse (g) de creuset vide ;

mi : masse (g) initiale d'échantillon

4. Analyses physiques

4.1 Détermination du pH (NF V 05-108, 1970)

- **Principe**

Détermination en unité de pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre plongées dans une solution aqueuse de la gomme de caroube.

- **Protocole**

Une solution de gomme de caroube à 0,1% est préparée, 5 g d'échantillons sont additionnés à 100 mL d'eau distillée préalablement chauffée à 80°C, puis agités pendant 5mn tout en

maintenant la température stable aux alentours de 80°C. On laisse la solution refroidir puis on plonge la sonde de pH mètre dans la solution. Lire la valeur directement.

4.3 Détermination du degré Brix

- **Principe**

On entend par résidu sec soluble (déterminé par réfractométrie) la concentration en saccharose d'une solution aqueuse ayant le même indice de réfraction que le produit analysé, dans les mêmes conditions de préparation et de température. Cette concentration est exprimée pourcentage massique (AFNOR, 1970).

- **Protocole**

La teneur en solides solubles totaux a été déterminée par une lecture directe par un réfractomètre manuel (ATAGO, PAL-1 de 0-53% Brix). La lecture est faite en plaçant une goutte d'échantillon, sur la plaque de charnière de l'instrument, face à la lumière dans une lecture numérique du réfractomètre et exprimés en degrés Brix (Gomes et al., 2018).

5. Etude rhéologique

5.1 Test de solubilité

5.1.1 Etude de l'effet du pH sur la solubilité

Plusieurs échantillons (18) de GCP ont été préparés à une concentration de 1%, 8 échantillons à une température 80 à différents pH (4, 7 et 11), sous agitation pendant 10 ;20 ;30,40, 50 et 60 min h. Les solutions ont été par la suite centrifugés (6000tr/min, 30 min). Les surnageants ont été récupérés et séchés dans une étuve à 105°C pendant 24h. Le pourcentage de solubilité a été déterminé selon la formule suivant :

$$\text{Solubilité (\%)} = \frac{C_s}{C_p} \times 100$$

C_s : Concentration du surnagent (mg/mL) ;

C_p : Concentration de la préparation initiale (mg/mL).

6. Etude de la cytotoxicité de la gomme

L'extraction des galactomannanes est réalisée selon la technique établie par **Abbou et al. (2019)** avec quelques modifications :

- **Préparer la suspension des globules rouges**

Le sang a été prélevé par ponction veineuse sur des volontaires sains, placé dans des tubes héparines et centrifugé à 3500tr/min pendant 15min. Le plasma et la couche leucocytaire ont été éliminés. Les globules rouges (GR) ont été mis en suspension dans un volume de NaCl à 0,9% et centrifugés à 2500 tr/min pendant 5min. Les GR ont été lavés plusieurs fois dans la même solution jusqu'à l'obtention d'un surnageant clair. Par la suite le culot (GR) a été récupéré afin de préparer une solution d'un volume de culot dans 9 volumes de NaCl (0,9%) pour le test de cytotoxicité.

- **Préparer les dilutions**

Plusieurs solutions (7solutions) ont été préparées à différentes concentration (0,01 ; 0,125 ; 0,166 ; 0,25 ; 0,5 ; 1,25 ; 2 mg/mL).

- **Protocole**

Un volume de chaque solution préparée est mélangé à 1 mL de la solution des GR. Les échantillons sont Centrifugés à 14000tr/min pendant 10min et le surnageant a été récupéré et les échantillons ont été incubés pendant 60min, la lecture de l'absorbance est réalisée au moyen d'un spectrophotomètre (UV-Visible) à une longueur d'onde $\lambda = 540$ nm. L'hémolyse en présence des extraits est calculée par rapport à cette formule :

$$\text{Le pourcentage d'hémolyse (\%)} = 100 \cdot \frac{A_0 - A_1}{A_0}$$

▪ A_0 : Absorbance du control positif (Na Cl 0,2% sans extrait)

▪ A_1 : Absorbance en présence de l'extrait polysaccharidique

7. Essai d'incorporation de la gomme dans une sauce alimentaire (mayonnaise)

7.1 Préparation des échantillons de mayonnaise

Dans cette partie un essai d'incorporation de la gomme de caroube pure dans une mayonnaise formulé à l'échelle laboratoire au niveau du complexe. Trois échantillons ont été préparés selon un protocole spécifique de l'unité CEVITAL.

- **Ingrédients**

Pour la préparation de la mayonnaise plusieurs ingrédients ont été utilisé à savoir huile de colza (non raffiné), jaune d'œuf en poudre, vinaigre, sel, sucre, jus de citrons concentré, acide citrique, EDTA (conservateur), amidon modifier, colorants (paprika, lutéine) et la gomme de caroube purifiée

7.2 Formulation de la mayonnaise

La première étape de cette formulation consiste à mélanger le jaune d'œuf (en poudre) avec le sel, le sucre et les colorants puis incorporer GCP (0,02%) préalablement solubilisée dans l'eau, tout en remuant à l'aide d'un batteur à une vitesse réduite puis ajouter progressivement l'amidon auparavant solubilisé dans l'huile de colza. Le vinaigre et le jus de citrons ont été additionnés à la préparation après l'obtention d'une masse dense et homogène. Puis la vitesse a été augmenté au maximum. Au final une masse de 1Kg pour chaque échantillon a été préparée : Les produits obtenus ont été placés dans des récipients alimentaires en verre stériles avec des couvercles et conservés.

Tableau V : Composition des échantillons de mayonnaises préparées

Echantillons	Compositions							
	Huile de colza	Jaune d'œuf	Sel	Sucre	Vinaigre	Jus de citron	GCP	Amidon modifiée
E1	+	+	+	+	+	+	+	+
E2	+	+	+	+	+	+	+	/
E3	+	+	+	+	+	+	/	+

E1 : mayonnaise avec un mélange GCP / amidon modifiée ; E2 : mayonnaise avec GCP ; E3 : mayonnaise avec amidon modifiée

7.3 Contrôle de la stabilité de la mayonnaise

Les échantillons de mayonnaises formulés ont été soumis à un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C pendant une durée de 2 mois l'équivalent de 8 mois selon la loi d'Arrhenius.

7.3.2 Suivre de certains paramètres physico-chimiques

7.3.2.1 Détermination du pH (AFNOR. 1982)

La mesure du pH est réalisée avec un pH-mètre en introduisant la sonde à l'intérieur de l'échantillon. Le résultat est directement lu sur l'écran de l'appareil

7.3.2.2 Détermination de l'acidité (AFNORV.1982)

- **Principe**

L'acidité correspond principalement à la présence des acides organiques et minéraux utilisés dans un produit. Son principe est basé sur le titrage de l'acidité par une solution d'hydroxyde de sodium NaOH alcaline en présence de phénolphthaléine comme indicateur coloré.

- **Protocole**

Une quantité d'échantillon (10g) est additionnée à 001mL d'eau distillée, la solution obtenue est homogénéisée. Pour déterminer l'acidité de chaque échantillon on ajoute quelques gouttes de phénolphthaléine à la solution préparée puis on titre avec une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (0,1N) jusqu'à l'apparition du virage de couleur.

- Calculer l'acidité selon la formule suivante :

$$AC = \frac{V(\text{ml}) \times M \times N}{PE}$$

V : Volume de chute de burette en mL

PE : Masse de la prise d'essai g

M : Masse molaire de NaOH 64g / Mol

N : Normalité à 0,1N

7.3.3 Etude de la qualité de l'émulsion

7.3.3.1 Mesure de la taille des gouttelettes (méthode interne)

- **Principe**

L'une des techniques qui permet de caractériser une émulsion est la granulométrie. Cette analyse est effectuée par un examen microscopique qui définit la taille et l'homogénéité ou la

dispersion des gouttelettes de l'émulsion. Elle consiste en la mesure de la taille des gouttelettes de la phase dispersée appelée distribution granulométrique. Elle peut être réalisée simplement à l'aide d'un microscope optique et d'un logiciel de traitement.

- **Protocole**

Un aliquote échantillon est placé sur une lame de microscope. Dans le but de visionner directement l'aspect des émulsions formées. Cette technique permet aussi de prendre des photos, de façon numérique qui va permettre par la suite de déterminer en précision la taille des gouttelettes.

7.3.4 Contrôle macroscopique

L'examen macroscopique des émulsions est d'une importance capitale. C'est un des tests d'acceptabilité de l'utilisateur, conditionnant partiellement l'observance. De façon à faire cet examen dans les conditions les plus favorables, il convient de stocker les émulsions dans des récipients en verre transparent de grand volume et incomplètement remplis. On généralement

- Aspect : Présence d'une ou de deux phases, existence éventuelle de grumeaux,
- Couleur : Rechercher un éventuel reflet bleuté dû à un effet Tyndall (signe de la présence de globules de très petite taille).
- Fluidité : Faible, moyenne

7.3.5 Contrôle des caractéristiques rhéologiques

7.3.5.1 Détermination de la Consistance (méthode interne)

- **Principe**

La consistance d'un produit est déterminée, en évaluant sa résistance à l'écoulement dans des conditions spécifiques et pendant une durée bien déterminée. Elle est représentée par la distance en centimètre (cm) parcourue par l'échantillon en 30 secondes (s) tout au long d'un canal sous l'effet de la gravité. Elle est mesurée à l'aide d'un matériel appelé consistomètre de Bostwick (**Manuelle de consistomètre**)

- **Protocole**

Remplir le Bostwick avec le produit à analyser, actionner le chronomètre une fois qu'on lâche le crochet du Bostwick (annexe). Au bout de 30s, lire la valeur affichée sur la graduation du matériel.

7.3.5.2 Détermination de la Viscosité (méthode interne)

- **Principe**

Elle est mesurée par le biais d'un viscosimètre rotatif, qui détermine la viscosité d'un fluide a un gradient de vitesse donné. Le principe de fonctionnement consiste à appliquer une force de mouvement exercé sur un axe central qui est un mobile de taille fixe à vitesse constante. La plage de mesure est déterminée par la vitesse de rotation du mobile, la taille et la forme du mobile, couple torsion du ressort calibré. La résistance au mouvement de rotation du mobile est enregistrée à l'aide d'un ressort spirale interne puis convertis en unité viscosimétrie centipoise ou (milli pascal seconde) (**Decodts et Flamarion, 1985**).

- **Protocole**

La viscosité des échantillons a été mesurée par un viscosimètre rotatif modèle FUNGILAB de. L'évolution de la viscosité a été définie comme suit : sélectionner le mobile idéal (R1, R2, R3, R4, R5, R6 ou R7), insérer par la suite le mobile dans le produit(100mL) à tester jusqu'à ce que le niveau de fluide atteigne le repère pratiqué sur la tige. Lecture de la valeur directement sur l'écran.

8. Analyse statistique

Toutes les données représentent la moyenne de trois essais. Pour le traitement des données une étude statistique a été réaliser en utilisant une analyse da la variance (ANOVA), un test de LSD de Fisher à l'aide d'un logiciel STATISTICA 7.1. Le degré de signification des résultats est pris à la probabilité $p < 0,05$.

Partie pratique
Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

1. Le choix du solvant

Le traitement de purification appliqué permet d'éliminer les impuretés éventuellement, diminuer considérablement les quantités de minéraux (Da Silva et al. 1990 ; Dakia et al., 2018). Dans cette étude pour pouvoir choisir le bon solvant pour la purification, une détermination des taux en cendres a été réalisée.

Les résultats obtenus (figure .15) indiquent que la teneur en cendres la plus élevée est obtenue au niveau des échantillons E1(eau distillé avec éthanol) et E3 (eau déminéralise avec éthanol) dont la précipitation est effectuée avec de l'éthanol 0,27-0,24% respectivement, par rapport aux échantillons E2(eau distillée avec isopropanol)et E4(eau déminéralisé avec isopropanol) dont la précipitation est réalisée avec isopropanol 0,12 -0,09 %respectivement.

