

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏ ⵏ ⵙⵉⵎⵓⵏⵉⵏ ⵏ ⵙⵉⵎⵓⵏⵉⵏ
UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES
AGRONOMIQUES DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master académique en sciences
alimentaires

Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité Thème

Production d'une boisson fermentée aux probiotiques à base
de caroube

Présenté par :

- M^{lle} BOUKHATA Elissia
- M^{lle} MOKRI Amina

Devant le jury:

- | | | | | |
|------------------|----------|---------|-----|-------|
| - Président: | SADOUDI | Rabah | MCA | UMMTO |
| - Examineur: | BENGANA | Mohamed | MCB | UMMTO |
| - Encadreur: | CHENAH | May | MCB | UMMTO |
| - Co- encadreur: | AMROUCHE | Tahar | Pr | UMMTO |

Année universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord Dieu, qui nous a donné le courage, la patience et la persistance durant toutes ces longues années d'études et nous avoir guidées jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à notre promotrice Mme CHENAH May pour avoir encadré ce travail, Merci pour votre disponibilité, vos conseils, votre orientation, et vos encouragements durant la période de la réalisation de ce travail.

Ce fut un véritable plaisir de travailler à vos côtés.

Nous tenons à exprimer notre très grande considération à notre co-promoteur M. AMROUCHE Tahar Professeur à l'université Mouloud Mammeri pour sa disponibilité et son aide.

Nos sincères remerciements s'adressent aux membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Au professeur SADOUDI Rabah qui a fait l'honneur de présider le jury, au professeur

M. BENGANA Mohamed qui a accepté d'être examinateur de ce mémoire.

Un grand merci à tous nos enseignants du département des sciences alimentaires pour tout le savoir qu'ils ont donné durant notre cursus universitaire.

Nous tenons à exprimer ici toute notre reconnaissance à Mme BOUZZOUNI Khadidja pour son soutien, sa disponibilité sans faille, ainsi qu'à l'ensemble du personnel du laboratoire de l'université Mouloud Mammeri - bastos - pour leur coopération.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Monsieur METNA Boussad, à notre camarade MANSOUR Massyna et à toute l'entreprise de Tassili pour leur précieuse contribution à notre étude.

Enfin, nous remercions nos familles, nos proches et amis pour leurs soutiens et leurs patiences durant la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie

ce modeste travail

A

Ma chère et tendre mère, Samira, pour son soutien, son affection, son encouragement et sa patience.

*Tes prières et ta foi en moi m'ont éliminé le chemin pour mener à bien mes études. A mon père, Idir,
pour sa présence à chaque fois j'ai besoin de lui et sa patience.*

A ma sœur Cheyma, pour son soutien moral et son encouragement.

Toute ma gratitude, mon amour pour mes parents, merci d'avoir cru en moi.

A ma grand-mère Khedoudja et ma tante Assia pour leurs prières et leurs présences à mes côtés.

A mon encadrante, Mme Chenah May pour son aide et ses conseils pendant la réalisation de ce travail.

Amabînôme Aminapour tous les hauts et les bas que nous avons partagé tout au long de ce mémoire.

A tous mes camarades de la promotion sciences alimentaires et contrôle de qualité TAACQ.

Elissia

Dédicaces

Je dédie humblement ce travail à ceux qui ont dévoué leur existence à veiller sur mon bien-être, à ceux qui sont à la source de ma réussite.

À ma tendre mère, Dahbia, et à mon cher père, Said, pour leurs immenses sacrifices.

À mon fiancé et à ma précieuse belle famille.

À mes chères sœurs, Meriem et Kenza, qui illuminent ma vie de leur amour.

À mes chers frères, Mohammed et Bilel, et à ma chère grand-mère, Tassadit.

A mon encadrant, Mme Chenah May pour son aide et ses conseils pendant la réalisation de ce travail.

À mon binôme bien-aimé, Elissia, avec qui j'ai partagé tant de moments précieux.

Et enfin, à toute notre merveilleuse promotion d'agroalimentaire et de contrôle de qualité pour l'année 2022/2023.

Que nos chemins continuent à se croiser et à se nourrir mutuellement de succès et d'accomplissements.

Amina

Listes des abréviations et symboles

Abréviations	Significations
v/v	Volume par volume
pH	Potentiel d'Hydrogène
°Brix	Degré Brix

Unité	Signification
°C	Degré Celsius
ml	Millilitre
mg	Milligramme
kg	Kilogramme
g	Gramme
L	Litre
mm	Millimètre
nm	Nanomètre
µl	Microlitre
µg	Microgramme
%	Pourcent
n°	Numéro
c	Cellules

Listes des figures

Figures	Titres de Figure	Pages
Chapitre I : La caroube		
Figure 01	(a). Arbre du caroubier <i>Ceratonia siliqua</i> , (b). Fleures du caroubier, (c). Feuilles du caroubier, (d). Gousse de caroubier après maturité, (e). Gousse de caroubier avant maturité, (f). Graines de caroube, (g). Coupe transversale d'une graine de caroube.	Page 7
Figure 02	Processus d'extraction de la gomme et la poudre de caroube.	Page 16
Chapitre II : Les probiotiques et les prébiotiques		
Figure 03	Fructo-oligosaccharides (FOS)	Page 22
Figure 04	L'inuline	Page 22
Matériel et méthodes		
Figure 05	(a). Arbre du caroubier <i>Ceratonia siliqua</i> , (b). Feuilles du caroubier, (c). Gousse de caroubier avant maturité, (d). Gousse de caroubier mature.	Page 26
Figure 06	(a). Coupe transversale d'une gousse de caroube <i>Ceratonia siliqua</i> , (b). Graines de caroube, (c). Gousses de caroube concassées, (d) Poudre de caroube.	Page 27
Figure 07	(a). Boissons après inoculation, (b). Agitation des boissons sur la table d'agitation.	Page 28
Figure 08	(a). La pesée de la poudre de caroube dans les creusets en aluminiums, (b). Introduction des creusets dans l'étuve, (c). Refroidissement des creusets dans le dessiccateur.	Page 30
Figure 09	a). La pesée des creusets en porcelaines, (b). La pesée de la poudre de caroube, (c). L'incinération des trois creusets dans le four à moufle.	Page 31
	(a). La peser du ballon avant l'extraction, (b). Extraction de	

Figure 10	a matière grasse avec l'appareil de Soxhlet, (c). La matière grasse obtenue après l'extraction.	Page 32
Figure 11	(a). Préparation de la gamme d'étalonnage, (b). Dilution de la gamme d'étalonnage et des échantillons, (c). Lecture au spectrophotomètre.	Page 33
Figure 12	(a). Extraction des polyphénols, (b). Dosage des polyphénols par le réactif Folin-Ciocalteu, (c). Lecture au spectrophotomètre.	Page 34
Figure 13	(a). Titrage des boissons, (b). Apparition de la couleur rose.	Page 37
Figure 14	(a). Observation au microscope optique, (b). Cellules de Malassez contenant la suspension.	Page 38
Figure 15	Fiche de dégustation de la boisson fermentée.	Page 40
Figure 16	(a). Ajout de rondelles de citrons aux boissons, (b). Filtration des boissons et l'ajout du miel.	Page 40
Résultats et discussion		
Figure 17	Evolution du degré Brix des boissons de caroube aux probiotiques en fonction du temps de fermentation.	Page 45
Figure 18	Evolution du nombre des probiotiques dans les différentes boissons pendant la fermentation.	Page 46
Figure 19	Evolution du pH dans les différentes boissons pendant la fermentation.	Page 47
Figure 20	Evolution du pH dans les différentes boissons pendant la fermentation.	Page 48

Liste des Tableaux

Tableaux	Titres du Tableau	Pages
Chapitre I : La caroube		
Tableau I	Composition nutritionnelle de la caroube	Page 8
Tableau II	Evaluation de la production et de la superficie du caroubier à l'échelle mondiale en 2020 selon les données de la	Page 9
Chapitre II : Les probiotiques et les prébiotiques		
Tableau III	Principales espèces microbiennes utilisées comme probiotiques	Page 19
Tableau IV	Les principaux effets bénéfiques attribués aux probiotiques	Page 20
Tableau V	Les aliments riches en prébiotiques	Page 24
Résultats et discussion		
Tableau VI	Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de caroube.	Page 42
Tableau VII	Résultats des analyses sensorielles.	Page 51

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	01

I - Le caroubier

I.1. Origine et distribution géographique de la caroube.....	03
I.2. Taxonomie.....	04
I.3. Présentation botanique du caroubier <i>Ceratonia siliqua</i>	04
I.3.1. Arbre.....	04
I.3.2. Floraison.....	05
I.3.3. Fleurs.....	05
I.3.4. Feuilles.....	05
I.3.5. Fruit.....	05
I.3.6. Graines.....	06
I.4. Composition chimique de la caroube.....	08
I.5. Production de la caroube.....	08
I.6. Vertus et utilisation de la caroube.....	09
I.6.1. Alimentation.....	09
I.6.2. Cosmétique.....	10
I.6.3. Médicale.....	10
I.6.4. Autres utilisations des produits de la caroube.....	11
I.7. Contre-indication et effet secondaire de la caroube.....	12
I.8. Technologie de fabrication de la poudre de caroube.....	12
I.8.1. Technologie de fabrication de la farine de caroube.....	12
I.8.1.1. Réception et traitement de la matière première.....	12
I.8.1.2. Concassage.....	13
I.8.1.3. Torréfaction.....	13
I.8.1.4. Broyage et tamisage.....	13
I.8.1.5. Emballage.....	14
I.8.2. Technologie de fabrication de la gomme de caroube.....	14
I.8.2.1. Gomme de caroube.....	14
I.8.2.2. Extraction et purification de la gomme de caroube.....	14

II - Les probiotiques et les prébiotiques

II.1. Probiotiques.....	17
II.1.1. Historique des probiotiques.....	17
II.1.2. Définition des probiotiques.....	17
II.1.3. Classification des probiotiques.....	18
II.1.3.1. Bactéries lactiques.....	18
II.1.3.2. Bactéries non lactiques.....	18
II.1.3.3. Levures du genre <i>Saccharomyces</i>	18
II.1.4. Probiotiques et santé.....	19
II.2. Prébiotiques.....	21
II.2.1. Définition des prébiotiques.....	21
II.2.2. Critères de sélection des prébiotiques.....	21
II.2.3. Prébiotiques les plus communs.....	21
II.2.4. Prébiotiques et santé.....	24

Matériel et méthode

1. Matériel.....	26
1.1. Matériel biologique.....	26
1.1.1. Caroube <i>Ceratonia siliqua</i>	26
1.1.2. Levures et bactéries.....	27
1.1.3. Lait écrémé et eau glucosée.....	27
1.2. Matériel non biologique.....	27
2. Méthode.....	27
2.1. Préparation de la poudre de caroube.....	27
2.2. Préparation de la boisson à la caroube.....	28
2.3. Protocole de l'expérimentation.....	28
2.4. Analyses physico-chimiques.	29
2.4.1. Détermination de la matière sèche.....	29
2.4.2. Détermination du taux de cendre (Matière minérale).....	30
2.4.3. Détermination du taux de matière grasse.....	31
2.4.4. Détermination de la teneur en sucre totaux.....	32
2.4.5. Détermination de la teneur en polyphénols.....	33
2.4.6. Détermination de la teneur en protéine.....	34
2.5. Analyse de suivi de fermentation.....	35

2.5.1. Détermination du PH.....	35
2.5.2. Détermination de l'acidité titrable.....	36
2.5.3. Détermination du degré de Brix.....	37
2.5.4. Détermination du nombre des bactéries et des levures.....	37
2.6. Analyse sensorielle.....	39
2.7. Analyse statistique.....	41

Résultats et discussion

1. Résultats des analyses de la physico-chimique.....	43
2. Résultats des analyses de suivi de la fermentation.....	46
2.1. Résultats du degré Brix.....	46
2.2. Résultats du nombre de cellules de microorganismes.....	47
2.3. Résultat du pH et de l'acidité titrable.....	48
3. Résultats des analyses sensorielles.	51
Conclusion générale.....	54

Références

Bibliographiques

Annexes

Introduction

Les composés naturels dérivés des plantes possèdent de nombreux avantages exploités dans divers secteurs industriels tels que l'alimentation, la cosmétologie et la phytopharmacie. Avec la demande croissante des consommateurs pour des aliments biologiques et naturels, les industries agroalimentaires cherchent à développer de nouveaux produits qui garantissent une conservation optimale tout en offrant des bénéfices pour la santé. Cela a conduit à l'utilisation de nouveaux ingrédients, parmi lesquels le *Ceratonia siliqua* L., communément appelé "caroubier", une plante ayant des propriétés thérapeutiques importantes (**Kaderi et al., 2014**). Le caroubier est caractérisé par sa polyvalence, toutes ses parties étant bénéfiques et ayant une valeur intrinsèque. Outre ses avantages socio-économiques et écologiques, telles que l'utilisation de la pulpe des fruits et de la gomme extraite des graines dans l'industrie agroalimentaire, il présente également des propriétés pharmacologiques, comme agent anti-diarrhéique en raison de sa teneur élevée en fibres, ce qui lui confère des effets anti-hyperglycémiques et hypocholestérolémiants. Les composés phénoliques présents dans le caroubier contribuent à ses remarquables propriétés anti-oxydantes (**Hariri et al., 2009**).