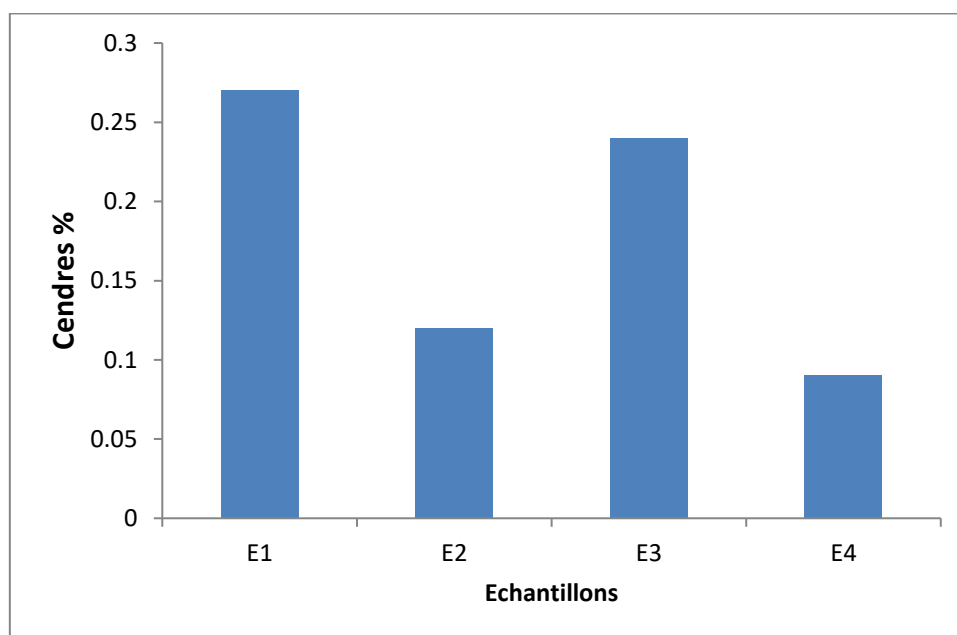


Figure 15: Teneur cendres (%) des échantillons

A notre connaissance aucune information n'est disponible sur le choix de solvant pour la précipitation de la gomme de caroube (GC), néanmoins ces données nous ont permis de choisir l'isopropanol comme solvant pour la précipitation de GC.

2. Analyses physicochimiques

2.1 Composition chimique des deux gommes (GCB et GCP)

La séparation des composants des graines de la caroube donne un rendement supérieur en endosperme jaunâtre (46,04%), la gomme de graine purifiée (GGP) obtenue est une poudre blanchâtre. La valeur moyenne du rendement en GGP est de 23,31%. **Battle et Tous (1997)** ont rapporté des rendements compris entre 42 et 46% d'endosperme et entre 23 et 25% de gomme de caroube, **Dakia et al. (2007)** ont obtenu 37-48% au niveau d'endosperme et le germe 17-23% respectivement. Alors que **Mekhoukhe et al. (2020)** ont énoncé un rendement de 51,61% en endosperme.

Les compositions de gommes de caroube brutes et clarifiées ont été investiguées par certains auteurs (**Dakia et al., 2007 ; Dakia et al., 2018 ; Mekhoukhe et al., 2020**). Selon **Goulas et Hadjisolomou (2019) ; Mekhoukhe et al. (2020) ; Rijs et Fogliano (2020)**, la composition chimique de la graine de caroube diffère d'un pays à un autre, d'une région à une autre et cela dépend de plusieurs facteurs à l'instar les cultivars, facteur climatique, le temps de récolte. Les résultats de l'analyse chimique de la gomme brute de la graine de caroube (GCB) ont été regroupés sur le tableau VI

Tableau VI: Composition chimique de la gomme brute et purifiée

Gommes	Humidité*	Sucres**	Lipides**	Fibres*	Cendres*	Protéines**
GG B	8,8±0,2	25,5±0,4	0,8±0,05	0,54±0,04	0,87±0,02	4,7±0,3
GG P	9,53±0,3	31,21±0,9	0,1±0,05	0,29±0,05	0,09±0,04	0,31±0,05

* : % ; ** : g/100g ; GGP : gomme de graine purifiée ; GGB : gomme de graine brute

Les résultats de l'analyse chimique (Tableau VI) de GGP montrent des taux plus faibles en comparaison à GGB dans l'ensemble des paramètres étudiés. Cette diminution est probablement tributaire d'après **Da Silva et al. (1990) ; Dakia et al. (2017)** au traitement de purification appliqué qui permet d'éliminer la cellulose, la lignine et les lipides, ainsi que de diminuer considérablement les quantités de minéraux et de protéines.

2.1.1 Détermination de la teneur en humidité, cendres et fibres

Ce paramètre nous renseigne sur la présence de l'eau au niveau de la gomme des graines de caroube. Les résultats (figure.16), nous constatons que la GCP détient le taux d'humidité la plus important $9,53 \pm 0,3$ par rapport à la GCB qui est de $8,8 \pm 0,2$

Ces résultats sont analogues à ceux rapporté par **Higazy et al. (2018)** qui ont travaillé avec une gomme de caroube Egyptienne ainsi que celle restitué par **Mekhoukhe et al. (2020)** qui sont 8,42 et 8,66 % respectivement, alors qu'elle est plus importante par rapport à celles énoncé **El Batel et al. (2013)** qui ont travaillé sur des gommes de caroube Marocaines avec des proportions de 6,85%.

Ces variations sont probablement liées d'après **Dakia et al. (2014)** et **Rodríguez-Solana et al. (2021)** aux facteurs climatiques, géographiques, temps de récolte et même conditions environnementaux.

Concernant la teneur en fibres dans la figure.16, la GCB détient la teneur la plus élevée en fibres $0,54 \pm 0,04\%$ par rapport à GCP $0,29 \pm 0,05\%$. On remarque une diminution de la quantité en fibres après traitement de purification.

Le résultat obtenu pour GCB est proche avec celui rapporté par **Mekhoukhe et al. (2020)** (0,65%), mais inférieur avec ceux révélée par **Lopes Da Silva et al. (1990)** avec 1,55% et par **Farahnaki et al. (2014)** avec 2,14%. Après traitement de purification **Lopes Da Silva et al. (1990)** ont remarqué une diminution considérable dans la teneur en fibres (0,19%).

Au vu des résultats (figure.16) une baisse non anodine dans le taux en cendres est observée au niveau de GCB $0,87\% \pm 0,02\%$ à une teneur de $0,09 \pm 0,04\%$ dans GCP $\pm 0,02$.

Ces données concordent avec celles retrouvé par **Kivrak et al. (2014)** dans des gommes de caroubes turque avec 0,84%, alors qu'elle est plus élevée par rapport à celle rapporté par **Frahny et al. (2014)** au niveau de la gomme de caroube d'Iran ainsi que celui énoncé par **Gillet et al. (2014)** dans la gomme de caroube de France qui sont 0,58 et 0,31% mais moins importante par rapport à celle de **Dakia et al. (2017)** qui est de 1,02%.

Ces différences peuvent être expliquées par rapport aux conditions géographiques (provenance), climatiques mais également aux différentes méthodes employées pour l'extraction de la gomme (**Dakia et al., 2017**).

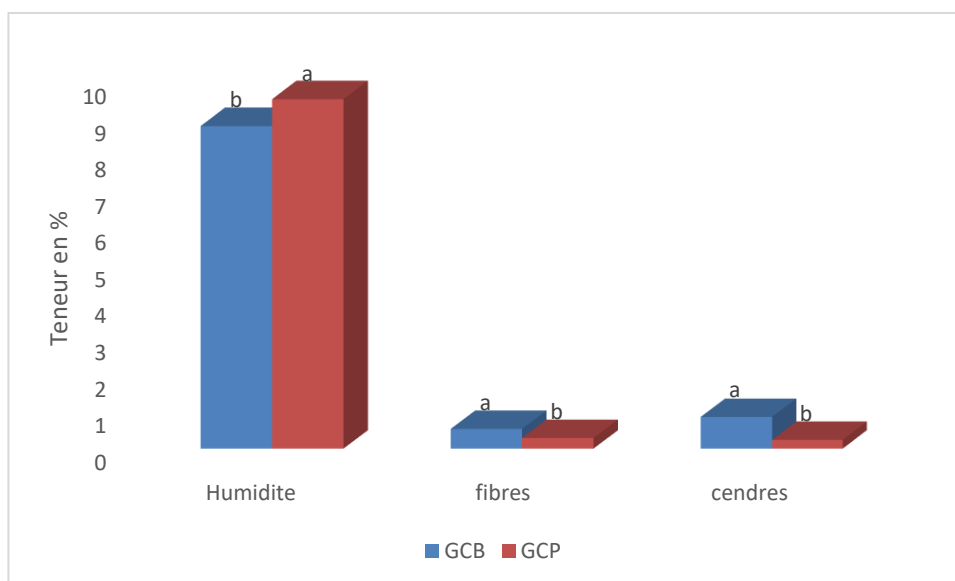


Figure 16: Composition chimique en humidité en fibre et en cendres des deux échantillons

2.1.2 Détermination de la teneur en sucres totaux, protéines et lipides

La quantité en sucres totaux a été estimée par la méthode de phénol / acide sulfurique. D'après les résultats obtenus (figure.17), la GCP présente la teneur la plus accrue en sucres totaux avec $31,21 \pm \text{g}/100\text{g}$ par rapport GCB qui de $25,56 \pm \text{g}/100\text{g}$.

Selon plusieurs investigations, c'est le constituant majeur de cette gomme de caroube (**Dakia et al., 2017 ; Mekhoukhe et al., 2020**). Ce résultat est beaucoup plus élevé par rapport à celui restitué par **Kivrak et al. (2013)** qui est de $1,74\text{g}/100\text{g}$ et par **Mekhoukhe et al. (2020)** qui de $16,57 \text{g}/100$ mais moins important que celui rapporté par **Dakia et al. (2008)** et **Batal et al.(2016)**. Cette fluctuation est probablement tributaire d'après **Gubbuk et al. (2010)** à la nature des graines utilisées dans ce travail qui est liée aux facteurs génétiques.

Les résultats obtenus (figure. 17) indiquent un abaissement dans la quantité en lipides au niveau GCB $0,8 \pm \text{g}/100\text{g}$ à $0,1 \pm \text{g}/100\text{g}$ dans GCP après purification. Ces données sont similaires avec ceux restitués par **Mekhoukhe et al. (2020)** avec $0,84\text{g}/100\text{g}$ mais moins importante que celles de **Lopez Da Silva et al. (1990)** qui est de $0,92\%$, et celles de **Dakia et al. (2008)** qui est $1,5\%$.

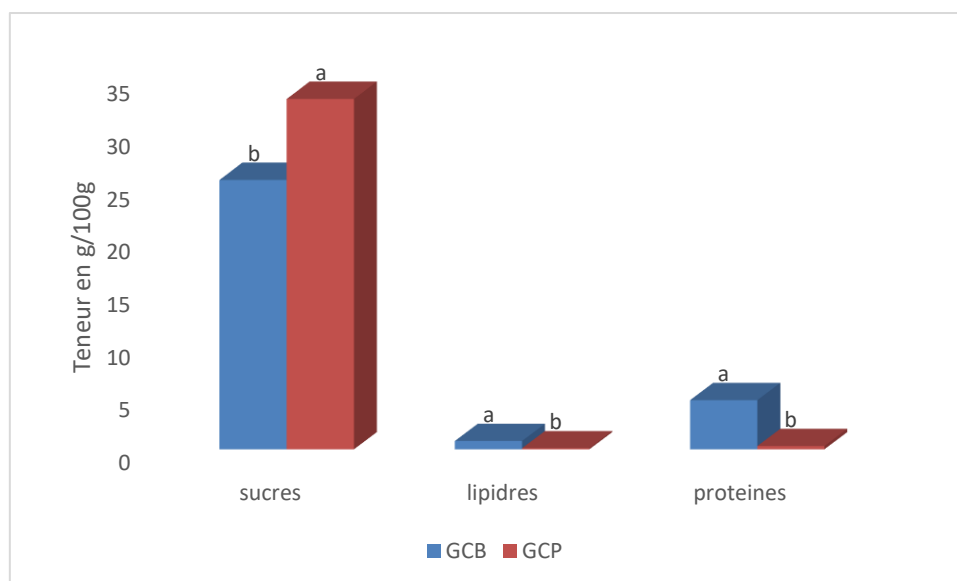


Figure 17: Composition chimique en sucres, lipides et en protéines des deux gomm

Les résultats obtenus pour la détermination des protéines montrent une diminution au niveau de la gomme de caroube de 4,7 g/100 g au niveau de GCB à dans GCP 0,31g/100 g. Cette valeur est proche aux résultats rapportés par **Lopez Da Silva et Gonçalves (1990)** et de **Bouzouita et al. (2007)** qui sont 4,66 et 4,52 g/100g respectivement, mais plus importante par rapport à celle révélée par **Haddarah et al. (2013)** avec 3,92 g/100g, cependant ce résultat est inférieur à celui énoncé par **Dakiaetal. (2008)** qui est de 7,4g/100g et **Dakia et al. (2018)** qui est 6 g/100g.

Selon **LopesDa Silva et Gonçalves (1990)**, cette teneur en protéine reflète la présence naturelle des protéines structurales et des enzymes dans l'endosperme de la graine mais aussi il peut s'agir d'une contamination par le germe qui est riche en protéine par rapport à l'endosperme.

2.2 Détermination des caractéristiques physiques

Une détermination de certains paramètres physiques a été réalisée (tableau VII)

TableauVII: Propriété physique de la gomme brute et purifiée.

Gommes	pH	Degré de Brix
GCB	6,66±0,02	0,7±0.1
GCP	6,82±0,19	1±0,05

La valeur du pH est une expression de l'activité des ions hydrogène et plus la valeur du pH est faible, plus l'acidité de l'environnement augmente (**Battle et Tous, 1997 ; Kivrak et al., 2015**).

La valeur moyenne de pH (tableau IX) acquise au niveau des deux gommes GCB et GCP ne varie pas beaucoup, elle est $6,66 \pm 0,02$, $6,82 \pm 0,19$. Ce résultat est proche avec celui obtenu par **Kivrak et al. (2015)** qui est de 6,52 et celui révélé par **Mekhoukhe et al. (2020)**.

Le °Brix mesure le poids en gramme de matière sèche contenue dans 100 g de produit (**Smati et al., 2017**). D'après le Tableau, le °Brix de la GCP est plus élevé $1 \pm 0,09$ que celui de la GCB qui de $0,7 \pm 0,2$.

Les données pour GCB sont similaires avec ceux énoncés par **Kivrak et al. (2015)** 0,73-0,57%. Ainsi que ceux apporté par **Mekhoukhe et al. (2020)** avec 0,71%.

3. Etude des caractéristiques rhéologiques

3.1 Etude de l'effet du pH sur la solubilité de GCP

D'un point de vue pratique, la solubilité en solution aqueuse des galactomannanes de caroube s'exprime par le biais d'un pourcentage mesurant la proportion du produit restant en solution suite à une centrifugation (**Deuel et Neukom, 1954 ; Dakiaet al., 2008**). Cette solubilité dépend des dissolutions préalables, de l'équilibre entre les interactions molécules et molécules-solvant, de la nature physico-chimique des molécules ainsi que de l'état physique de la matière (**Zhu et al., 2019 ; Du et al., 2020 ; Yuan et al., 2020**).

D'après la figure.18, nous remarquons que la solubilité de la GCP varie en fonction du pH. Cette solubilité atteint son maximum à pH 2 et 10 qui de 43 à 48 % respectivement qu'après 60min, en contre partie pour le pH 7 elle atteint déjà sa $\frac{1}{2}$ de sa solubilité à partir de 30min pour arriver à son maximum qui est de 70%.

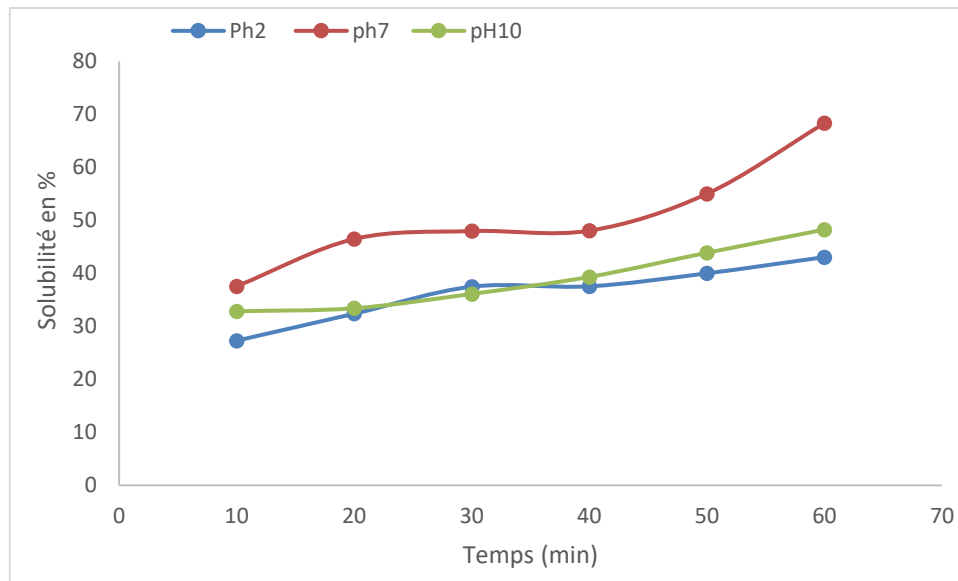


Figure 18: Cinétique de solubilité de la gomme de GCP à différents pH

À notre connaissance, aucune information n'a été énoncée concernant l'effet du pH sur la solubilité de la gomme de caroube, ni au moins une concordance a été observée par rapport à une investigation réalisée par **Velez-Eraza et al. (2021)** sur l'influence du pH sur la solubilité du xanthane ou sa solubilité a été à son maximum à pH 7.

4. Etude de la cytotoxicité de la gomme

Les globules rouges sont l'un des modèles les plus utilisés pour l'étude de la toxicité in vitro (**Pagano et al., 2015 ; Abbou et al., 2019**). Le test d'hémolyse a été évalué parce que, même si une substance possède un pouvoir antioxydant puissant et de propriétés alléchantes, son utilisation dans les préparations pharmacologiques et alimentaires sera impossible en présence de leur effet hémolytique, qui est un indicateur de cytotoxicité (**Haddouchi et al., 2016 ;**

Les résultats ont montré qu'aucune hémolyse n'a été produite par la GCP à toutes les concentrations testées (pas de différence significative entre les pourcentages d'hémolyse du contrôle négatif et ceux obtenus avec les différentes concentrations des différents GCP).

D'après la figure.19, nous remarquons que les pourcentages d'effet hémolytique sont directement proportionnels à l'augmentation des concentrations des échantillons.

Après 60 minutes et pour toutes les concentrations testées, les pourcentages d'hémolyse sont compris entre 0,2 à 2,3 %, cela implique que la GCP ne présente aucune toxicité même à des concentrations élevées (10 mg/mL).

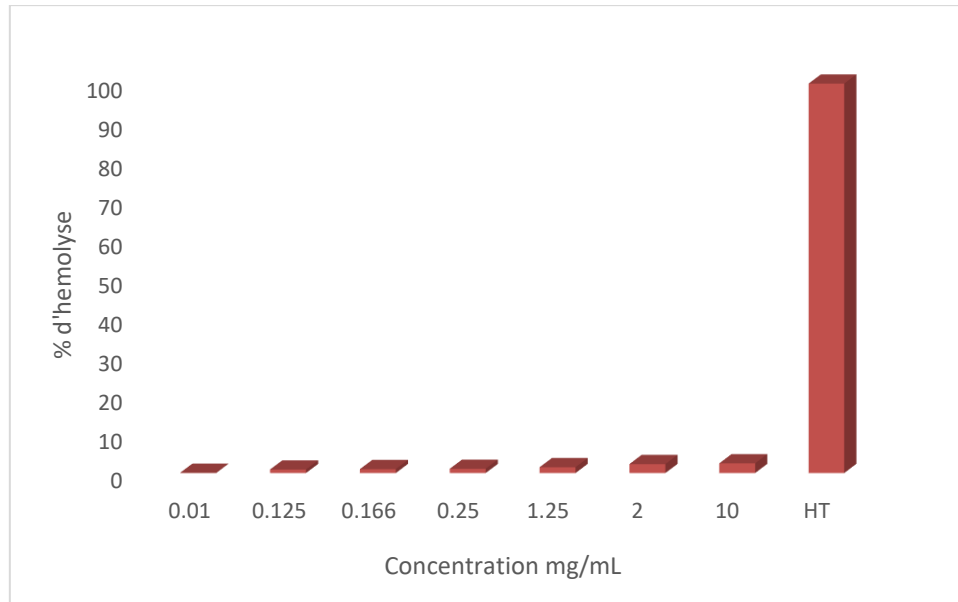


Figure 19: Activité cytotoxique de la GCP

L'hémolyse maximale (2,3 %) est obtenue après 60 min à une concentration de 10mg/mL. La GCP présente un effet hémolytique très faible face aux érythrocytes isolés, avec un taux d'hémolyse qui ne dépasse pas les 3 % à une concentration de 10 mg/mL.

A notre connaissance aucune donnée n'a été avancée sur l'effet hémolytique de la gomme de caroube.

5. Contrôle de la stabilité de la mayonnaise

Dans cette partie un essai d'incorporation de la gomme de caroube pure GCP dans des échantillons de mayonnaises formulées à l'échelle laboratoire au niveau du complexe CEVITAL. Un suivi de stabilité des échantillons préparés a été réalisé préalablement soumis à un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C pendant une durée de 2 mois l'équivalent de 8 mois selon la loi d'Arrhenius.

5.1 Suivi du pH

La mayonnaise est un produit relativement acide. De plus, Le pH a un impact profond sur la structure de l'émulsion qui affecte la durée de conservation et l'acceptation de la

mayonnaise par les consommateurs (Depree et Savage, 2001 ; Mirzanajafi – Zanjani et al., 2019 ; Wang et al., 2022).

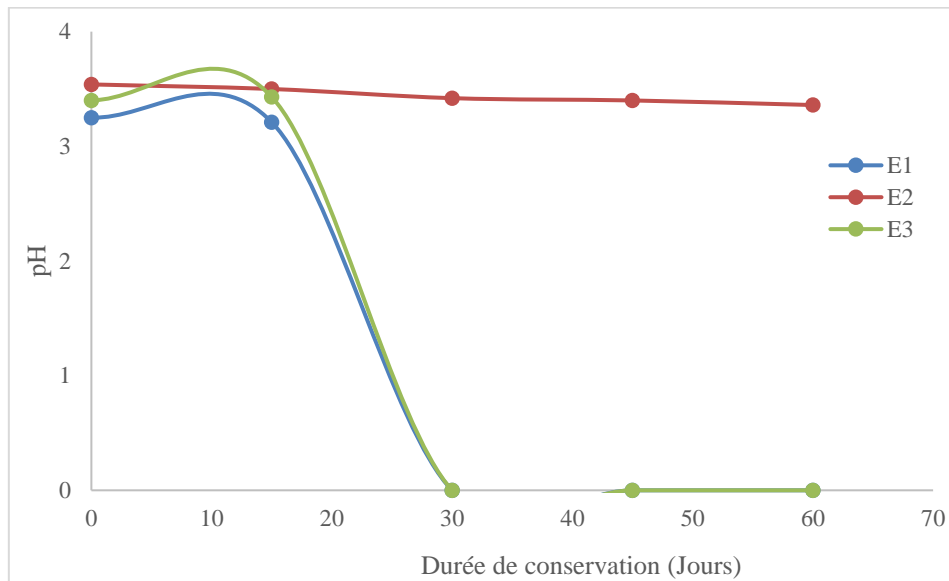


Figure 20: Suivi de pH des échantillons de mayonnaise au cours du temps

La figure.20 illustre les valeurs de pH de mayonnaise soumise à un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C pendant une durée de 2 mois. Le pH de tous les échantillons de mayonnaise ne varie pas d'une manière significative, à partir du 30ème jour, une diminution significative a été observée au niveau des deux échantillons E1 et E3 (formulés respectivement avec de l'amidon modifié et gomme de caroube), à partir de cette période, certaines caractéristiques macroscopiques ont été modifiées (Tableau VIII) au niveau de ces deux produits, ce qui indique leur dégradation. En contrepartie, pour le produit E2 formulé avec un mélange de GCP et d'amidon modifié, aucune variation significative du pH n'a été observée pendant les deux mois de conservation, y compris certaines de ses propriétés macroscopiques évaluées.