Au fil du temps, les aliments ont évolué d'une simple source de nutriments essentiels pour le bon fonctionnement du corps vers des aliments favorisant le bien-être et réduisant les risques de maladies, selon les préférences des consommateurs (**Niva, 2007**).

Au cours des dernières années, une série d'études scientifiques a fourni des preuves probantes concernant l'efficacité des probiotiques, suscitant un intérêt croissant en raison de l'approfondissement de nos connaissances sur les micro-organismes utilisés dans le processus de fermentation et la possibilité d'ajouter des bactéries bénéfiques aux produits alimentaires.

Les probiotiques sont définis comme des micro-organismes vivants que, lorsqu'ils sont ingérés en quantités adéquates, présentent des effets bénéfiques à l'organisme hôte (**FAO et OMS, 2002**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude, qui a pour objectif la formulation d'une boisson fermentée aux probiotiques à base de caroube.

Cette étude est divisée en trois parties, la première partie fournissant le contexte général de l'étude, une recherche bibliographique et scientifique autour du sujet de la caroube connue

sous le nom scientifique *Ceratonia siliqua*, les probiotiques et les prébiotiques, la deuxième partie concerne, la partie expérimentale qui comporte un chapitre de matériel et méthodes et un chapitre qui présente les différents résultats obtenus avec leurs discussions et finalement une dernière partie, une conclusion générale qui résume l'ensemble du travail réalisé ainsi que les perspectives.

Étude bibliographique

CHAPITRE I

LA CAROUBE

I.1. Origine et distribution géographique de la caroube

Depuis l'Antiquité, le *Ceratonia siliqua* a joué un rôle significatif dans l'établissement de l'unité de mesure des pierres précieuses (**Rejeb, 1995**). Cette utilisation découle du poids relativement constant et uniforme des graines présentes dans les fruits de l'arbre. Les Arabes ont employé ces graines comme unité de poids lors du commerce de pierreries et joaillerie. Il est important de noter qu'une graine de caroube correspond à un carat, (1 carat = une graine de caroube, soit 0,2 g). Par conséquent, les termes "Elkilate" en Espagnol et "carat" en Français sont dérivés du terme Arabe "Al-karat" ou "Qirat" (**Albanell, 1990**).

Le caroubier est largement reconnu et identifié par différents termes à travers le monde, tels que carouge, figuier d'Égypte, fève de Pythagore (en français), haroub en Hébreu, kharroub en Arabe, tislighwa en Tamazight, algarrobo en Espagnol, carroubo en Italien, caroubier en Français, carob tree en Anglais et bien d'autres noms (**Battle et Tous, 1997**). Ces diverses appellations sont utilisées pour faire référence à l'arbre lui-même ainsi qu'à ses différentes parties, notamment les gousses et la poudre de caroube obtenue à partir de celles-ci.

L'histoire du caroubier remonte à l'antiquité où les études archéobotaniques menées sur des échantillons carbonisés de bois et de fruits indiquent la présence précoce du *Ceratonia siliqua* L., dans le bassin méditerranéen oriental bien avant le début de l'agriculture (**Zohary, 2002**). La culture du caroubier est très ancienne et remonte à plus de 2000 ans avant notre ère. Les Égyptiens au XVI^e siècle avant J.-C. connaissaient déjà sa culture, ils utilisaient la farine de caroube pour divers usages, dans l'alimentation humaine (fabrication du pain) et animale (bétails et chevaux) et notamment pour rigidifier les bandelettes de leurs momies (**Evreinoff, 1947**).

Au fil du temps, la culture du *Ceratonia siliqua* L., s'est répandue dans toute la région méditerranéenne. Les Grecs, les Romains et les Arabes ont adopté cette culture et ont contribué à sa propagation (**Rejeb, 1994**). Le caroubier est largement cultivé dans les pays chauds du pourtour méditerranéen, notamment en Espagne, au Maroc, dans le sud de l'Italie, à Chypre, en Tunisie, en Algérie, en Égypte, en Turquie et au Portugal (**Biner et al., 2007; Dakia et al., 2008**). Il a également été introduit dans d'autres régions chaudes telles que l'Australie, en Afrique du Sud, aux États-Unis et en Amérique du Sud (**Sbay et Abourouh, 2006**).

I.2. Taxonomie

Le *Ceratonia siliqua* L., couramment appelé "caroubier", est une espèce d'arbre qui présente des caractéristiques typiques de la région méditerranéenne. Il est cultivé depuis une longue période en raison de ses produits dérivés et de sa capacité à résister à la sécheresse. Cette plante peut atteindre une hauteur de plus de quinze mètres (Quezel et al., 1963).

Le fruit du caroubier est connu sous le nom de caroube. Son appellation scientifique, "*Ceratonia siliqua* L.", dérive du terme grec "Kera", qui signifie "fruit en forme de corne" (Bolonos, 1955), et du terme latin "siliqua", faisant référence à la forme et à la dureté de la gousse (Battle et Tous, 1997).

Sur le plan taxonomique, le caroubier est un arbre dioïque appartenant au :

Règne: Plantae

Embranchement: Tracheobionta.

Sous-embranchement: Magnoliophyta (Angiospermes).

Classe: Magnoliopsida (Dicotylédones).

Sous-classe: Rosidae.

Ordre: Fabalae.

Famille: Fabaceae (légumineuses)

Sous-famille: Caesalpinoideae.

Genre: *Ceratonia*.

Espèce: *Ceratonia siliqua* L. (Quezel et al., 1963).

I.3. Présentation botanique du caroubier *Ceratonia siliqua*

I.3.1. Arbre

Le caroubier *Ceratonia siliqua* est un arbre ou arbuste à feuilles persistantes (type d'arbre dont les feuilles se conservent tout au long de l'année, sans tomber à une saison spécifique), caractérisé par une croissance lente. Il peut atteindre une hauteur allant de 7 à 20 mètres. Le tronc de l'arbre présente généralement une grosseur importante et une forme torsadée, avec une circonférence à sa base variant entre 2 et 3 mètres (Ait Chitt et al., 2007).

L'écorce de *Ceratonia siliqua* est initialement lisse et grise lorsqu'il est jeune, mais elle devient brune et rugueuse à l'âge adulte (Melgarejo et Salazar, 2003).

Le bois du caroubier présente une teinte blanc-jaunâtre lorsqu'il est jeune, puis il se développe en une couleur rose veinée pour finalement prendre une teinte rouge foncé avec le temps. Sa texture devient également plus dure en vieillissant. Ce bois de qualité est apprécié pour ses divers utilisations dans des domaines tels que la marqueterie, l'armurerie, la fabrication de charbon, etc. (Boudy, 1950; Benmahioul et al., 2011).

I.3.2. Floraison

La période de floraison du caroubier *Ceratonia siliqua* se déroule du mois d'août jusqu'au mois de novembre. Pendant cette période, les fleurs du caroubier émergent et se développent pour donner des fruits, également connus sous le nom de gousses de caroube, qui atteignent leur maturité à la fin du printemps de l'année suivante (Batll et Tous, 1997; Gharnit, 2003).

I.3.3. Fleurs

Les fleurs du caroubier *Ceratonia siliqua* sont de couleur verdâtre, de petite taille, mesurant de 6 à 16 mm de longueur. Elles sont disposées en spirale (Chaque fleur est légèrement décalée par rapport à celle qui la précède) et regroupées pour former des grappes droites et axillaires (Ce qui signifie qu'elles se développent à l'aisselle des feuilles c'est-à-dire à l'endroit où une feuille est attachée à la tige principale de la plante) (Batlle et Tous, 1997).

I.3.4. Feuilles

Les feuilles du caroubier *Ceratonia siliqua* sont de nature persistante, mesurant entre 10 et 20 cm de long. Elles se caractérisent par un pétiole sillonné (Tige mince qui unit la feuille à la tige principale et qui n'est pas lisse et plate) et un rachis (Axe supportant des folioles dans une feuille composée ou des fleurs dans une grappe) portant de 8 à 15 folioles opposées. Ces folioles mesurent entre 3 et 7 cm de long et sont de forme ovale. Elles présentent une texture coriace (Feuilles qui ont une consistance rigide et résistante) et sont arrangées de manière paripennée, c'est-à-dire qu'elles sont disposées en paires le long du rachis. La face supérieure des feuilles présente une couleur vert sombre brillante, tandis que la face inférieure présente une teinte vert pâle (Ait Chitt et al., 2007).

I.3.5. Fruit

Le fruit de la caroube *Ceratonia siliqua* est de grande taille et qualifié d'indéhiscence, ce qui signifie qu'il ne s'ouvre pas spontanément à maturité. Il mesure généralement de 10 à 30 cm de longueur et de 2 à 3,5 cm de largeur. A l'état immature, il prend une couleur verte qui

se développe ensuite vers une couleur brun foncé et parfumé au stade de maturation estivale (En été). Il possède une forme sinueuse dans les bordures, est aplati et peut être soit droit, soit courbé. Il est caractérisé par une texture coriace et épaisse. L'intérieur du fruit renferme un tissu pulpeux sucré et rafraîchissant de couleur jaune pâle (**Battle et Tous, 1997**).

I.3.6. Graines

Les graines de caroube *Ceratonia siliqua* se trouvent à l'intérieur des gousses. On compte de 5 à 16 graines, séparées les unes des autres par des cloisons pulpeuses et sucrées. La proportion de graines par rapport au poids total de la gousse varie généralement entre 10 et 20%, en fonction du cultivar et du climat (**Melgarejo et Salazar, 2003; Ait Chitt et al., 2007**). Les graines sont de petite taille, aplaties et de forme ovale, avec une extrémité basale tronquée et une extrémité apicale aplatie.

Les graines de caroube sont constituées de trois éléments distincts. Tout d'abord, les téguments, qui sont une enveloppe externe résistante et lisse de couleur brune, représentent environ 30 à 33% du poids total de la graine. Ensuite, il y'a la radicule, ou embryon, qui constitue environ 23 à 25% de la graine. La radicule est riche en protéines solubles dans l'eau et en lipides principalement insaturés, ce qui lui confère une valeur énergétique élevée. Enfin, il y'a l'endosperme, qui se trouve entre les téguments et la radicule, et représente environ 40 à 50% du poids de la graine. L'endosperme est particulièrement utilisé comme matière fondamentale dans la fabrication de la gomme de caroube (**Dakia et al., 2007; Dakia, 2011**).

Les dimensions des graines de caroube varient généralement de 8 à 10 mm de longueur, de 6 à 8 mm de largeur et d'environ 3 à 5 mm d'épaisseur (**Battle et Tous, 1997; Gharnit et al., 2006; Mahdad et Guaour, 2016**).

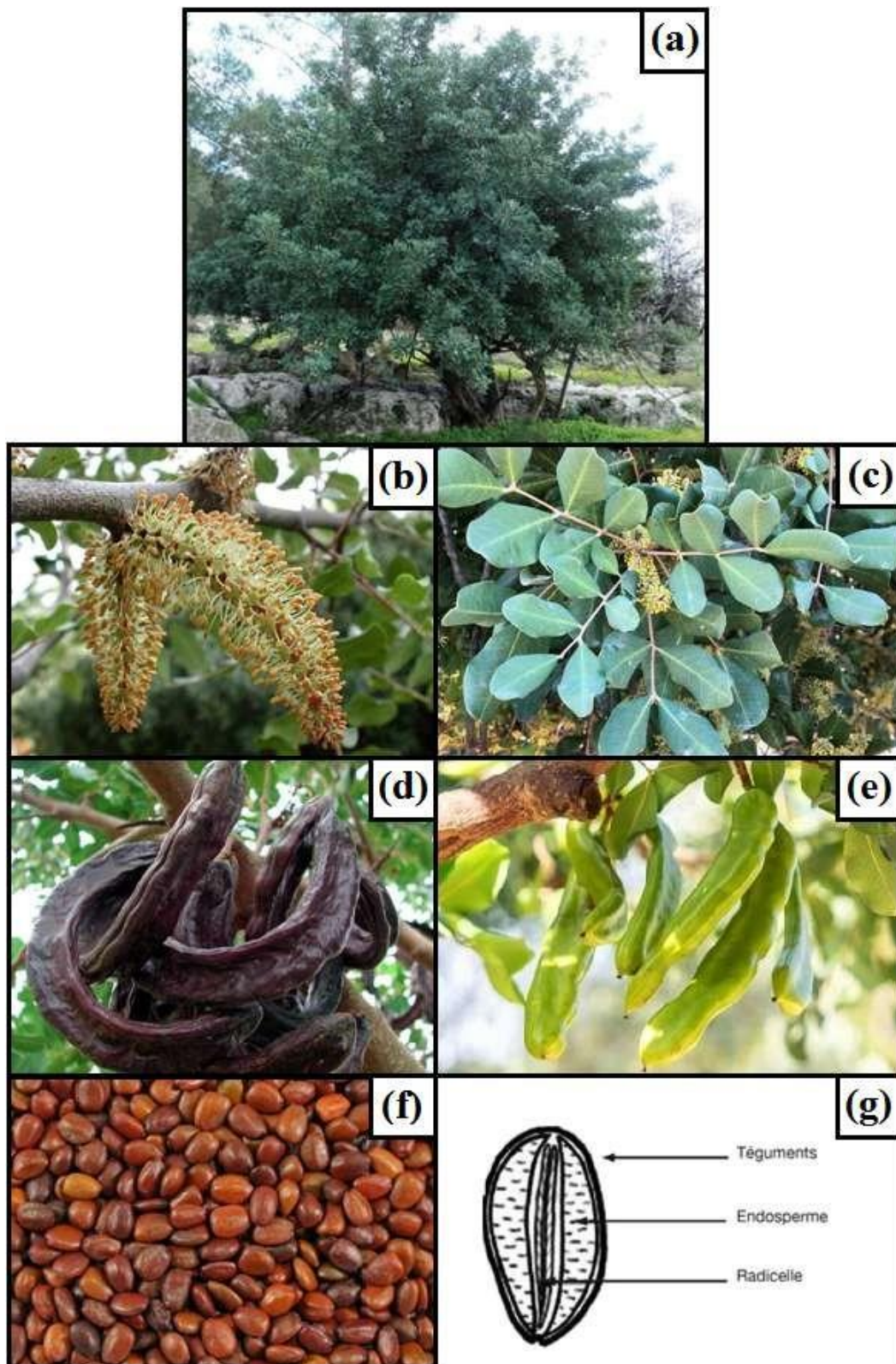


Figure 01. (a). Arbre du caroubier *Ceratonia siliqua*, (b). Fleures du caroubier, (c). Feuilles du caroubier, (d). Gousse de caroubier après maturité, (e). Gousse de caroubier avant maturité, (f). Graines de caroube (Peddle, 2014), (g). Coupe transversale d'une graine de caroube (Dakia et al., 2008).

I.4. Composition chimique de la caroube

Tableau I: Composition nutritionnelle de la caroube (Biner *et al.*, 2007; Kamal *et al.*, 2013).

<i>La pulpe (90% du poids total de la gousse)</i>	% g/100g
Glucides	48 à 56
Cellulose et hémicellulose	18
Polyphénols	16 à 20
Pectines et fibres	4,2 à 9,6
Cendres	1,5 à 2,4
Protéines	2 à 6
<i>La graine (10% du poids total de la gousse)</i>	%
Vitamines liposolubles	µg/100g
A	1407
E	5377
D	4,9
Vitamines hydrosolubles	mg/100g
C	830,08
B2	0,38
B3	185,68
B6	23,80
B9	41,97
B12	1,30
Minéraux	mg/kg
Manganèse	10,24
Zinc	24,71
Fer	381,80
Cuivre	4,84
Sélénium	9,79
Calcium	2123

I.5. Production mondiale de la caroube

Selon les données fournies par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO STAT), la production mondiale de caroube en 2023 est estimée à 49 033 tonnes, récoltées sur une superficie de 14 504 hectares pour l'année 2020. La production la plus importante, soit 21 141 tonnes sur une superficie de 10 312 hectares, provient du Maroc, représentant ainsi 43,11% de la production mondiale de caroubier. En comparaison, l'Algérie a estimé une production de 3 280 tonnes sur une superficie de 729 hectares. Les principaux pays producteurs de caroube sont présentés dans le tableau suivant (**Tableau II**), classés par ordre décroissant.

Tableau II: Evaluation de la production et de la superficie du caroubier à l'échelle mondiale en 2020 selon les données de la (FAO STAT, 2023).

Rang	Pays	Superficie (hectares)	Production (tonnes)	% Production mondiale
1	Maroc	10312	21141	43,11
2	Turquie	930	18806	38,35
3	Liban	378	4058	8,28
4	Algérie	729	3280	6,69
5	Tunisie	404	818	1,67
6	Israël	1567	405	0,83
7	Mexique	85	333	0,68
8	Ukraine	99	192	0,39
Total		14504	49033	100

I.6. Vertus et utilisation de la caroube

Le *Ceratonia siliqua*, est une plante, polyvalente qui offre de nombreuses utilisations potentielles. Chaque partie de l'arbre, feuilles, fleurs, fruits et bois, présente une valeur nutritionnelle et/ou thérapeutique significative. Les graines et les gousses du caroubier servent de base à une variété de produits dérivés, couvrant ainsi un large éventail d'applications (Ait Chitt et al., 2007).

I.6.1. Alimentation

Depuis une longue période, les gousses de caroube sont exploitées en tant que matière première pour la production d'additifs alimentaires (Biner et al., 2007). La pulpe de la caroube, présente à l'intérieur de la gousse, représente la partie la plus nutritionnelle de la plante. Elle est abondante en fibres végétales, protéines, oligo-éléments, tanins, amidons, vitamines, composés antioxydants actifs et sucre.

En raison de ses propriétés d'épaississement, de liaison, de gélification et de stabilisation, la caroube suscite un intérêt significatif dans l'industrie agroalimentaire,

plus connue sous le code E410. Cette gomme peut être employée dans la préparation de boissons chaudes, de pâtisseries, de desserts, de crèmes glacées, de produits laitiers et d'aliments diététiques, etc., étant donné que la poudre de caroube ne contient pas de gluten (**Kaderi, 2014**).

La poudre de caroube tirée des gousses est un édulcorant naturel, qui a la saveur et l'apparence semblable au chocolat. C'est pourquoi il est souvent utilisé comme substitut du cacao. L'avantage de son utilisation réside dans le fait qu'elle ne contient pas de stimulants tels que la caféine et la théobromine, contrairement au chocolat (**Bengoechea, 2008**).

Par ailleurs, la pulpe a été le premier produit d'horticulture utilisé en fermentation, dans plusieurs pays méditerranéens, pour la production d'alcool industriel (**Merwin, 1981**).

Dans certaines régions de la Méditerranée orientale, En Egypte, les sirops à base de fruits de caroube constituent une boisson populaire (**Batlle et Tous, 1997**), et utilisés pour préparer des boissons gazeuses appelées Boga, ou en bouillie comme au Liban, transformés en un concentré naturel doux et onctueux appelé "Debs elkaroube". Ils sont souvent consommés avec du pain et mélangés à de l'huile de sésame (tahini), qui présente des propriétés laxatives (**Kaderi, 2014**). Autre produit laitier artisanal appelé "Mekika" est fabriqué en utilisant un mélange de lait coagulé et d'extrait de gousses de caroube vertes, c'est spécifique de cette région et a une signification culturelle (**Abi Azar, 2007**). De même qu'en Turquie, un mélange de concentré de jus de caroube et de yaourt est largement fabriqué et consommé à domicile, surtout pendant les saisons hivernales (**Atasoy, 2009**).

Les caroubes constituent un excellent aliment énergétique pour le bétail, sa pulpe sucrée est employée à côté d'autres aliments comme la farine d'orge (**Ait Chitt et al., 2007**).

I.6.2. Cosmétique

Utilisée comme adjuvant naturel dans les savons, crèmes, dentifrice, etc. (**Calixto, 1982**) et en raison de ses propriétés épaississante, émulsifiante et stabilisante, la gomme de caroube est utilisée dans l'industrie cosmétique (**Goycoola et al., 1995; Batlle et al., 1997**).

I.6.3. Médicale

Le caroubier *Ceratonia siliqua* est une plante médicinale naturelle largement recommandée pour traiter divers troubles digestifs tels que les reflux gastriques

fréquents, l'irritation du côlon, les vomissements persistants, l'acidité gastrique, la stéatorrhée, les hémorroïdes, l'anémie et les carences nutritionnelles (Ayaz et al., 2009) contre la diarrhée, les angines, les rhumes et le cancer (Ait Chit et al., 2007).

Le caroubier est un excellent allié dans les régimes amincissants. Des études scientifiques ont démontré que cette plante officinale permet de traiter les problèmes associés au surpoids et à l'obésité en inhibant certaines enzymes digestives grâce à une teneur élevée en tannins, et en créant une sensation de satiété. Il est utilisé notamment dans les préparations des aliments diététiques humains (Berrougui, 2007).

Le *Ceratonia siliqua* est également utilisé dans la préparation d'aliments diététiques pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque, ainsi que dans les produits alimentaires dérivés des céréales. Les fibres et la farine de caroube sont utilisées pour réguler les niveaux de glucose dans le sang et réduire le taux de cholestérol total. Des études biologiques ont également montré que la pulpe de caroube possède des propriétés bactéricides contre *Staphylococcus aureus*. De plus, la caroube adsorbe les entéro-toxines produites par certaines souches d'*Escherichia coli*, de *Staphylocoques* et de *Vibrio cholerae*, ce qui peut être attribué à la présence de tanins dans la caroube (Batlle et Tous, 1997). La caroube est aussi utilisée dans le sirop de toux à cause de ses effets expectorant (Merzouki et al., 1997; Amico et source, 1997).

I.6.4. Autres utilisations des produits de la caroube

Le *Ceratonia siliqua* est une espèce à la fois forestière et arboricole, offrant une grande diversité d'utilisations socio-économiques et écologiques, toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines, sont utiles et bénéfiques dans différents domaines (Aafi, 1996).

Outre sa résistance à la sécheresse et sa tolérance à la pollution de l'air, il est fréquemment employé en tant que plante d'ombre et d'ornement le long des routes, (Benmahioul et al., 2011), ainsi que pour prévenir l'érosion, la dégradation des sols et la désertification (Batlle et Tous, 1997).