Tableau VIII : Caractères macroscopiques des échantillons formulés suivant leur pH à partir du 30eme jour

	E1	E2	E3
Couleur	Changement	Pas de changement	Pas de changement
Texture	Gélifiante, pas d'élasticité	Pas de changement	Pas de changement
Aspect (émulsion)	Pas de séparation	Pas de changement	Séparation des deux phases

Aucune information à notre connaissance n'a été énoncé sur le suivi du pH d'une mayonnaise formulé avec de GCP, cependant, **Pazhvand et Khavarpour (2019)**, ont remarqué une faible variation du pH après 30 jours de conservation d'une mayonnaise préparée avec un mélange de xanthane et d'agar, alors que **Wang et al. (2022)** ont constaté une diminution du pH au bout du 10^e jour de conservation d'une mayonnaise formulée avec une mixture d'hydrocolloïdes (xanthane, pectine et amidon modifié). Cette fluctuation est probablement duaux conditions de conservations, à la composition de la mayonnaise (**Bergecliff, 2016**).

5.2 Suivi de l'acidité

L'acidité est la caractéristique intrinsèque la plus importante de la mayonnaise, des vinaigrettes et des sauces pour déterminer la croissance et la survie des bactéries pathogènes (**Tavakoli et al., 2020 ;De Bruno et al.,2021**).

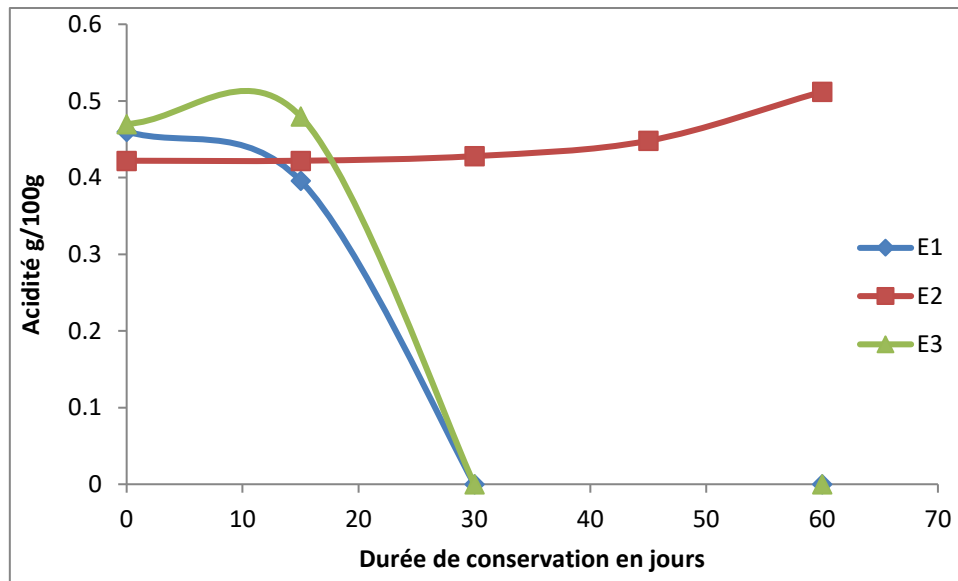


Figure 21: Suivi de l'acidité des échantillons de mayonnaise au cours du temps

La figure. 21 illustre les valeurs de l'acidité de mayonnaise soumise à un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C pendant une durée de 2 mois. L'acidité de tous les échantillons formulés ne varie pas d'une manière significative, à partir du 30ème jour, une diminution significative a été observé au niveau des deux échantillons E1 et E3 (formulés respectivement avec de l'amidon modifié et gomme de caroube), à partir de cette période, certaines caractéristiques macroscopiques ont été modifiées (voir tableau IX au niveau de ces deux produits, ce qui montre leur dégradation). En revanche, pour le produit E2 préparé avec une mixture de GCP et d'amidon modifié, aucune variation significative de l'acidité n'a été remarquée pendant les deux mois de conservation, y compris certaines de ses propriétés macroscopiques évaluées.

Aucune donnée n'a été avancée concernant le suivi de l'acidité d'une mayonnaise formulée avec de la GCP ou une mixture avec de l'amidon modifié, par contre une investigation réalisée par **De Bruno et al. (2021)** a révélé une diminution de l'acidité d'une mayonnaise enrichie en antioxydant au bout du 30ème jour.

Tableau IV: Caractères macroscopiques des échantillons formulés suivant leur acidité à partir du 30eme jour

	E1	E2	E3
Couleur	Changement	Pas de changement	Pas de changement
Texture	Gélifiante, pas d'élasticité	Pas de changement	Pas de changement
Aspect (émulsion)	Pas de séparation	Pas de changement	Séparation des deux phases

5.3. Contrôle des caractéristiques rhéologiques

5.3.1 Détermination de la Consistance (écoulement)

La consistance est liée aux caractéristiques des fluides non-newtonien ou semi-solide (sauces, purées et pâtes) contenant des particules en suspension et des molécules solubles à longue chaîne, et se mesure pratiquement par la distribution ou le flux du produit. Les observations de la séparation du liquide libre et de son écoulement dans un consistomètre de Bostwick sont utilisées pour mesurer la consistance des produits liquides et semi-solides (Mazaheri Tehrani et Ghandi, 2007 ; Ya Malkin et Isayev., 2017).

Dans ce travail, un suivi de la consistance de différentes mayonnaises formulées a été effectué pour une durée 60 jours. Les résultats (figure.22) montrent que la distance d'écoulement des échantillons E1 et E3 varie avec le temps (les deux échantillons s'écoulent rapidement) leur consistance de 0,4 à 1 cm/s et 1 à 1,1 cm/s respectivement est et à partir des 30 eme jours, une altération des propriétés macroscopiques (tableauX). Concernant le produit E2, une variation non anodine a été remarquée au cours du temps de 0,1 à 2,7 cm/s et aucune altération des caractéristiques macroscopiques n'a été observée.

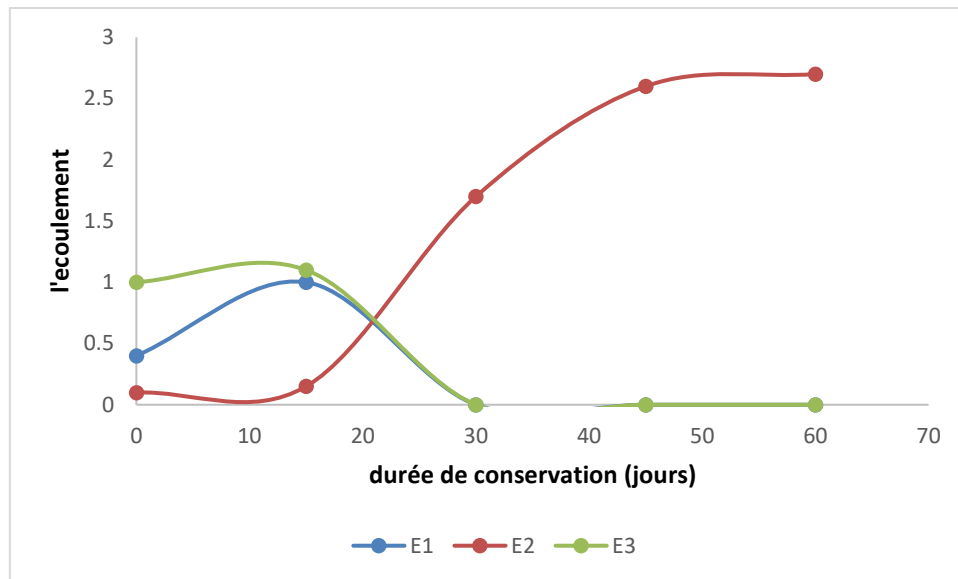


Figure 22: Suivi de l'écoulement des échantillons de mayonnaise au cours du temps

Tableau X: Caractères rhéologique et macroscopiques des échantillons formulés suivant leur écoulement à partir du 30eme jour:

	E1	E2	E3
Couleur	Changement	Pas de changement	Pas de changement
Texture	Gélifiante, pas d'élasticité	Pas de changement	Pas de changement
Aspect (émulsion)	Pas de séparation	Pas de changement	Séparation des deux phases

5.3.2 Détermination de la Viscosité

La mayonnaise a une durée de conservation relativement longue de plus d'un an sans changement d'acceptation organoleptique dans la plupart des cas. L'une des raisons de la stabilité à long terme de la mayonnaise est sa viscosité élevée résultant du tassement serré des gouttelettes. Cependant, la cinétique et le mécanisme détaillé de déstabilisation de la mayonnaise ne sont pas entièrement compris (Ariizumi et al., 2017 ; Ayu et al., 2021). Sachant que la viscosité indique l'épaisseur unitaire du milieu de dispersion dans un système d'émulsion (Ayu et al., 2021).

Au vu des résultats (figure. 23) les deux produits E1 (amidon seul) et E3 (GCP seule) ont dévoilé une variation de leur viscosité, et ont montré une viscosité apparente faible dès le

début, c'est à dire la première période (des 15 jours) avec 122600 et 9200 max respectivement et au bout d'un mois une altération des deux produits a été observée (tableauXI). Par contre l'échantillon E2 (GCP+ amidon modifié) présente la viscosité la plus stable au cours du temps avec un max de 330000 cp et un min de 14857sans détérioration des caractéristiques macroscopiques qu'à partir de 60eme jours (voir tableauXI),

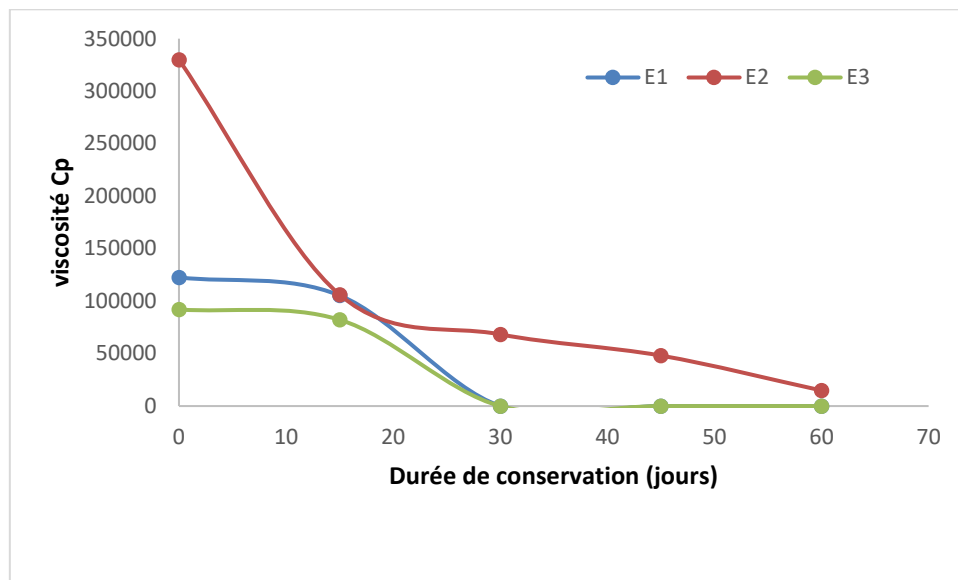


Figure 23: Suivi de la viscosité des échantillons de mayonnaise au cours du temps

Aucune donnée n'a été révélée concernant l'influence probable de la GCP sur la viscosité de la mayonnaise néanmoins, des travaux réalisés sur d'autres polysaccharides ont dévoilé que l'adjonction d'un mélange de substances hydrocolloïdes peut considérablement améliorer la stabilité de la viscosité des aliments au cours du temps (**Bortnowska et al., 2006 ; Shahzed et al., 2019 ; Hu et al., 2022**). Selon certains auteurs, la formation et la stabilité du gel dépend de l'acidité (pH), de la température, des enzymes, du temps et de la structure du Polysaccharide(**Bortnowska et al., 2006 ;Hu et al., 2022**).

TableauXI: Caractères rhéologique et macroscopiques des échantillons formulés suivant leur viscosité à partir du 30eme jour :

	E1	E2	E3
Couleur	Changement	Pas de changement	Pas de changement
Texture	Gélifiante, pas d'élasticité	Pas de changement	Pas de changement
Aspect (émulsion)	Pas de séparation	Pas de changement	Séparation des deux phases

5.4 Etude de la qualité de l'émulsion

5.4.1 Détermination du sens de l'émulsion (méthode interne)

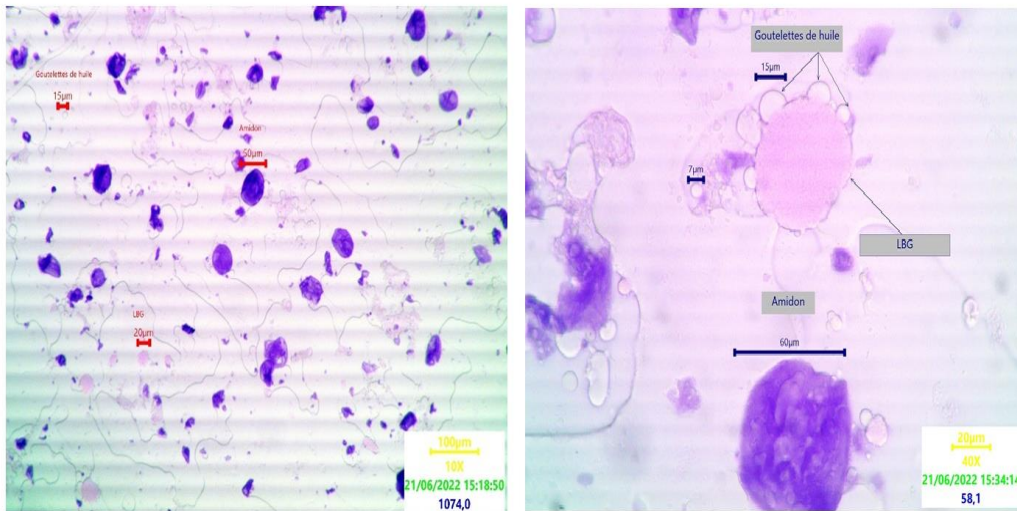
La dimension des particules de la phase dispersée est une partie très précieuse, recommandée pour un discernement complet d'une dispersion. En outre la connaissance de la taille moyenne des particules suspendues peut aider à prévoir les tendances et les caractéristiques d'arrangement, donc savoir si les particules vont se disperser ou flocculer et par voie de conséquence utiliser d'autres alternatives, telle que l'homogénéisation, pour modifier la distribution des particules et pour améliorer, de ce fait, la qualité du produit, son efficacité, et sa stabilité (Bnaissa et al., 2013 ; Sjoo et al., 2015 ; Ghirro et al., 2022).

Sachant que plus, la taille des gouttelettes est petite, plus l'émulsion aura des chances d'être stable. Cependant, la taille des gouttelettes à lui seul n'est pas une garantie de la stabilité d'une émulsion. La mesure de la taille des gouttelettes des émulsions préparées va nous permettre principalement à ce stade de classer nos émulsions (Ghirro et al., 2022),

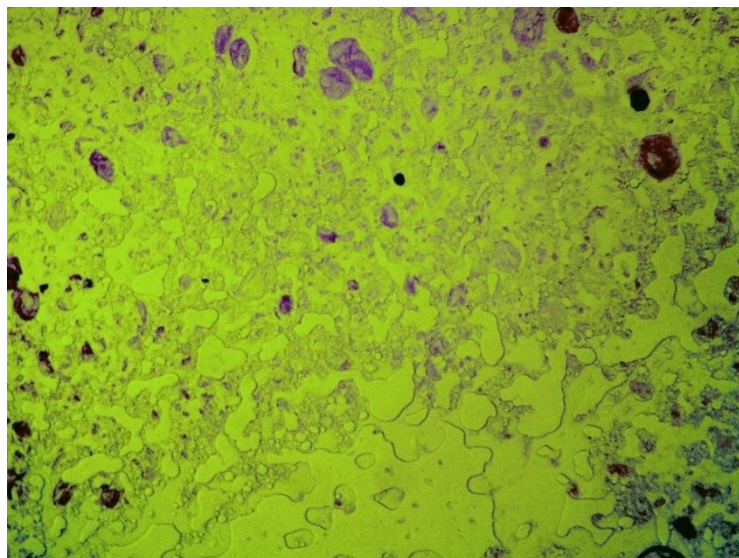
D'après la littérature, en fonction de la taille moyenne des gouttelettes on distingue des émulsions plutôt grossières, appelées émulsions ou microémulsions dont la taille est entre 1-100 μm et des émulsions plus fines, submicroniques, appelées mini ou nano émulsions 20-500nm (Ganguli et Ganguli, 2003 ; Gupta et al., 2016 ; Karunaratne et al., 2017).

L'examen microscopique de l'émulsion primaire obtenue dans cette étude (figure.24 a), montre une bonne dispersion des globules huileux dans la phase aqueuse. Cette dispersion est presque la même pour l'ensemble des formulations (figure.24a). C'est une émulsion de

type huile dans l'eau (h/o). D'après la figure, nous avons affaire principalement à des macro émulsions ou émulsion sachant que la taille des gouttelettes se situe entre 15, 20 et 60 μm respectivement pour l'huile, le GCP ou LBG et l'amidon à t0, après 60 jours nous avons remarqué un fusionnement de gouttelettes d'huile (figure.24 b) qui forme des globules d'huile assez grandes, qui peuvent être visibles à l'œil nu ce qui par voie de conséquence indique la non stabilité de l'émulsion et donc la dégradation du produit.



a)



b)

Figure 24: mesure de la taille des gouttelettes a) primaires à t0 b) à 60 jours

Conclusion

Conclusion

Malgré le grand intérêt écologique et le potentiel économique des différentes parties de la caroube (pulpe et graines) et leur exploitation dans différentes applications, peu d'études sont disponibles sur l'utilisation alimentaire des sous-produits de la caroube Algérienne.

Ce travail a été effectué dans le but de valoriser la gomme de caroube (sous-produit des graines) et son éventuelle utilisation comme additif alimentaire (épaississant) seule ou en mixture dans l'élaboration d'une sauce alimentaire (mayonnaise) produit au niveau du complexe CEVITAL touchant plusieurs volets :

Dans le premier volet, l'essai d'extraction et purification de la gomme de graine de caroube à l'eau a permis l'obtention d'une poudre fine blanchâtre avec un rendement de 23,31%. Les résultats de l'analyse chimique de la gomme brute (GGB) et la gomme purifiée de la caroube (GCP) indiquent que GCP détient la quantité la plus élevée en sucres totaux $25,33 \pm 0,4$ g/100g, en contrepartie on remarque une diminution dans la teneur en protéines, lipides, fibres et cendres qui étaient de $0,52 \pm 0,3$ g/100g ; $0,09 \pm 0,05$ g/100g ; $0,29 \pm 0,04$ % et $0,17$ % respectivement.

Les données obtenues au niveau des deux gommes (GCB et GCP) de la détermination du pH montrent qu'il n'y a pas une variation importante entre les deux $6,66 \pm 0,02$ et $6,82 \pm 0,19$ respectivement, alors on remarque une différence degré de brix $0,7 \pm 0,2$ et $1 \pm 0,09$ respectivement.

Dans le deuxième volet, une évaluation des caractéristiques rhéologiques GCP a été effectuée en étudiant l'effet de plusieurs pH (2, 7 et 10) sur la solubilité, les résultats indiquent une variation de la solubilité en fonction du pH. Cette solubilité atteint son maximum à pH 2 et 10 qui de 43 à 48 % respectivement qu'après 60min, en revanche pour le pH 7 elle atteint déjà sa $\frac{1}{2}$ de sa solubilité à partir 30min pour arriver à son maximum qui est de 70%.

Le teste de cytotoxicité de GCP a dévoilé que les galactomannane de graine de caroube ne présente aucune toxicité même à des concentrations élevées (10 mg/mL).

Le troisième volet consiste à l'essai de l'incorporation de GCP dans une mayonnaise élaborée à l'échelle laboratoire au niveau de CEVITAL. L'étude de la qualité d'émulsion et le contrôle de la stabilité des échantillons de mayonnaise soumis à un vieillissement accéléré pendant une durée de deux mois, ont montré clairement que l'échantillon de la mayonnaise

préparé avec une mixture de GCP et l'amidon modifiée présente une amélioration des caractéristiques physico-chimiques et rhéologique et une meilleure stabilité au cours de cette durée de conservation.

Des lors de telles caractéristiques, la gomme de caroube pourrait qualifier comme étant une substance hydrocolloïde épaississante naturelle pouvant participer à améliorer la durée de conservation de la mayonnaise (équivalent à une DLC de huit mois).

Ces nouvelles connaissances sur les propriétés de la gomme de caroube algérienne pourraient ébaucher à de nouvelles éventualités pour l'utilisation de ces macromolécules dans les applications alimentaires et non alimentaires et d'ouvrir des portes sur d'autres perspectives, il serait donc important de continuer les recherches et de mener des études plus approfondies en ce qui concerne :

- ✓ Réaliser d'autres investigations sur l'éventuelle utilisation de la gomme de caroube seule ou en mixture avec d'autres substances hydro colloïdes dans d'autres produits pour améliorer leurs propriétés techno fonctionnelles
- ✓ Une étude caractéristique sur les différentes variétés de la caroube algérienne y compris les graines.
- ✓ Des études nutritionnelles sur la gomme de caroube pour leur utilisation ultérieure en thérapeutique, ce qui pourrait donner au caroubier un essor dans le contexte socio-économique.

Références bibliographique

Liste bibliographique

-A-

- **Abbou, A., Kadri, N., Debbache, N., Dairi, S., Remini, H., Dahmoune, F., ... & Madani, K. (2019).** Effet du solvant de précipitation sur certaines activités biologiques des polysaccharides de *Pinus halepensis* Mill. des graines. *Journal international des macromolécules biologiques* , 141 , 663-670
- **Aganovic, K., Bindrich, U., & Heinz, V. (2018).** Procédé d'homogénéisation à ultra haute pression pour la production de mayonnaise à teneur réduite en matières grasses présentant des caractéristiques rhéologiques similaires à celles de son homologue non gras. *Science alimentaire innovante et technologies émergentes* , 45 , 208-214
- **Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., (2007)** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture 153, IAV Rabat, 1-4
- **Albanell E., Caja G. and Plaixats J. (1991).** Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles, *Options Méditerranéennes*.N°16, pp. 135
- 136
- **Amirouche,2019** Processus fabrication de la mayonnaise. <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article287>
- **Anamaria, M. (2019).** L'INFLUENCE DE DIFFÉRENTS FACTEURS SUR LA QUALITÉ DE LA MAYONNAISE. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Ecotoxicologie, Zootehnie și Tehnologii de Industrie Alimentară* , 18 (A), 75-83
- **A.O.A.C (2000).** Official Methods of Association Chemists International Arlington 16th end. Virginia, USA.
- **AOAC (2006).** Official methods of Analysis of international. Gaithersburg. Maryland: AOAC.31 :931.49,972. □
- **AOAC (2007).** Official methods of Analysis of international. Gaithersburg. Maryland : AOAC,2 :955.04,33 :990.19,945.46.
- **Ariizumi, M., Kubo, M., Handa, A., Hayakawa, T., Matsumiya, K. et Matsumura, Y. (2017).** Influence des facteurs de transformation sur la stabilité de la mayonnaise modèle à l'œuf entier pendant le stockage à long terme. *Bioscience, biotechnologie et biochimie* , 81 (4), 803-811

- **Ayache, SB, Reis, FS, Dias, MI, Pereira, C., Glamočlija, J., Soković, M., ... & Achour, L. (2021).** Caractérisation chimique des graines de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) et utilisation de différentes techniques d'extraction pour favoriser sa bioactivité. *Chimie alimentaire*, 351, 129263.
- **Ayaz, FA, Torun, H., Glew, RH, Bak, ZD, Chuang, LT, Presley, JM et Andrews, R. (2009).** Teneur en éléments nutritifs de la farine de gousse de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) préparée commercialement et domestiquement. *Aliments végétaux pour la nutrition humaine*, 64 (4), 286-292.
- **Ayu, D. F., Aminah, S., & Diharmi, A. (2021, May).** Photo-oxidation stability of mayonnaise from striped catfish and red palm mixture oil. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 757, No. 1, p. 012052). IOP Publishing
- **Azero, E.G. & Andrade, C.T. , 2002.** Material Properties Testing procedures for galactomannan purification. *Polymer Testing*, 21, 551-556. Mao et al., 2006

-B-

- **Bate-Smith, E. C. (1973).** Haem analysis of tannins: the concept of relative astringency. *Phytochemistry*, 12 :907–912
- **Batista, M.T., M.T. Amaral and A. Proença Da Cunha. 1996.** Carob fruits as a source of natural antioxidants. In *Proceedings of the III International Carob Symposium*. CabanasTavira, Portugal (in press
- **Barak, S., & Mudgil, D. (2014).** Gomme de caroube : traitement, propriétés et applications alimentaires - Une revue. *Journal international des macromolécules biologiques*, 66, 74-80
- **Benaissa, M. H., Faye, B., &Kaidi, R. (2014).** Ovarianhydrobursitis in slaughteredfemalecamels (*Camelusdromedarius*) in Southeast Algeria.
- **Bergecliff, T. (2016).** Viscosité et stabilité de l'acide dans une mayonnaise faible en gras avec des proportions variables de gomme de xanthane et de gomme de guar
- **Bengoechea, C., Romero, A., Villanueva, A., Moreno, G., Alaiz, M., Millán, F., ... & Puppo, MC (2008).** Composition et structure des protéines germinales de caroube (*Ceratonia siliqua* L.). *Chimie alimentaire*, 107 (2), 675-683
- **Biner, B., Gubbuk, HAM ©. DE, Karhan, MUSTAFA, Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007).** Profils de sucre des gousses de types cultivés et sauvages de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) en Turquie. *Chimie alimentaire*, 100 (4), 1453-1455.