Le bois du caroubier appelé carouge dur à grain fin, très apprécié en ébénisterie pour la fabrication d'ustensiles et la production de combustible tel que le charbon, (Rivière et Leco, 1900), le tourteau de caroube broyé ou haché est aussi utilisé comme substitut de la tourbe pour les plantes en pépinière (Rishani et Rice, 1988).

L'écorce et les racines sont employées dans le tannage (**Haddarah, 2013**) particulièrement dans l'achèvement et l'émaillage des peaux (**Batlle et Tous, 1997**), et également dans la teinture des textiles, la production d'encre et de colorants naturels.

Quand aux fleurs, elles sont utilisées par les apiculteurs pour la production du miel de caroube (**Gharnit, 2003**).

I.7. Contre-indication et effets indésirables

Avant d'entreprendre toute cure, y compris l'utilisation de produits naturels, il est recommandé de demander l'avis d'un médecin ou d'un professionnel qualifié ayant connaissance de vos antécédents médicaux et de vos éventuelles intolérances.

Certains chercheurs ont signalé que les extraits de germe de graine de caroube peuvent entraîner une diminution de l'activité trypsique (**Filioglou et Alexis, 1987**), ainsi qu'une réduction de la digestibilité des protéines (**Filioglou et Alexis, 1989**). Cependant, il convient de noter que les substances anti nutritives telles que les inhibiteurs de la trypsine, qui sont généralement présentes dans les graines des légumineuses, peuvent être désactivées par chauffage.

Par ailleurs, l'utilisation de fibres de caroube pour épaissir les préparations pour nourrissons peut entraîner une réduction de la disponibilité des minéraux tels que le calcium et le fer (**Bosscher, 2001**). De plus, le germe de graine de caroube contient des tanins qui peuvent donner un goût astringent et affecter la palatabilité des aliments. Les tanins peuvent également réduire la digestibilité des aliments en se liant directement à certaines parties des protéines ou en inhibant de manière non compétitive les enzymes digestives (**Filiglou et Alexis, 1989**).

I.8. Technologie de fabrication de la poudre de caroube

I.8.1. Technologie de fabrication de la farine de caroube

I.8.1.1. Réception et traitement de la matière première

La récolte des gousses de caroube s'étend généralement du mois de juillet jusqu'au mois de septembre. Les gousses ou parfois les graines brutes sont transportées à l'usine de concassage pour subir des traitements.

Le traitement des gousses de caroube débute par un triage, au cours duquel les gousses en bon état et non endommagées sont sélectionnées. Ensuite, elles sont lavées soigneusement à l'eau afin d'éliminer toutes les impuretés, telles que la saleté, la terre ou la poussière. Par la suite, les gousses peuvent être soumises à un processus de séchage, que ce soit par exposition au soleil ou par des méthodes mécaniques (**Batlle et Tous, 1997**).

I.8.1.2. Concassage

Dans le cadre d'un procédé classique, les gousses de caroube sont soumises à un processus de séchage d'une durée approximative d'un mois. Par la suite, elles sont écrasées dans des machines d'égrenage, généralement des broyeurs à marteaux, équipés d'une série de tamis qui permettent de trier les morceaux cassés en fonction de leur taille. Les graines sont ensuite séparées des morceaux de cosses (Gousses) de taille similaire en utilisant un flux d'air qui permet de séparer les graines de la pulpe (**Dakia, 2003**).

I.8.1.3. Torréfaction

La torréfaction de la poudre de caroube est un processus qui est fortement affecté par la température et la durée de traitement. Le temps de torréfaction en particulier joue un rôle crucial dans la qualité globale du produit final, en affectant ses propriétés chimiques (**Şahin et al., 2009**).

Selon les résultats de l'étude menée par **Yousif et Alghzawi (2000)**, la meilleure combinaison de temps et de température pour la torréfaction de la caroube concassée est de 150°C pendant 60 minutes. Cette combinaison permet d'obtenir les caractéristiques sensorielles les plus optimales pour le produit final.

I.8.1.4. Broyage et tamisage

Pour obtenir de la poudre de caroube, un broyage des croquettes torréfiées ou non est nécessaire. Ce broyage peut être réalisé à l'aide d'équipements de broyage commerciaux tels que des broyeurs à marteaux motorisés, ou à l'aide d'équipements de broyage plus petits tels que des mortiers et des pilons pour un traitement manuel au niveau de la cuisine (**Batlle et Tous, 1997**). Ensuite, la poudre obtenue est tamisée à travers des tamis de différents calibres afin d'obtenir une consistance fine et d'ajuster le volume de la poudre selon les besoins, similaire à la texture du cacao.

I.8.1.5. Emballage

Selon les études menées par **Yousif et Alghzawi, (2000)**, il s'est avéré que les sacs en polyéthylène sont les plus adaptés pour emballer la poudre de caroube.

I.8.2. Technologie de la fabrication de la gomme de caroube

I.8.2.1. La gomme de caroube

La gomme de caroube, extraite de l'endosperme de la graine de caroube, est largement employée dans l'industrie alimentaire en tant qu'additif alimentaire E410. Son utilisation est courante dans la fabrication de glaces, où elle améliore la texture, la stabilité dans le temps et la résistance aux températures, tout en réduisant les effets de cristallisation de l'eau.

En dehors de l'industrie alimentaire, la gomme de caroube trouve également des applications dans diverses industries non alimentaires telles que les produits pharmaceutiques, les cosmétiques, les peintures, le cirage, les textiles et le papier (**Battle et Tous, 1997**).

I.8.2.2. Extraction et purification de la gomme de caroube

Tout d'abord, les gousses de caroube sont soumises à un processus de concassage ou les graines sont récupérées. Ensuite, les téguments qui entourent les graines sont éliminés. Pour cela, quatre procédés distincts peuvent être utilisés.

- **Procédé chimique** : ce premier procédé, consiste à carboniser les enveloppes coriaces à l'aide d'un traitement à l'acide sulfurique (**Wielinga, 1990**). Ensuite, les enveloppes sont soigneusement lavées et brossées pour éliminer tout fragment résiduel. Ce procédé permet d'obtenir une gomme de caroube blanche à la viscosité élevée (**Kawamura, 2008**).
- **Procédé thermique** : ce deuxième procédé, repose sur l'éclatement de l'enveloppe de la caroube en la chauffant à des températures élevées, atteignant au moins 550°C. Cela provoque le détachement partiel de l'enveloppe. Les fragments résiduels sont ensuite éliminés par un processus mécanique de frottement (**Wielinga, 1990**).

Les deux procédés mentionnés précédemment sont considérés comme agressifs car ils diminuent la capacité de la gomme de caroube à développer des viscosités élevées (**Pollard et al., 2008**).

- **Procédé mécanique:** en utilisant des broyeurs à marteaux ou d'autres équipements de décortilage et de dégermage, les téguments peuvent être séparés de l'endosperme de la graine. Dans ce cas, cette troisième méthode permet d'obtenir un endosperme pur et intact, et non mélangé avec les enveloppes et le germe (**Gillet, 2018**).
- **Procédé physique:** ce dernier procédé, consiste à tremper les graines dans une solution aqueuse suivie d'une congélation (**Gillet et al., 2014**). Ensuite, les radicules sont écrasées mécaniquement et éliminées par tamisage, laissant seulement les endospermes. Ces endospermes sont ensuite broyés en fines particules pour obtenir la gomme de caroube brute (**Gillet et al., 2014**).

Par la suite, la gomme de caroube subit un processus de purification (Clarification) dans le but d'éliminer les odeurs, les impuretés et les enzymes endogènes (**Da Silva et Gonçalves, 1990**).

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

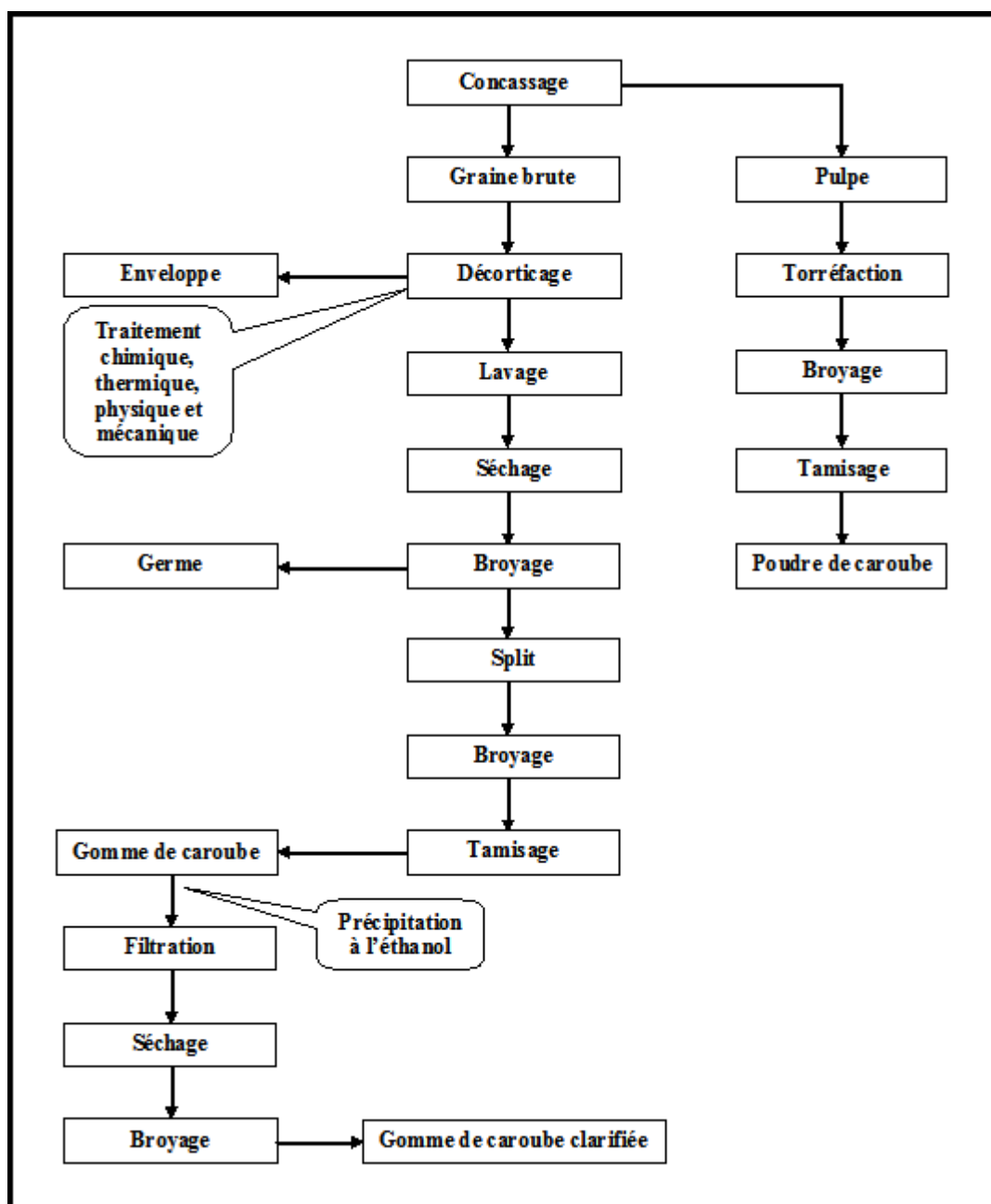


Figure 02. Processus d'extraction de la gomme et la poudre de caroube.

CHAPITRE II

LES PROBIOTIQUES ET LES PREBIOTIQUES

II.1. Probiotiques

II.1.1. Histoire des probiotiques

Les probiotiques ont une longue histoire qui remonte à l'époque néolithique, entre 5 000 et 10 000 ans avant J-C. Au début du XXe siècle, le chercheur russe Elie Metchnikoff a été le premier à suggérer que la modification de la flore microbienne intestinale pouvait permettre d'éviter « l'auto-intoxication intestinale ». Par la suite, il avait pour objectif de remplacer les bactéries potentiellement nuisibles par des bactéries utiles. C'est pourquoi il développa un régime alimentaire à base de lait, fermenté par une bactérie nommée le «*Bacille bulgare* ». (Guarner et al., 2008).