- **Bortnowska, G., et Makiewicz, A. (2006).** Technological utility of guar gum and xanthan for production of low-fat inulin-enriched mayonnaise. *ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 5(2), 135-146.
- **Borzacchiello, A., Della Sala, F., & Ambrosio, LA (2017).** Rhéométrie des biomatériaux polymériques. Dans *Caractérisation des biomatériaux polymères* (pp. 233-253). Édition Woodhead.
- **Boublenza I, Ghezlaoui S, Mahdad M, Vasa'i F, Chemat F(2019).** Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Sci Hortic-Amerstardam.*;256:108537
- **Bouzouita, N., Khaldi, A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabouni M.M., Thonart, P. (2007).** The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia. *Food Chemistry*, 101 :1508–1515
- **Brassesco, ME, Brandão, TR, Silva, CL ,Pintado, M. (2021).** Caroube (*Ceratonia siliqua* L.) : Une nouvelle perspective pour l'alimentation fonctionnelle. *Tendances en science et technologie alimentaires* , 114 , 310-322.
- **Brottes.D., Rajaud.S., (2015).** Les sauces condimentaires froides. Recommandation nutrition, Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et Nutrition, Version 2, page 28.

-C-

- **Caja G.(1985).** La Garrofa: Composición, procesado y usos agroindustriales. Jornadas de la Garrofa. LLiria, Valencia - España.
- **Correia, P. J., Martins-Loução, M. A. (2005).** The use of macronutrients and water in marginal Mediterranean areas: the case of carob-tree. *Field Crops Research*, 91(1), 1-6.

-D-

- **Dakia, P.A., Bleckerb, C., Roberta, C., Watheleta, B., Paquota, M. (2008)** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22 : 807–818
- **Dakia PA, Combo MMA, Yapo BM, Paquot M.** Effect of the Seed Morphology on the Separation Yield, Chemical Characteristics and Thickening Capacity of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Gums. *Asian J Agri Food Sci.* **2017**;5(5):30

- **Dakia PA, Gbogouri GA ,combo MMA, Yapo BM, Paquot M 2014** PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF LOCUST BEAN GUM PURIFIED FRACTIONS OBTAINED BY TEMPERATURE FRACTIONATION *European Journal of Food Science and Technology* Vol.6, No.4, pp.11-27,
- **Dakia, PA ,Gbogouri, GA, , Traore, S., & Brou, K. (2018).** Apports alimentaires actuels et habitudes alimentaires en lien avec les caractéristiques socio-démographiques des étudiants de l'Université Nangui Abrogoua de Côte d'Ivoire. *Ecologie de l'alimentation et de la nutrition* , 57 (5), 391-404
- **.Dakia, PA, Wathelet, B., & Paquot, M. (2007).** Isolement et évaluation chimique du germe de graine de caroube (*Ceratonia siliqua* L.). *Chimie alimentaire* , 102 (4), 1368-1374.
- **DaSilvaJAL,GoncalvesMP.** Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. *Food Hydrocoll.* **1990**;4:277-87.
- **Dea, I. C. M. & Morrison, A. (1975),** Chemistry and interactions of seed galactomannans. *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.* 31, 241-312 Lopes da Silva et al, 1996
- **De Bruno, A., Romeo, R., Gattuso, A., Piscopo, A., & Poiana, M. (2021).** Functionalization of a vegan mayonnaise with high value ingredient derived from the agro-industrial sector. *Foods*, 10(11), 2684
- **De Candolle, A. 1883.** L'origine des plantes cultivées. Balaire, Paris
- **De Padua, M., Fontoura, P.S.G., Mathias, A.L. (2004).** Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) Bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile). *Braz Arch Biol Techn* 47 (1) : 49-55
- **Depree, J.A. and G.P. Savage,** Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends in Food Science & Technology*, **2001**, 12(5–6), 157-163
- **De Souza, RJ, Mente, A., Maroleanu, A., Cozma, AI, Ha, V., Kishibe, T., ... & Anand, SS (2015).** Apport d'acides gras saturés et trans insaturés et risque de mortalité toutes causes confondues, de maladies cardiovasculaires et de diabète de type 2 : revue systématique et méta-analyse d'études observationnelles. *Bmj* , 351
- **Deuel, H., & NEUKOM, H. (1954).** Quelques propriétés de la gomme de caroube.
- **Dey, S., Jha, S. K., Malakar, J., & Gangopadhyay, A. (2012).** Improvement of bioavailability of poorly soluble drugs through self emulsifying drug delivery system. *Journal of PharmaSciTech*, 1(2), 6-11.

- **Dickinson, E. (2003).** Hydrocolloïdes aux interfaces et influence sur les propriétés des systèmes dispersés. *Hydrocolloïdes alimentaires* , 17 (1), 25-39.
- **. Donmez, A., ERUNSAL, SC, & SAHIN, 2022**SN IMPACT DE L'AJOUT DE GOMME DE CAROUBE/GOMME DE XANTHANE SUR LA NOUVELLE GÉNÉRATION DE SNACK À PARTIR DE SOUS-PRODUITS DE CAROUBE. *Gıda* , 47 (4), 690-704.
- **Dubois, M., Gilles, KA, Hamilton, JK, Rebers, PT et Smith, F. (1956).** Méthode colorimétrique pour la détermination des sucres et des substances apparentées. *Chimie analytique* , 28 (3), 350-356

-E-

- **Elaoufi, MM, Bouterfas, K., Djebbar, AA, Meziani, S., Rezki, H., Keramas, F., ... & Yasmina, BM (2022).** COMPOSITION CHIMIQUE, EFFETS ANTI-ULCÉREUX ET ANTI-INFLAMMATOIRES DES GOUSSES DE CAROUBE (CERATONIA SILIQUA L.) POLYPHÉNOLS D'AIN TEMOUCHENT. *Journal de la microbiologie, de la biotechnologie et des sciences alimentaires*
- **El Batel et al. (2013)**El Batal, H., Hasib, A. (2013). Optimization of Extraction Process of Carob Bean Gum Purified from Carob Seeds by Response Surface Methodology. *Chemical and Process Engineering Research*. 12, 1-8
- **Evreinoff VA (1948)** Le cognassier. Dans : Les fruits à pépins. , vol. 3, n° 2, Paris, pp 215-232
- **Evreinoff, Virginie (1947).** Le Caroubier ou Ceratonia siliqua L. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée* , 27 (299), 389-401

-F-

- **FAOSTAT (2020).** FAO Statistics, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Accessed 17-May-202
- **Farahnaky, A., Darabzadeh, N., Majzoobi, M., et Mesbahi, Gh. (2014).** Physicochemical Properties of Crude and Purified Locust Bean Gums Extracted from Iranian Carob Seeds. *Journal of Agricultural and Science and Technology*, 16: 125136
- **Fernandes, PG, Carrilho, P., Clifton, T. et Mulryne, DJ (2022).** La théorie de la gravité 4D d'Einstein-Gauss-Bonnet : une revue. *Gravité*
- **Fidan, H., Mihaylova, D., Petkova, N., Sapoundzhieva, T., Slavov, A. et Krastev, L. (2018).** Détermination de la composition chimique, des propriétés antibactériennes

et antioxydantes des produits obtenus à partir de caroube et de févier. *Journal turc de biochimie*, 44 (3), 316-322.

- **Fidan H, Petkova N, Sapundzhieva T, Baeva M, Goranova Z, Slavov A, Krastev L.** Carob syrup and carob flour (*Ceratonia siliqua* L.) As functional ingredients in sponge cakes. *Carpath J Food Sci & Technol.* **2020**;12(2)
- **Filioglou, M. D., & Alexis, M. N. (1989).** Proteindigestibility and enzyme activity in the digestive tract of rainbowtrout fed diets containing increasing levels of carob seed germ meal. In N. De Pauw, E. Jaspers, H. Ackefors, & N. Wilkins (Eds.), *Aquaculture. A biotechnology in progress* (pp. 839-843). Bredene, Belgium: European Aquaculture Society
- **Filioglou, M. D., & Alexis, M. N. (1987).** Use of the carob products in trout nutrition: the effects of growth inhibitors of the carob seed germ meal on digestion and studies on deactivation methods. *Proceedings of the Second Panhellenic Symposium of Oceanography and Fisheries* 618-624
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Carob bean gum; chemical and Technical Assessment (CTA).
- **Fox, J. E., 1992.** Seed Gums. Thickening and gelling agents for food. A. Imeson., Chapman and Hall (pp.153-169). London

-G-

- **Gainsford, S. E., Harding, S. E., Mitchell, J. R., & Bradley, T. D. (1986).** A comparison between the hot and cold water-soluble fractions of two locust bean gum samples. *Carbohydrate Polymers*, 6, 423-442
- **Ganguli, D., & Ganguli, M. (2003).** *Inorganic Particle Synthesis via Macro and Microemulsions: A Micrometer to Nanometer Landscape*. Springer Science & Business Media.
- **García-Casal, MN, Peña-Rosas, JP, & Malavé, HG (2016).** Sauces, épices et condiments : définitions, avantages potentiels, modes de consommation et marchés mondiaux. *Annales de l'Académie des sciences de New York*, 1379 (1), 3-16.
- **Garcia-Ochoa F, Casas JA.** Viscosity of Locust Bean (*Ceratonia siliqua*) Gum Solutions. *J sci Food Agri.* **1992**;59:97-100
- **Ghirro, LC, Rezende, S., Ribeiro, AS, Rodrigues, N., Caroch, M., Pereira, JA, ... & Santamaria-Echart, A. (2022).** Émulsions de Pickering stabilisées avec des

particules de dispersion solides à base de curcumine comme alternatives aux sauces alimentaires de type mayonnaise. *Molécules* , 27 (4), 1250

- **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. 386–40
- **Gomes, W. F., França, F. R. M., Denadai, M., Andrade, J. K. S., da Silva Oliveira, E. M., de Brito, E. S., ... & Narain, N. (2018).** Effect of freeze-and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. *Journal of food science and technology*, 55(6), 2095-2102
- **Gubbuk, H., Kafkas, E., Guven, D., et Gunes E. (2010).** Physical and phytochemical profile of wild and domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) genotypes. *Spanish Journal of Agricultural Research*,8 No (4), 1129-1136
- **Gupta, A., Eral, HB, Hatton, TA et Doyle, PS (2016).** Nanoémulsions : formation, propriétés et applications. *Matière molle* , 12 (11), 2826-2841
- **Goulas, V., & Hadjisolomou, A. (2019).** Changements dynamiques dans les composés phénoliques ciblés et le pouvoir antioxydant des produits du fruit de la caroube (*Ceratonia siliqua* L.) au cours de la digestion in vitro. *Lwt* , 101 , 269-275
- **Goulas, Vlasios, Evgenios Stylos, Maria V. Chatziathanasiadou, Thomas Mavromoustakos et Andreas G. Tzakos.** "Composants fonctionnels du fruit de la caroube : relier l'espace chimique et biologique." *Journal international des sciences moléculaires* 17, no. 11 (2016): 1875.