En 1917, avant la découverte de la pénicilline par Alexander Fleming, le professeur Allemand Alfred Nissle isola une souche non pathogène d'*Escherichia coli* à partir des selles d'un soldat de la première guerre mondiale qui n'avait pas développé d'entérocolite lors d'une épidémie sévère de shigellose. Les troubles du tractus intestinal étaient fréquemment traités par des bactéries vivantes non pathogènes pour modifier ou remplacer la flore microbienne intestinale. La souche d'*Escherichia coli* isolée par Nissle en 1917 est un des rares exemples de probiotique qui ne soit pas une bactérie lactique. En 1989, Roy Fuller a mis l'accent sur la nécessité de viabilité des probiotiques et a introduit l'idée qu'ils avaient un effet bénéfique sur l'hôte (Wgogg, 2011).

II.1.2. Définition des probiotiques

Le terme probiotique a vu le jour en 1965 par opposition aux antibiotiques. Il a été défini par Lilly et Stillwell comme des facteurs dérivés des micro-organismes et stimulant la croissance des autres micro-organismes (Dolié, 2018). Le terme probiotique dérive des 2 mots grecs "pros" et "bios" qui signifient littéralement "pour la vie" ou « en faveur de la vie », contrairement au terme antibiotique signifiant "contre la vie". Les probiotiques sont des micro-organismes vivants, telles que des bactéries ou des levures peuvent être ajoutés à certains produits alimentaires, tels que les yaourts, et sont vendus comme promoteurs de santé humaine. Selon la définition adoptée par l'OMS et la FAO en 2002, un probiotique est un microorganisme vivant qui, lorsqu'il est ingéré en quantité suffisante, il exerce un effet bénéfique sur la santé de l'hôte (FAO, 2002).

II.1.3. Classification des probiotiques

Les probiotiques se composent de bactéries ou de levures qui se trouvent naturellement dans le corps humain, principalement dans la flore digestive. On peut distinguer trois grands groupes de micro-organismes probiotiques (**Lignon et Chiny, 2013**).

II.1.3.1. Bactéries lactiques

Sont les plus abondantes parmi les probiotiques. Elles ont la capacité de digérer le lactose et de le transformer en acide lactique, qui est leur principal produit métabolique, entraînant une diminution du pH environnemental. Les genres couramment inclus dans cette catégorie sont *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* et *Pediococcus*.

II.1.3.2. Bactéries non lactiques

Telles que *Bacillus*, étaient auparavant utilisées dans la prévention et le traitement des diarrhées. Cependant, en raison du manque d'études démontrant leur efficacité, ces bactéries ont été progressivement abandonnées (**Bernier, 2010**).

II.1.3.3. Levures du genre *Saccharomyces*

Les levures *Saccharomyces cerevisiae* et *Saccharomyces boulardii*, retrouvées dans les produits fermentés comme la bière, les dérivés du lait et les yaourts, sont également des probiotiques. *Saccharomyces boulardii* est une levure tropicale, découverte en Indochine en 1923 par le scientifique français Henri Boulard. Celui-ci a isolé la levure à partir de divers fruits tropicaux (lychees, papaye) après avoir constaté que la population indigène utilisait la peau de ces fruits comme médicaments anti diarrhéiques. Le cytoplasme de *Saccharomyces boulardii* est riche en glycogène, en vitamines et en enzymes comme des lipases, des protéases, des disaccharidases (**Periti, 2001**).

Les souches utilisées comme probiotiques sont regroupées dans le (**Tableau III**).

Tableau III: Principales espèces microbiennes utilisées comme probiotiques (**Bernier, 2010**).

Genres	Espèces
<i>Lactobacillus</i>	<i>L. rhamnosus, L. acidophilus, L. casei, L. bulgaricus, L. gasseri, L. reuterii, L. plantarum, L. sporogenes</i>
<i>Bifidobacterium</i>	<i>B. longum, B. breve, B. infantis, B. bifidum, B. adolescentis</i>
<i>Lactococcus</i>	<i>L. cremoris, L. lactis</i>
<i>Enterococcus</i>	<i>E. faecium</i>
<i>Streptococcus</i>	<i>S. thermophilus</i>
<i>Pediococcus</i>	<i>P. acidilactici</i>
<i>Bacillus</i>	<i>B. subtilis, B. licheniformis, B. megaterium, B. clausii, B. laterosporus, B. pumilus</i>
<i>Saccharomyce</i>	<i>S. cerevisiae, S. cerevisiae var boulandi</i>

II.1.4. Probiotiques et santé

Différentes études ont confirmé les nombreux effets positifs des probiotiques. Ils interviennent dans la prévention et le traitement de diverses formes de diarrhée, y compris la diarrhée du voyageur et la diarrhée liée à la prise d'antibiotiques (**Beausoleil et al., 2007; McFarland, 2007**). Les probiotiques jouent également un rôle dans la diminution et le traitement de certaines infections gastro-intestinales (**Salminen et al., 2005**). Les probiotiques ont un impact positif sur la digestion des aliments et contribuent à réduire les symptômes de l'intolérance au lactose (**Nagpalet et al., 2007**). Ils possèdent également des propriétés antimicrobiennes grâce à la production de bactériocines (**Klaenhammer, 1988**). Certains probiotiques ont démontré leur capacité à prévenir des maladies chroniques telles que la maladie de Crohn, l'obésité et le diabète (**Schultz et al., 2004; Yadav et al., 2007**). Des recherches suggèrent également qu'ils pourraient jouer un rôle crucial dans la prévention du cancer du côlon (**Wollowski et al., 2001**). Ils contribuent également à la modulation du système immunitaire et au renforcement de la muqueuse intestinale (**Matsuzaki et Chin, 2000; Madsen, Cornish et al., 2001**).

Tableau IV: Les principaux effets bénéfiques attribués aux probiotiques (Salminen et al., 2004; Patterson, 2008).

Effets intestinaux	Effets sur le système Immunitaire	Autres effets
<p>Contrôle des troubles suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mauvaise digestion du lactose. -Diarrhée due aux rotavirus et Diarrhée-associée aux antibiotiques. -Syndrome du côlon irritable. -Constipation. -Infection par <i>Helicobacter pylore</i>. -Prolifération bactérienne dans l'intestin grêle. -Maladies inflammatoires chroniques de l'intestin. -Prévention de l'entérocolite Nécrosante du nouveau-né. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modulation immunitaire. -Répression des réactions allergiques par réduction de l'inflammation. -Réduction des risques d'infection par des agents pathogènes courants (Salmonella, Shigella). 	<p>Réduction du risque de :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Certains cancers (colorectal, vessie, col utérin, sein) -Coronaropathie. -Maladie des voies urinaires -Infection des voies respiratoires supérieures et infections connexes - Réduction du cholestérol sérique et de la pression artérielle.

II.2. Prébiotiques

II.2.1. Définition des prébiotiques

Le terme de prébiotique a été récemment introduit par Gibson et Roberfroid en 1995 (**Gibson, 1995**). Il désigne un ingrédient alimentaire non digestible par l'hôte mais stimulant sélectivement la croissance et / ou l'activité de certaines bactéries du côlon comme par exemple les bifidobactéries. (**Zamora-Vega et al., 2012**).

II.2.2. Critères de sélection des prébiotiques

Les critères suivants sont utilisés pour déterminer la classification d'un composé en tant que prébiotique.

- ✓ Le premier critère stipule que les prébiotiques ne sont pas digérés ou sont partiellement digérés dans les parties supérieures du tube digestif, ce qui leur permet d'atteindre le côlon. Où ils sont sélectivement fermentés par des bactéries potentiellement bénéfiques.
- ✓ Le prébiotique doit être capable de résister aux conditions de transformation alimentaire, de rester inchangé, non dégradé ou chimiquement altéré, et de rester disponible pour le métabolisme bactérien dans l'intestin (**Markowiak, 2017**).
- ✓ Il doit être résistant aux différentes enzymes du tube digestif.
- ✓ Être bénéfique pour la santé de l'hôte.
- ✓ Capable d'être fermenté par le microbiote intestinal, ce qui permet de stimuler sélectivement la croissance et/ou l'activité des bactéries intestinales. Ce processus améliore la santé de l'hôte (**Davani, 2019**).

II.2.3. Prébiotiques les plus communs

Les prébiotiques sont des glucides alimentaires ayant des structures moléculaires variées. Ils sont fermentés par un nombre limité de bactéries potentiellement bénéfiques présentes dans la microflore colique résidente. L'objectif est d'améliorer la composition du microbiote colique, ce qui peut avoir des effets bénéfiques sur la santé de l'organisme hôte (**Gibson, 1995**). Les principaux glucides qui répondent aux critères des prébiotiques sont de type : les fructo-oligosaccharides (FOS), l'inuline, les galacto-oligosaccharides (GOS)

et le lactulose. Ces prébiotiques sont aujourd'hui bien reconnus au Japon, en Europe et aux Etats Unis (Bodinier et Gourbeyre, 2012).

- **Les fructo-oligosaccharides**

Les fructo-oligosaccharides sont des polymères de D-fructose associés par des liaisons α - $(1\rightarrow2)$ avec un résidu D-glucose en bout de chaîne lié en β - $(1\rightarrow2)$ (Figure 03). Ils sont obtenus par hydrolyse de l'inuline ou par conversion enzymatique du saccharose ou du lactose (Ricke, 2015). Les fructo-oligosaccharides sont indigestibles et atteignent le colon où ils sont métabolisés par la flore microbienne en acide lactique et en acides gras à courte chaîne. Ils stimulent la croissance des Bifidobacteries et inhibent celle de *Clostridium perfringens* (Won Yun, 1996; Tambara et al., 1999).

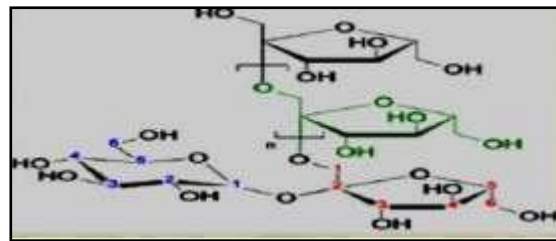


Figure 03. Fructo-oligosaccharides (FOS) (Martin, 2009).

- **L'inuline**

C'est un ensemble de polymère de β -fructose, avec des liaisons de type β $(2\rightarrow1)$, il appartient à la famille des fructo-oligosaccharides. Ce glucide résiste à l'hydrolyse et il n'est pas absorbé dans l'intestin grêle, mais il peut être dégradé par la flore colique (Mosera et al., 2014). On le retrouve naturellement dans divers aliments tels que le blé, les oignons, les bananes, le miel, l'ail et les poireaux. Il peut également être extrait de manière industrielle à partir de la chicorée ou synthétisé à l'aide d'enzymes à partir du sucrose (Wgo, 2011; Mosera et al., 2014).

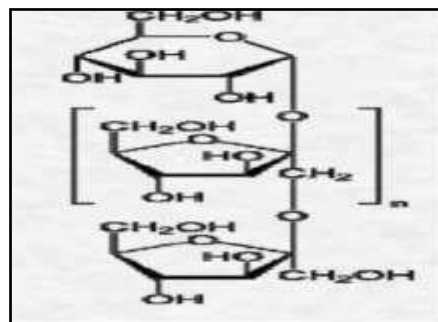


Figure 04. L'inuline (Martin, 2009).

- **Les Galacto-oligosaccharides**

Le GOS a été largement étudié en tant que prébiotique et son effet prébiotique a été scientifiquement prouvé. La croissance des bifidobactéries est étroitement liée à la disponibilité de glucides complexes appelés oligosaccharides GOS. Certains oligosaccharides, en raison de leur structure chimique, résistent aux enzymes digestives et par conséquent atteignent le gros intestin. C'est pourquoi les prébiotiques sont utilisés comme facteurs bifidogènes dans le domaine de l'alimentation, car ils ont la capacité de ne pas être dégradés dans l'estomac et l'intestin grêle (**Crociani et al., 1994**).

- **Les Galacto-oligosaccharides humains naturels du lait maternel**

Le lait maternel renferme des quantités significatives d'oligosaccharides contenant du galactose, appelés oligosaccharides humains naturels du lait maternel (OHM). Ces oligosaccharides ont démontré leur effet bifidogène et sont clairement associés, chez les nourrissons allaités, à une protection contre les épisodes de diarrhées (**Morrow et al., 2004**). Les OHM sont extrêmement complexes et il est impossible de les produire synthétiquement et de les ajouter aux laits artificiels. Cependant, une étude clinique a démontré que le remplacement des laits artificiels par un mélange de GOS et de FOS, qui présente certaines similitudes en termes de poids moléculaire avec les OHM, entraîne un développement de bifidobactéries dans les selles des nourrissons (**Boehm et al., 2002; Moro et al., 2002; Schmelzle et al., 2003**).

Tableau V: Les aliments riches en prébiotiques (Kleessen et al., 2007).

ALIMENTS RICHES EN PREBIOTIQUES		
LEGUMES	Ail +++ Artichaut +++ Asperge ++ Betterave + Brocoli + Châtaigne Chicorée +++ Chou + Echalote	Endive + Fenouil Haricot vert Oignon ++ Panais ++ Pissenlit + Poireau ++ Tomate
LEGUMINEUSES	Lentille + Flageolet Pois chiche +	Haricot noir Haricot rouge +
FRUITS	Ananas + Banane + Coing Fruits rouges (framboise +, fraise, myrtille, mûre) Fruits secs (raisin, abricot, pruneau, figue, dattes) Kaki	Mangue Nectarine + Pamplemousse + Pêche + Poire Pomme
GRAINS	Avoine (gluten) Blé entier ++ (gluten) Lin	Orge (gluten) Seigle ++ (gluten) Chicorée ++
RACINES	Panais	Topinambour ++
OLEAGINEUX	Amandes, pistaches, noix	

II.2.4. Prébiotiques et santé

La consommation des prébiotiques présente plusieurs bienfaits pour la santé. Des études ont démontré une amélioration de la fonction colique en général et une réduction de la constipation et de la diarrhée et un meilleur contrôle des agents pathogènes. Il existe un intérêt croissant pour la modulation du système immunitaire à l'aide de prébiotiques, tant chez l'homme que chez l'animal que cet effet soit direct ou indirect (Desreumaux et al., 2000). Selon Roberfroid (2000) et Conway (2001), les effets positifs de la consommation de prébiotiques sont :

- **Modulation de la flore intestinale** : ils favorisent la croissance des bactéries bénéfiques dans l'intestin, en particulier les bifidobactéries. Cela contribue à maintenir un équilibre sain de la flore intestinale et à renforcer la barrière intestinale.
- **La réduction de la diarrhée et de la constipation** : ils renforcent la barrière intestinale en améliorant la production de mucus et en renforçant les jonctions entre les cellules épithéliales, ce qui réduit le passage de substances nocives à travers la paroi intestinale.

- **Améliorer l'absorption des nutriments** : les prébiotiques favorisent l'absorption de certains nutriments, tels que le calcium et le magnésium, en améliorant l'activité des bactéries bénéfiques dans l'intestin.
- **La réduction du risque d'allergie** : les prébiotiques peuvent aider à renforcer le système immunitaire en favorisant la production de certaines substances, telles que les cytokines, qui jouent un rôle clé dans la réponse immunitaire.
- **Réduction du risque de maladies chroniques** : des études suggèrent que la consommation de prébiotiques peut aider à réduire le risque de certaines maladies chroniques, telles que l'obésité, le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires et certains types de cancer tels que le cancer du côlon.
- **Effet sur la physiologie humaine** : par amélioration de la santé des os (absorption du calcium, résorption osseuse), diminution du poids corporel et diminution de la masse grasseuse.
- **Amélioration de la santé mentale** : il existe des indications que les prébiotiques peuvent avoir un impact positif sur la santé mentale en favorisant l'équilibre de la flore intestinale, ce qui peut influencer le fonctionnement du cerveau et le bien-être émotionnel.

Étude expérimentale

Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude est de produire une boisson fermentée aux probiotiques à base de caroube. Pour cela des analyses physico-chimiques, un suivi de fermentation et une analyse sensorielle ont été réalisés au niveau de deux laboratoires physicochimiques, l'un au département des sciences alimentaire, l'autre au niveau du département de biologie à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou UMMTO.

1. Matériel

1.1. Matériel biologique

1.1.1. Caroube *Ceratonia siliqua*

Les gousses de caroubier *Ceratonia siliqua* utilisées dans cette étude, provenaient de l'institut technique de formation spécialisée en agriculture, anciennement connu sous le nom de l'ITMAS, situé à Boukhalfa, dans la Wilaya de Tizi-Ouzou. Ces gousses ont été récoltées au mois d'août 2022 et ont été ensuite conservées dans des sacs à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à leur utilisation.

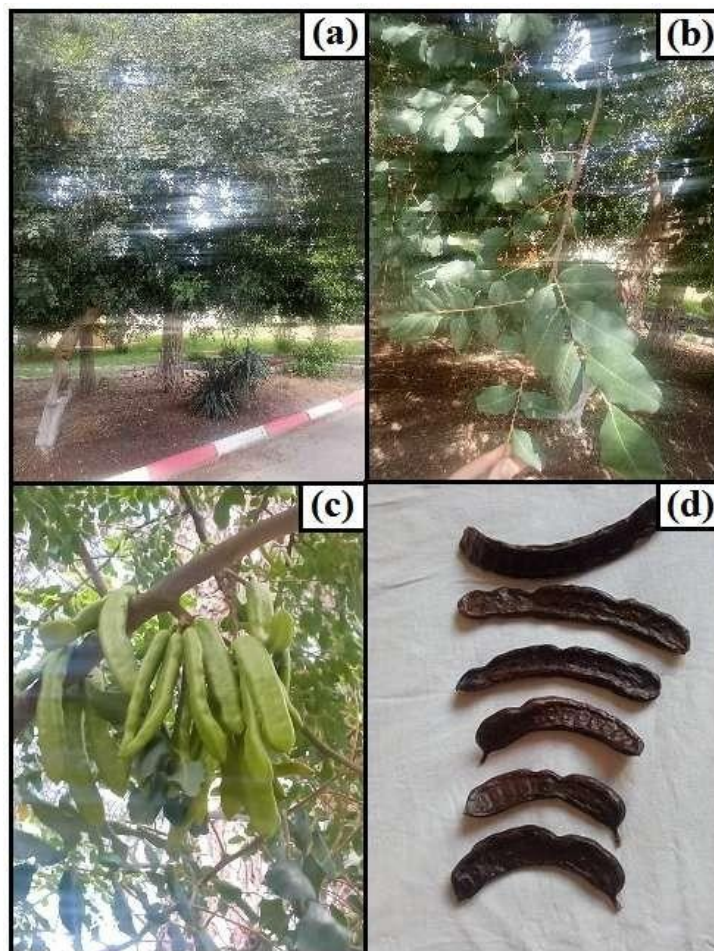


Figure 05. (a). Arbre du caroubier *Ceratonia siliqua*, (b). Feuilles du caroubier, (c). Gousses du caroubier avant maturité, (d). Gousses de caroubier mures.

1.1.2. Levure et bactéries

Les levures de types Saccharomyces et les bactéries lactiques utilisées dans cette étude ont été fournies par l'entreprise « laiterie » Tassili, située à Draa Ben Khedda, Wilaya de Tizi-Ouzou. Ces souches ont été repiquées stérilement sur gélose OGA et MRS respectivement et conservées à 4°C.

1.1.3. Lait écrémé et eau glucosée

Le lait écrémé « Candia silhouette » a été utilisé pour cultiver les bactéries lactiques, il a été utilisé sous sa forme liquide pour réaliser la phase de préculture. De l'eau glucosée stérile a été utilisée pour cultiver la levure Saccharomyces.

1.2. Matériel non biologique

Le matériel, les appareils, les verreries et les produits utilisés dans cette étude sont répertoriés dans l'Annexe I.

2. Méthodes

2.1. Préparation de la poudre de caroube

Les gousses de caroubes ont été nettoyées, lavées et séchées naturellement au soleil, puis concassées et séparées de leurs graines. Ensuite, la pulpe a été broyée et tamisée, puis conservée dans des boîtes à l'abri de la lumière et de l'humidité à une température ambiante jusqu'au moment de l'analyse.

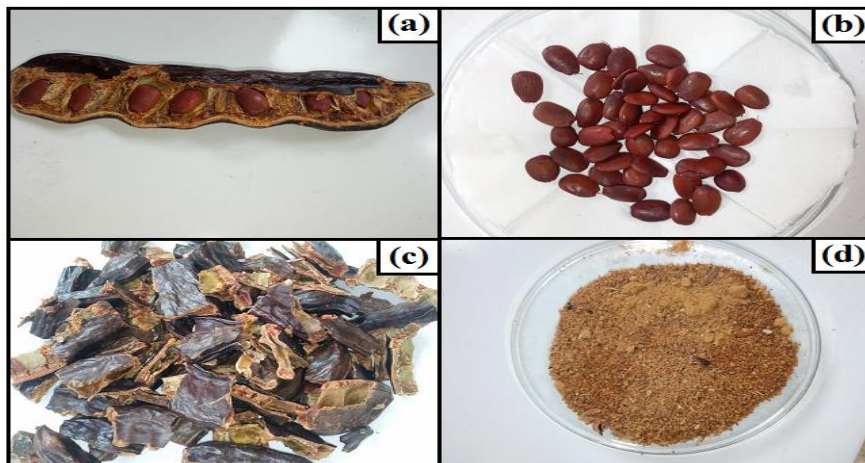


Figure 06. (a). Coupe transversale d'une gousse de caroube *Ceratonia siliqua*, (b). Graines de caroube, (c). Gousses de caroube concassées, (d) Poudre de caroube

2.2. Préparation de la boisson de caroube

Après une série d'essais préliminaires, le choix s'est porté pour un ratio de 25% en caroube. Par la suite, différentes proportions de probiotiques ont été choisies pour les formulations de boisson à fermenter à savoir : 1%, 2%, 3%, 4% et 5%. Ces teneurs en probiotiques étaient un mélange de 80% de bactéries lactiques et 20% de levures *Saccharomyces*. Une boisson à 0% en probiotiques comme témoin a été préparée aussi.

2.3. Protocole de l'expérimentation

Préparation de six (6) flacons contenant 25g de la poudre de caroube dans 100ml d'eau distillée suivi d'un mélange vigoureux et d'une stérilisation à l'autoclave. Après stérilisation, les mélanges sont refroidis et inoculés en probiotiques à différentes concentrations 1%, 2%, 3%, 4% et 5%. Après inoculation, les flacons sont mis sur une table d'agitation pendant une période de 30min pour homogénéiser les solutions à la température ambiante. Après homogénéisation, les flacons sont placés dans une étuve à une température de 37°C. La fermentation est suivie pendant deux jours (48 heures). Tout au long de cette période, des échantillons des cinq boissons sont régulièrement prélevés afin de suivre l'avancement de la fermentation. Les paramètres de fermentation suivis sont : le pH, le degré Brix, l'acidité titrable, ainsi que le dénombrement des micro-organismes.