-H-

- **Haber, B. (2002).** Avantages et applications de la fibre de caroube. *Cereal Foods World* , 47 (8), 365. Pohan, Z. and M.W. Wielinga. 1996. Products derived from carob pods with particular emphasis on carob bean gum (CBG). Report Technical Committee of INEC (unpublished)
- **Haddarah, A. (2013).** L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la caroube Libanaise. Thèse de Doctorat de Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. L'Université Libanaise (Ecole Doctorale des Sciences et Technologie) Et l'Université de Lorraine (France).
- **Hakimian, F., Emamifar, A. et Karami, M. (2022).** Évaluation des propriétés microbiennes et physicochimiques de la mayonnaise contenant des nanoparticules d'oxyde de zinc. *LWT* , 163 , 113517

- **Higazy, M., ELDifrawy, E., Zeitoun, M., Shaltout, O., & El-Yazeed, A. (2018).** Nutriment des poudres de caroube et de graines et leur application dans certains produits alimentaires. *Journal of the Advances in Agricultural Researchs* , 23 (1), 130-147.
- **Hu, Wang, W, C., Sun, H., Zhao, J., Xu, C., Ma, Y., ... et Jiang, Z. (2022).** Mayonnaise à faible teneur en cholestérol et en matières grasses préparée à partir de corps d'huile de soja comme substitut du jaune d'œuf : l'effet du rapport de substitution sur les propriétés physicochimiques et l'évaluation sensorielle. *LWT* , 113867.
- **-K-**
- **Karababa, E., & Coşkuner, Y. (2013).** Propriétés physiques de la fève de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) : Une culture productrice de gomme industrielle. *Cultures et produits industriels* , 42 , 440-446.
- **. Karkacier, M., Artık, N., 1995.** Determination of physical properties, chemical composition and extraction conditions of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *Gıda* 20 (3), 131
- **Karunaratne, D. N., Siriwardhana, D. A. S., Ariyaratna, I. R., Rajakaruna, R. M. P. I., Banu, F. T., & Karunaratne, V. (2017).** Nutrient delivery through nanoencapsulation. In *Nutrient Delivery* (pp. 653-680). Academic Press
- **Kawamura, S., Ohkuma, M., Chijiwa, Y., Kohno, D., Nakagawa, H., Hirakawa, H., ... & Torikata, T. (2008).** Role of disulfide bonds in goose-type lysozyme. *The FEBS Journal*, 275(11), 2818-2830.
- **Khairullah, MN, Hemala, R., Hawa, AN et Meor, HAS (2022).** Mayonnaise faible en gras sans œuf à base d'huile de noix de coco vierge. *Aliments et matières premières* , 10 (1), 76-85
- **Kivrak, I., Kivrak, S., Harmandar, M., & Cetintas, Y. (2013).** Composés phénoliques de *Pinus brutia* ten. : étude chimique et analyse quantitative à l'aide d'une spectrométrie de masse en tandem chromatographie liquide ultra-performante avec source d'ionisation électrospray. *Registres des produits naturels* , 7 (4), 313
- **Kivrak NE, As,kın B, K"uc , " uk"oner E.** Comparison of Some Physicochemical Properties of Locust Bean Seeds Gum Extracted by Acid and Water Pre-Treatments. *Food Nu Sci.* **2014**;6:278-86

- **Khairullah, MN, Hemala, R., Hawa, AN et Meor, HAS (2022).** Mayonnaise faible en gras sans œuf à base d'huile de noix de coco vierge. *Aliments et matières premières*, 10 (1), 76-85
- **. ko k, M. S., Hill, S. E., & Mitchell, J. R. (1998).** Viscosity of galactomannanes during high temperature processing: Influence of degradation and solubilisation. *Foods Hydrocolloids*, 13(6), 535–542
- **Kok, P. 1999.** “The definition of migration and its application: Making sense of recent South African census and survey data”. *Southern African Journal of Demography*, 7(1):19–30.
- **Kone.S., (2001).**Fabrication artisanale de la mayonnaise. Site web : http://pmb.sicac.org/opac_css/doc_num.php?explnum_id=474

-L-

- **Lopez da Silva J. et Gonçalves M. (1990).** Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. *Food Hydrocolloids*, 4: 277-287
- **Lopes da Silva, J. A., Gonçalves, M. P., Doublier, J. L. & Axelos, M. A. V. (1996).** Effect of galactomannans on the viscoelastic behavior of pectin/ calcium networks. *Polymer Gels and Networks*, 4, 65-83
- **Lizardo R., Cañellas J., Mas F., Torrallardona D., Brufau J. (2002).** L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets, *Journées de la Recherche Porcine*, N°34, pp .97-101.

-M-

- **Malkin, AY et Isayev, AI (2017).** Méthodes expérimentales de rhéométrie. *Concepts, méthodes et applications de rhéologie, 2e éd.* ; Malkin, AY, Isayev, AI, Eds , 255-364
- Marakis, S., J. Kalaitzakis and K. Mitrakos. 1988. Criteria for recognizing carob tree varieties. Pp. 558-566 in *Proceedings of the II International Carob Symposium* (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain 730-739
- **Makris DP, Kefalas P.** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as sources of polyphenolic antioxidants. *Food Tech Biotech.* 2004;42:105-8

- **Marthur, V. and Mathur, N. K. (2005).** Fenugreek and other lesser known legume galactomannan-polysaccharides: Scope for development. *Journal of scientific and Industrial research*, 64: 475 - 481
- **Martindale, C. (1989).** Personality, situations and creativity. In J. A. Glover, R. R. Ronning & c. R. Reynolds (Eds), *Handbook of creativity*. New York: Plenum Press, 211-242
- **Martínez-Herrera, J., Siddhuraju, P., Francis, G., Davila-Ortiz, G., & Becker, K. (2006).** Composition chimique, constituants toxiques/antimétaboliques et effets de différents traitements sur leurs niveaux, dans quatre provenances de *Jatropha curcas* L. du Mexique. *Chimie alimentaire*, 96 (1), 80-89.
- **Mao C.F. & Chen J.C., 2006.** Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: an interpretation based on thixotropic behavior. *Food Hydrocolloids*, 20 (5), Mazaheri Tehrani, M. and Ghandi, A., 2007, Modification of Bostwick method to determine tomato concentrate consistency. *Journal of Food Engineering*, 79, 1483–1486.
- **McCleary B.V., (1988).** Carob and guar galactomannans. *Methods Enzymol.*, 160, 523-527
- **McCleary, BV, & Matheson, NK (1974).** Activité α -D-galactosidase et appauvrissement en oligosaccharides galactomannane et galactosylsaccharose dans les graines de légumineuses en germination. *Phytochimie*, 13 (9), 1747-1757.
- **Mekhoukhe A, Kicher H, Ladjouzi A, Medouni-Haroune L, Brahmi F, Medouni Adrar S, et al.** Antioxidant activity of carob seeds and chemical composition of their bean gum by-products. *J Complement Integr Med*. 2018;20170158.
- **Mekhoukhe, A., Mohellebi, N., Mohellebi, T., Deflaoui-Abdelfettah, L., Medouni-Adrar, S., Boulekbache-Makhlouf, L., & Madani, K. (2020).** Traitement de la confiture : Effet du remplacement de la pectine par la gomme de caroube sur ses caractéristiques. *Journal méditerranéen de la nutrition et du métabolisme*, 14 (1), 13-24.
- **Miedviedieva, N. (2016).** Expertise qualité mayonnaise. *Revue ukrainienne de science alimentaire*, (4, Iss. 2), 299-308;*
- **Milani, MA, Mizani, M., Ghavami, M. et Eshraty, P. (2013).** Les influences physico-chimiques de la pâte de moutarde jaune - comparaison avec la poudre dans la mayonnaise. *J. Processus alimentaire. Technol*, 4 (2)

- **Mirzanajafi-Zanjani, M., Yousefi, M., & Ehsani, A. (2019).** Défis et approches pour la production d'une sauce mayonnaise saine et fonctionnelle. *Sciences alimentaires et nutrition*, 7 (8), 2471-2484
- **Morley, W. G. (2016).** Mayonnaise. Encyclopedia of food and health. Netherlands.

-P-

- **Palaiogianni, A., Stylianou, M., Sarris, D., & Agapiou, A. (2022).** Carob-Agro-Industrial Waste and Potential Uses in the Circular Economy. In *Mediterranean Fruits Bio-wastes* (pp. 765-797). Springer, Cham
- **Pagano, G., Guida, M., Tommasi, F., & Oral, R. (2015).** Effets sur la santé et mécanismes de toxicité des éléments de terres rares - Lacunes dans les connaissances et perspectives de recherche. *Écotoxicologie et sécurité environnementale*, 115, 40-48.
- **Papagiannopoulos M., Wollseifen H.R., Mellenthin A., Haber B. and Galensa R. (2004).** Identification and quantification of polyphenols in carob fruits (*Ceratonia siliqua* L.) and derived products by HPLC-UV-ESI/ MSn, *J. Agric. Food Chem*, 52, pp 3784-3791.
- **Pazhvand, R., & Khavarpour, M. (2019).** Rheological, Physical and SENSORY propriété Mayonnaise Formulated with Sesame Oil. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 9(1), 35-44
- **Prajapati, VD, Jani, GK, Moradiya, NG et Randeria, NP (2013).** Applications pharmaceutiques de diverses gommes naturelles, mucilages et leurs formes modifiées. *Polymères glucidiques*, 92 (2), 1685-1699.
- **Pollard, M. A., Kelly, R., Wahl, C., Fischer, P., Windhab, E., Eder, B. & Amado, R. (2007).** Investigation of equilibrium solubility of a carob galactomannan. *Food Hydrocolloids*, 21, 683-692.; Xu et al., 2022
- **Pollard M. A. and Fischer P. (2006).** Partial aqueous solubility of low-galactose-content galactomannans—What is the quantitative basis? *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11, (2-3), 184-190

Q

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

-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.
- **Razavi, SMA et Irani, M. (2019).** Rhéologie de la gomme alimentaire. *Molécules bioactives dans les aliments ; Mérillon, JM, Ramawat, KG, Eds* , 1-29.
- **Rejeb M. N., 1994.** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans: Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris: 79-85.
- **Richane, A., Ismail, HB, Darej, C., Attia, K. et Moujahed, N. (2022).** Potentiel de la pulpe de caroube tunisienne comme aliment pour les ruminants : composition chimique et évaluation in vitro. *Santé et production animales tropicales* , 54 (1), 1-9.
- **Richardson, G. E., Neiger ,B.L., Jensen ,S., & Kumpfer ,K.L.(1990)** The Resiliency model .*Health education* ,21(6),33-39
- **Rinaudo, M. (2001).** Relation entre la structure moléculaire de certains polysaccharides et des propriétés originales à l'état de sol et de gel. *Hydrocolloïdes alimentaires* , 15 (4-6), 433-440
- **Rodríguez-Solana, R., Romano, A., & Moreno-Rojas, JM (2021).** Pulpe de caroube : Un sous-produit nutritionnel et fonctionnel répandu dans le monde entier dans la formulation de différents produits alimentaires et boissons. Une critique. *Processus* , 9 (7), 1146

-S-

- **Sand-Jensen, K., Prahl, C., & Stokholm, H. (1982).** Libération d'oxygène par les racines des macrophytes aquatiques submergés. *Oikos* , 349-354.
- **Sbay H.** Le caroubier au Maroc un arbre d'avenir. Centre de Recherche Foresti`ere. Collection Maroc Nature. **2008**;27.
- **Schädle, CN, Bader-Mittermaier, S., & Sanahuja, S. (2022).** Caractérisation de la mayonnaise allégée et comparaison de la perception sensorielle, des analyses rhéologiques, tribologiques et texturales. *Aliments* , 11 (6), 806
- **Schweinfurth, G. 1894.** Sammlungarabisch-aethiopischer Pflanzen, Ergebnisse von Reisen in den Jahren 1881, 1888-89, 1891-92. Bull. Herb. Boissier 2:1-114.
- **Shahzad, SA, Hussain, S., Mohamed, AA, Alamri, MS, Qasem, AAA et Osman, MA (2019).** Propriétés collantes, thermiques, texturales et rhéologiques de l'amidon de

riz mélangé à 6 gommes hydrocolloïdes différentes. *Journal pakistanais des sciences agricoles* , 56 (3).