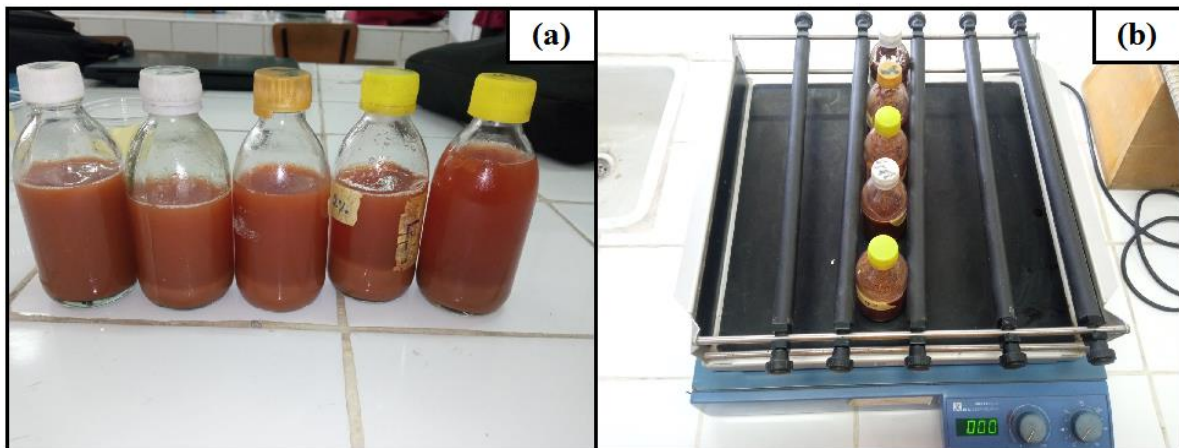


Figure 07. (a). Boissons après inoculation, (b). Agitation des boissons sur la table d'agitation.

2.4. Analyses physico-chimiques

2.4.1. Détermination de la matière sèche (Audigie et al., 1982)

a) Principe

On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve réglée à 105°C, sous la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Pour éviter toute reprise d'humidité il convient d'opérer dans des creusets en aluminium placés dans un dessiccateur.

b) Mode opératoire

- Introduire dans trois creusets 5g de la poudre de caroube.
- Placer les dans une étuve réglée à 105°C pendant trois heures.
- Après dessiccation, peser les trois creusets.

c) Expression des résultats

La teneur en eau (%) du matériel végétal est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{P1-P2}{P1} \times 100$$

Dont :

P1: Poids initial en (g) de la prise d'essai avant séchage.

P2 : Poids final en (g) de la prise d'essai après séchage.

A partir de la teneur en eau, on détermine le taux de la matière sèche qui est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de matière sèche (\%)} = 100 - \text{teneur en eau (\%)}$$

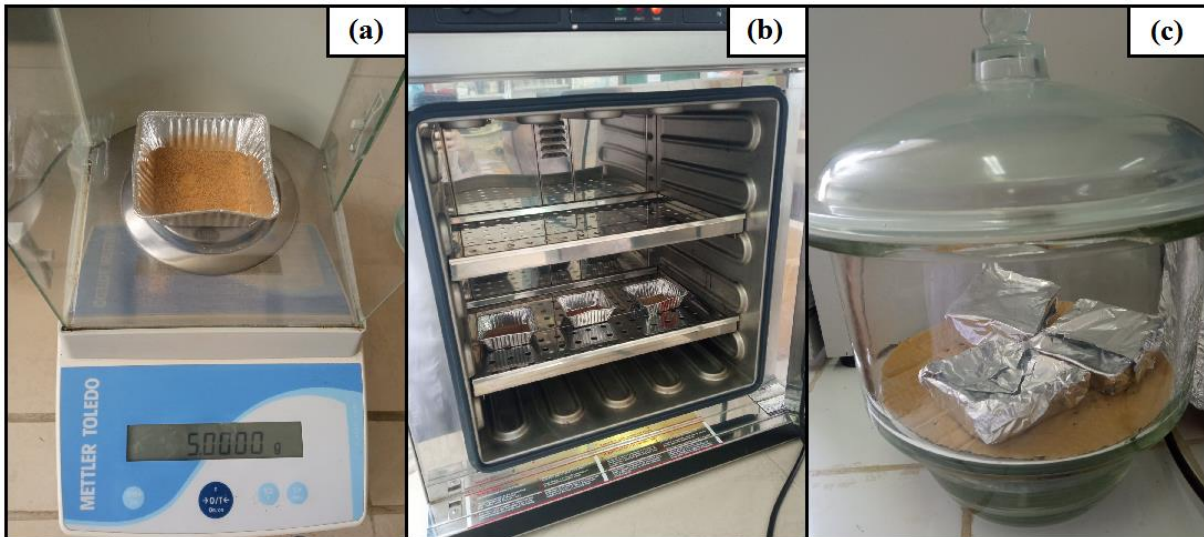


Figure 08. (a). La pesée de la poudre de caroube dans les creusets en aluminiums, (b). Introduction des creusets dans l'étuve, (c). Refroidissement des creusets dans le dessiccateur.

2.4.2. Détermination du taux de cendre (Matière minérale) (Audigie *et al.*, 1982)

a) Principe

Le principe consiste à une incinération de la poudre de caroube au four à moufle, dans des creusets en porcelaine, à une température de 550°C.

L'opération sera terminée lorsque la couleur des résidus deviendra blanche grisâtre, qui se transformera en une couleur blanche après refroidissement.

b) Mode opératoire

- Dans trois creusets en porcelaine (Après leurs prises de poids (**m0**)), introduire 5g de la poudre de caroube dans chacun (**m1**).
- Déposer l'ensemble dans un four à moufle réglé à 550°C, pendant quatre heures.
- Après dessiccation, on pèse les trois creusets avec les cendres (**m2**).

c) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés selon la formule suivante:

$$Tc (\%) = \frac{m2 - n0}{m1 - n0} \times 100$$

Dont :

Tc : Taux de cendres en %.

m0 : La masse du creuset vide en (g).

m1 : La masse du creuset et l'échantillon avant séchage en (g).

m2 : La masse de creuset et l'échantillon après séchage en (g).

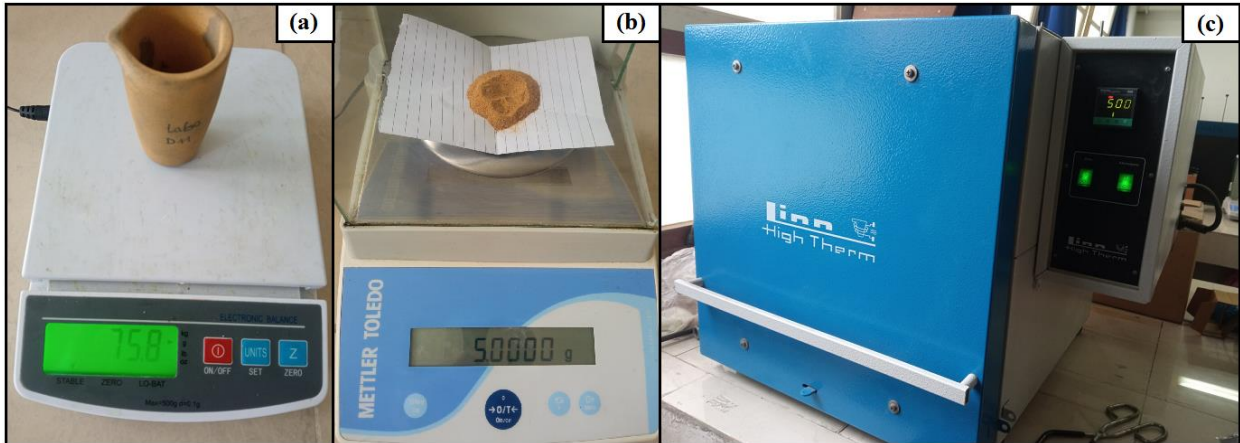


Figure 09. (a). La pesée des creusets en porcelaines, (b). La pesée de la poudre de caroube, (c). L'incinération des trois creusets dans le four à moufle.

2.4.3. Détermination du taux de matière grasse (ISO 659,1998)

a) Principe

La matière grasse a été extraite par le solvant organique (Hexane), avec un appareil de type Soxhlet, le solvant est évaporé, l'échantillon est séché puis pesé.

b) Mode opératoire

- Dans une cartouche cellulosique, introduire 5g de poudre de caroube et recouvrir à l'aide d'un coton puis la placer à l'intérieur de l'extracteur.
- Dans un ballon en verre (Après la prise de son poids (**P1**)), verser 250ml de l'hexane.
- Le solvant est chauffé à une température de 100°C jusqu'à son point d'ébullition pendant 4heures.
- Après l'extraction, le solvant est séparé puis récupéré à l'aide du rota vapeur, le résidu obtenu est séché dans une étuve réglée à 37°C pendant 24heures.
- Après séchage, on pèse le ballon contenant les lipides (**P2**).

c) Expression des résultats

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$MG (\%) = \frac{P1}{P2} \times 100$$

Dont :

MG : Taux de matière grasse.

P1 : Poids du ballon vide.

P2 : Poids du ballon avec la graisse.

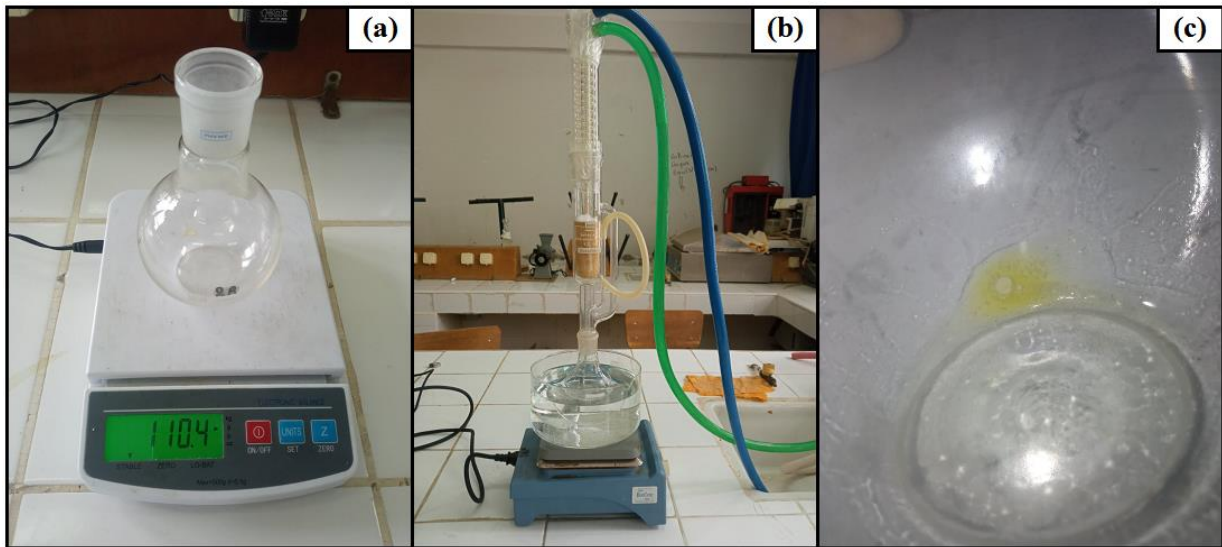


Figure 10. (a). La pesée du ballon avant l'extraction, (b). L'extraction de la matière grasse avec l'appareil de Soxhlet, (c). La matière grasse obtenue après l'extraction.

2.4.4. Détermination de la teneur en sucre totaux

a) Principe

La méthode de **Dubois et al. (1956)**, permet de doser les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré, en présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune-orange dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des glucides, la densité optique est déterminée à 490 nm.

b) Mode opératoire

Dans trois tubes à essai, on met successivement 0,2g de la poudre de caroube, 1ml de phénol à (5%) et 5ml d'acide sulfurique (96%). Les tubes sont laissés reposer pendant 10 min à température ambiante. Afin de déterminer la concentration en sucre, il est nécessaire d'établir une gamme d'étalonnage. Celle-ci a été préparée par 6 concentrations connues du glucose (0-0,2-0,4-0,6-0,8-1 mg/ml). Les résultats sont exprimés en gramme équivalent glucose par 100 g de matière sèche.



Figure 11. (a). Préparation de la gamme d'étalonnage, (b). Dilution de la gamme d'étalonnage et des échantillons, (c). Lecture au spectrophotomètre.