- **Sikora.M., Badrie.N., Deisingh.A.K., Kowalski.S., (2008).**Sauces and Dressings: A Review of Properties and Applications. *Food Sc*
- **Sjöo, M., Emek, S. C., Hall, T., Rayner, M., & Wahlgren, M. (2015).** Barrier properties of heat treated starch Pickering emulsions. *Journal of colloid and interface science*, 450, 182-188
- **Smati I, Bettaieb I, Rebey Hammami M, Hamdaoui G, Saidai Tounsi M.** Variation de la qualité du jus de citron (*Citrus limon* L.) au cours de la maturation fruit. *J New Sci Agr Biotech*. 2017;43(1):2334-43
- **Smith, G. (2010).** Interactions entre normes publiques et normes privées dans la filière alimentaire
- **Srivastava,M., & Kapoor, VP (2005).** Galactomannanes de graines : un aperçu. *Chimie & Biodiversité* , 2 (3), 295-317.

-T-

- **Taguet, A. (2020).** Caractérisation rhéologique de mélanges de polymères compatibilisés. Dans *Compatibilization of Polymer Blends* (pp. 453-487). Elsevier
- **Tasliikh, M., Mollakhalili-Meybodi, N., Alizadeh, AM, Mousavi, MM, Nayebzadeh, K., & Mortazavian, AM (2021).** Les principaux ingrédients de la mayonnaise influencent sa structure en tant qu'émulsion. *Journal des sciences et technologies alimentaires*, 1-9.
- **Tavakoli, R., Karami, M., Bahrami, S., & Emamifar, A. (2021).** Feasibility of Preservative-free Mayonnaise Production by Ultrasonication: Evaluation of Physicochemical and Sensorial Properties of the Product During the Shelf Life. *Journal of Innovatives of Food Technology* Thomson, P. 1971. The carob in California. *California Rare Fruit Growers Yearbook III*:61-102
- **Tous, J. 1995.** Carobs: A world-wide perspective on the industry and management. Pp. 4652 in *Proceedings of a Symposium on Olives and Carobs for landcare and for profit*. Univ. of Adelaide, South Australia

-V-

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

- **van Rijs, P., & Fogliano, V. (2020).** La torréfaction de la farine de caroube diminue la capacité à lier les glycoconjugués des acides biliaires. *Nourriture et fonction* , 11 (7), 5924-5932.
- **Van Rijs P, Fogliano V.** Roasting carob flour decreases the capacity to bind glycoconjugates of bile acids. *Food & Funct.* **2020**;11(7):5924-32
- Vélez-Eraza, EM, Bosqui, K., Rabelo, RS et Hubinger, MD (2021). Effet du pH et de la protéine de pois : rapport de gomme de xanthane sur les émulsions à haute teneur en huile et formation d'émulsion de phase interne élevée. *Molécules* , 26 (18), 5646.

-W-

- **Wan, X., Eguchi, A., Fujita, Y., Ma, L., Wang, X., Yang, Y., Qu, Y., Chang, L., Zhang, J., Mori, C., Hashimoto, K., 2022.** Effects of (R)-ketamine on reduced bone mineral density in ovariectomized mice: A role of gut microbiota. *Neuropharmacology* 213,109139
- **Wang, W., Hu, C., Sun, H., Zhao, J., Xu, C., Ma, Y., ... & Hou, J. (2022).** Propriétés physicochimiques, stabilité et texture de la mayonnaise faible en gras substituée à l'huile de soja : effets des épaississants et des températures de stockage. *Aliments* , 11 (15), 2201
- **Wang, X. (2001).** Le rôle croissant des mitochondries dans l'apoptose. *Gènes & développement* , 15 (22), 2922-2933
- **Wang, Y., Li, C., Zhao, Y., Li, L., Yang, X., Wu, Y., ... & Yang, D. (2020).** Nouvel aperçu du mécanisme de formation de la saveur volatile dans la sauce de poisson chinoise (Yu-lu) basé sur des analyses sensorielles moléculaires et métagénomiques. *Chimie alimentaire* , 323 , 126839.

-X-

- **Xu, Q., Ren, M., Liu, K., Wang, X., Wang, JY, Wang, S. et Kong, F. (2022).** Construction d'une sonde fluorescente à base de chitosane pour la surveillance en temps réel des changements de viscosité dans les cellules vivantes avec une faible cytotoxicité et une photostabilité élevée. *Journal de génie chimique* , 430 , 132851.

-Y-

- **Y. Wang, P. S. Belton, H. Bridon, E. Garanger, N. Wellner et al.,** Physicochemical Studies of Caroubin:?? A Gluten-like Protein, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol.49, issue.7, pp.3414-3419, 2001

- **Youssef, MKE, El-Manfaloty, MM et Ali, HM (2013).** Évaluation de la composition chimique immédiate, de l'état nutritionnel, de la composition en acides gras et des composés phénoliques de la caroube (*Ceratonia siliqua* L.). *Alimentation et santé publique* , 3 (6), 304-308.
- **Yuan, Nian, Y., L., Zhao, D. et Li, C. (2020).** Amélioration synergique du contenu de chargement et de la stabilité chimique du lycopène se distribuant à la fois à l'intérieur et sur l'interface huile/eau. *Journal of Food Science* , 85 (10), 3244-3252

-Z-

- **.Zengin E., Aka Sagliker H., Darici C., (2008).** Carbon Mineralization of *Ceratonia siliqua* L. Soils under Different Temperature and Humidity Conditions, *Turk J Bot*, 32,123-127.7
- **Zhengzhang, T. 1991** On the origin of the carat as the unit of weight for gemstones. *Chin. J. Geochem.* 10, 288–294. Batlle I, Tous J. Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crops. 1997:17.
- **Zhu BJ, Zayed MZ, Zhu HX, Zhao J, Li SP.** Functional polysaccharides of carob fruit: a review. *Chin Med.* 2019;14(1):40. Smith B.M., Bean S.R., Schober T.J., Tilley M., Herald T.J., Aramouni F., (2010). Composition and molecular weight distribution of carob germ protein fractions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58(13),7794-800 Kawamura, Y. (2008, juin). Évaluation chimique et technique (CTA) de la gomme de caroube. Dans *Actes de la 69e réunion du Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA), Rome, Italie* (pp. 17-26).
- **.Zohary, M. 1973.** Geobotanical Foundations of the Middle East, 2 vols. Stuttgart.

Annexes

Annexe1**Tableau1 : Composition chimique de la pulpe**

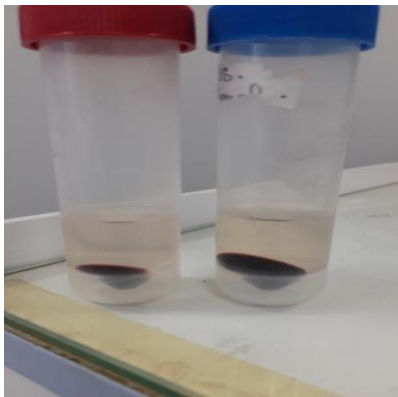
Constituant	Proportionen(%)	Références
Sucrestotaux	45 à52	Albanelletal.,1991 ;Goulaset al.,2016
Saccharose	65-75	Avalloneetal.,1997;Goulaset al., 2016
Glucose	1,5 à17,4	Avalloneetal.,1997;Batlleet Tous,1997
Fructose	1,8 à17,9	Avalloneetal.,1997;Gubbuket al.,2010;
Fibres	7,6 à10,8	Shawakfeheterifej,2005
Protéines	2 à 7	Ayazetal., 2007
Cendres	2 à 3	Albanellet al.,1991
Lipides	0,5 à1	Avalloneetal.,1997
Polyphénolstotaux	16 à20	Avalloneetal.,1997

Annexe2 :**Tableau II :Différentes utilisations industrielles de la gomme(Batlle et Tous, 199)**

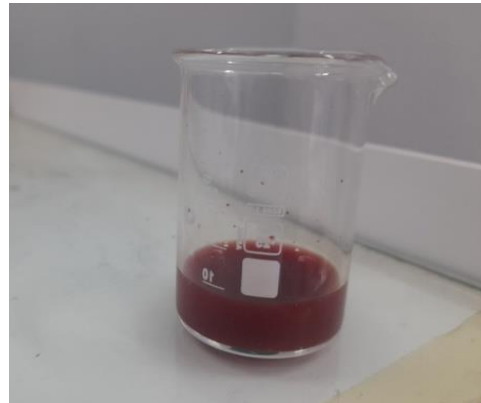
Utilisations industrielles	Applications
Pharmaceutiques	Contre les diarrhées, dentifrice
Cosmétiques	Emulsions et mousse de rasage
Textiles	Coloration
Papier	Traitement de surface
Chimiques	Colle, colorant, polissage, allumettes, pesticides
Pétrole	Additif pour augmenter la stabilité
Exploitation minière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

Annexe 3

- Préparation du globule rouge et la solutions des GR pour le test de cytotoxicité

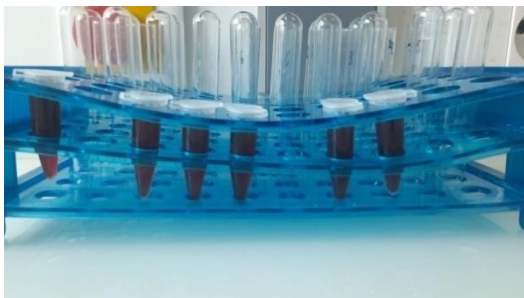


globule rouge après les lavages



la solution des globules rouge

la solution



les échantillons de test cytotoxicite avant et après la centrifugation

Annexe 4 :



préparation de la mayonnaise

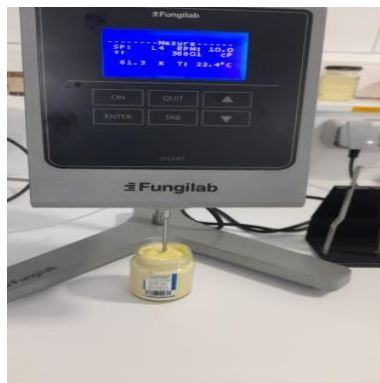
Les appareils utilisé pour les analyses physique-chimique de la mayonnaise



Mesure l'acidité de la mayonnaise



Photographie du consistomètre de Bostwick



Viscosimètre Fungilab

Résumé

Le présent travail consiste à une valorisation de sous-produits de la caroube (la gomme de caroube) et ceci par un essai d'incorporation de cette dernière dans la technologie de fabrication d'une mayonnaise. Les analyses effectuées sur la gomme de caroube extraite à l'eau et purifiée ont montré une teneur importante en sucre par rapport aux autres constituants, sa solubilité est peu influencée par le pH et elle ne présente aucune cytotoxicité.

Le suivi de la stabilité des échantillons de mayonnaises additionnées de gomme de caroube à montrent que l'échantillon de mayonnaise préparé avec mixture de GCP et l'amidon modifiée présente des caractéristiques physico-chimiques et rhéologique acceptable et une stabilité tout au long de cette étude.

Mots clés : Caroube ; purification ; gomme de caroube ; mayonnaise ; solubilité.

Abstarct

The present work consists in a valuation of carob by-products (locust bean gum) and this by a test of incorporation of the latter in the technology of manufacture of a mayonnaise. The analyzes carried out on the locust bean gum extracted with water and purified showed a high sugar content compared to the other constituents, its solubility is little influenced by the pH and it does not present any cytotoxicity.

Monitoring the stability of samples mayonnaise added with locust bean gum to show that the sample of mayonnaise prepared with a mixture of GCP and modified starch has acceptable physico-chemical and rheological characteristics and stability throughout this study.

Keywords : Carob; cleansing; locust bean gum; mayonnaise; solubility.