2.4.5. Détermination de la teneur en polyphénols

a) Principe

Le dosage des polyphénols a été effectué par le réactif colorimétrique Folin-ciocalteu selon la méthode de **Singleton et al., (1999)**. L'ensemble des composés phénoliques est oxydé par le réactif de Folin-ciocalteu. Ce dernier, est de couleur jaune, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique qui sont réduits lors de l'oxydation des phénols en mélange d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène. La coloration bleue produite est proportionnelle aux taux de composés phénoliques, et possède une absorbance maximale à 760 nm.

b) Mode opératoire

- **Extraction des polyphénols**

20g de poudre de caroube ont été extraits par macération sous agitation magnétique pendant 24 heures avec du solvant : éthanol/eau (70/30 : v/v). Les macéras ont été ensuite filtrés sur du papier wattman n°3, l'extraction est refaite deux fois avec renouvellement du solvant.

- **Dosage par la méthode de Folin-Ciocalteu**

Un volume de 0,2ml de la solution éthanolique de chaque extrait est mélangé avec 1ml du réactif Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois avec l'eau distillée) dans des tubes à essai. Un volume de 0,8 ml de la solution aqueuse de carbonate de sodium (Na_2CO_3), à une concentration de 75g/L est ajouté. Après homogénéisation et incubation à température ambiante pendant 1 heure, l'absorbance est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 750 nm. Par la suite, une courbe standard d'étalonnage par l'acide gallique à différentes concentrations (0-0,2 mg/ml) est préparée. La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par g d'extrait sec (Singleton *et al.*, Collin et Crouzet, 2011).

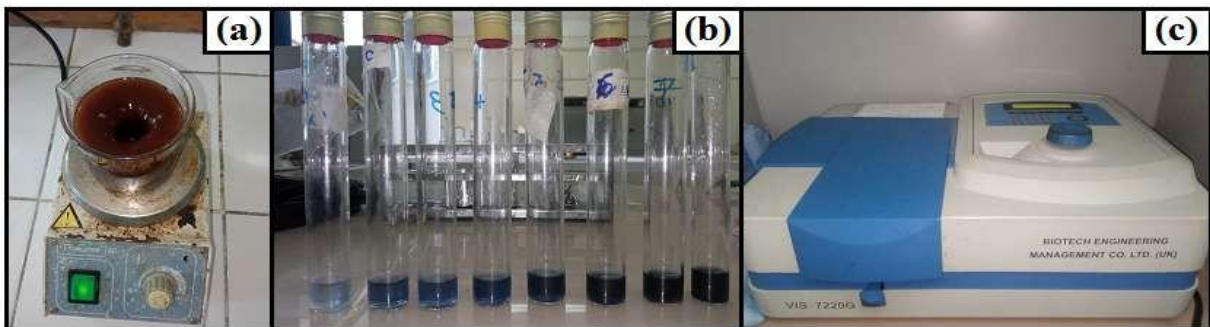


Figure 12. (a). Extraction des polyphénols, (b). Dosage des polyphénols par le réactif Folin-Ciocalteu, (c). Lecture au spectrophotomètre.

2.4.6. Détermination de la teneur en protéine (Kjeldahl, 1883)

a) Principe

Pour déterminer la quantité des protéines dans la poudre de caroube, on procède à un dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl (1883), qui s'effectue en trois phases : digestion, distillation, titration. Cette méthode permet de convertir l'azote organique total en sulfate d'ammonium par la forte action de l'acide sulfurique et la chaleur ainsi que la présence d'un catalyseur pour accélérer la réaction.

b) Mode opératoire

Tout d'abord la phase de digestion qui s'effectue à l'aide de l'acide sulfurique, cela permet de convertir l'azote organique présent dans les protéines en azote minéral et la présence de deux catalyseurs CuSO_4 (Sulfate de cuivre), K_2SO_4 (Sulfate de potassium) à chaud jusqu'à ce que le mélange vire du noir vers le vert clair.

Après refroidissement à température ambiante, viendra la deuxième étape nommée distillation qui consiste à mélanger l'échantillon avec une solution alcaline,

de la soude caustique (NaOH) dans un ballon, pour libérer l'ammoniac. La vapeur d'ammoniac est piégée dans une solution d'acide borique à l'aide du réfrigérant pour former de l'acide borique d'ammonium.

La dernière étape qui est la titration, consiste à titrer l'ammoniac qui est capturé par l'acide borique avec une solution standard d'acide sulfurique, cela permet de déterminer la quantité d'ammoniac formé, qui est liée à la teneur en azote de l'échantillon. La couleur de la solution obtenue vire du vert à la couleur initiale d'acide borique.

c) Expression des résultats

La teneur d'azote est donnée par la loi suivante :

$$\text{Protéine totale (\%)} = 6,25 \times \text{Azote totale (\%)}$$

2.5. Analyses de suivi de fermentation

2.5.1. Détermination du pH

a) Principe

Les mesures de pH sont effectuées, à une température ambiante, selon les méthodes standards avec un pH-mètre étalonné avec des solutions tampons pH4 et pH7 (**Lapointe-Vignola, 2002**).

b) Mode opératoire

- Verser 10ml de chaque échantillon « boisson » (0%-1%-2%-3%-4%-5%) dans différents béchers.
- Introduire l'électrode du pH-mètre dans chaque échantillon.
- Lire la valeur directement sur le pH-mètre (**Benamara, 2017**).

2.5.2. Détermination de l'acidité titrable

a) Principe

La méthode de dosage de l'acidité des boissons par titrage à l'hydroxyde de sodium NaOH 0,1 N mesure la quantité d'acide présente dans l'échantillon. Cette acidité provient de la fermentation du lactose par les micro-organismes. Elle est exprimée en millilitre (ml) ou en degré DORNIC (°D) (**Lapointe-Vignola, 2002**).

b) Mode opératoire

- Dans un bécher de 100ml, introduire 10ml de chaque échantillon (0%-1%-2%-3%-4%-5%) et 10 ml d'eau distillée.
- Ajouter 4 gouttes d'indicateur coloré (phénolphtaléine) à la solution.
- Remplir la burette graduée avec la solution titrante (hydroxyde de sodium (NaOH)).
- Commencer à ajouter la solution titrante goutte à goutte tout en mélangeant manuellement jusqu'à ce que la solution change de couleur en rose, c'est le point de virage.
- Noter le volume de la solution titrante ajoutée à l'échantillon.

c) Expression des résultats

L'acidité exprimée en acide lactique est donnée par la relation suivante :

$$AT \text{ (ml)} = \frac{V \text{ (NaOH)} \times [\text{NaOH}]}{V \text{ (échantillon)}}$$

Dont :

AT : Acidité titrable en (ml).

V (NaOH) : Volume de NaOH utilisé.

[NaOH] : La concentration de NaOH utilisé.

V (échantillon) : Volume de l'échantillon.

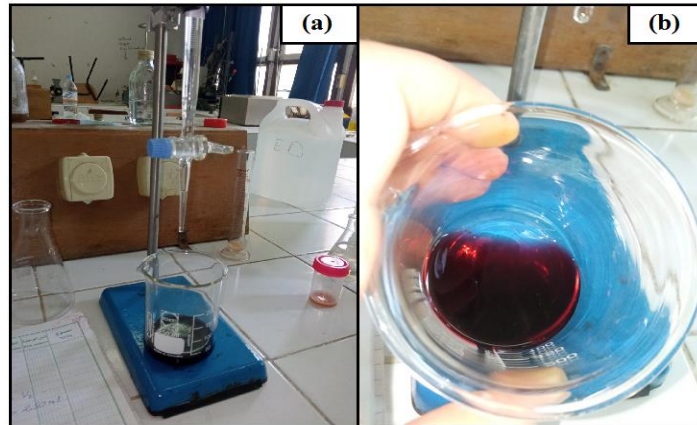


Figure 13. (a). Titrage des boissons, (b). Apparition de la couleur rose.

2.5.3. Détermination du degré Brix (°Brix)

a) Principe

La détermination de l'indice Brix est réalisée en mesurant l'indice de réfractométrie d'une solution.

b) Mode opératoire

- Placer quelques gouttes de chaque échantillon (0%-1%-2%-3%-4%-5%) sur le prisme du réfractomètre.
- Fermez délicatement le couvercle du réfractomètre pour répartir l'échantillon sur le prisme.
- Orienter l'appareil vers la lumière et regarder à travers l'oculaire du réfractomètre et lire la valeur indiquée sur l'échelle du réfractomètre ou se trouve la ligne de réfraction.

2.5.4. Détermination du nombre de bactéries et levures

a) Principe

La cellule de Malassez (ou Hématimètre de Malassez) est un hématimètre qui permet de compter le nombre de cellules en suspension dans une solution (vivantes ou non). Il s'agit d'une lame de verre sur laquelle un quadrillage a été gravé de 100 rectangles (10x10) contenant eux-mêmes 20 petits carrés. Elle a été inventée par Louis-Charles Malassez.

b) Mode opératoire

- Diluer l'échantillon à analyser avec de l'eau distillée.
- Grâce à une micropipette, remplir la chambre de comptage avec la suspension bien homogénéisée, en plaçant la pointe de la micropipette entre la lamelle et la cellule de Malassez.
- Placer la cellule de Malassez sur la platine du microscope et attendre 10 minutes pour que les cellules sédimentent avant de réaliser le comptage.
- Observer au microscope (objectif $\times 40$) et compter les cellules présentes dans les carrés quadrillés.

c) Expression des résultats

Calculer le nombre de cellules par ml selon la formule suivante :

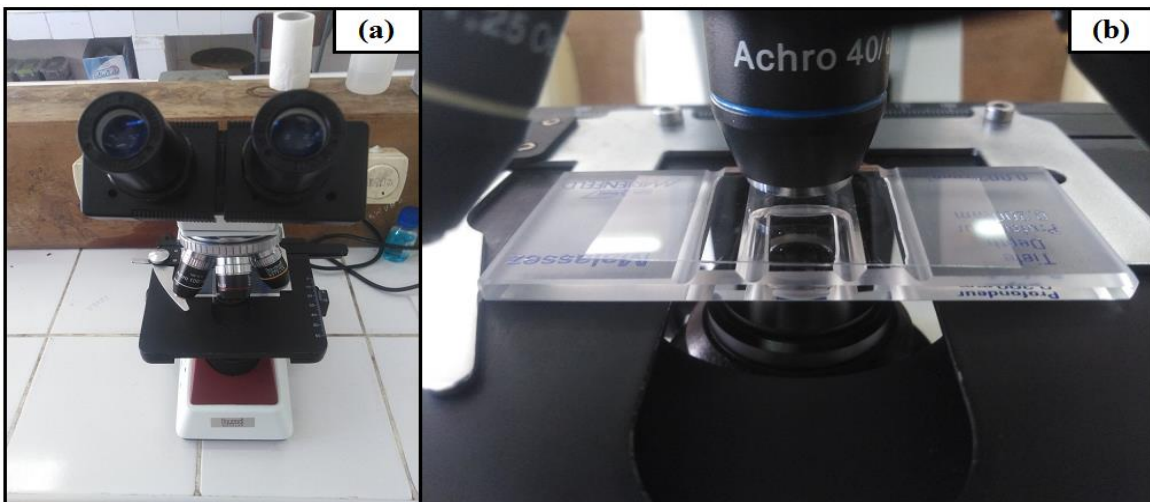
$$N = \frac{X}{V} C / \text{ml}$$

Dont :

N : nombre des cellules par mm^3 « c/ml ».

X : nombre des cellules comptées dans un petit carré.

V : volume d'un petit carré qui égale à $5 \times 10^8 \text{ml}$.



Figures 14. (a). Observation au microscope optique, (b). Cellules de Malassez contenant la suspension.

2.6. Analyse sensorielle

Les boissons sont évaluées du point de vue sensoriel après un jour de conservation au réfrigérateur avec ajout d'une tranche de citron, une dilution de 50% et une correction du taux de sucre par ajout d'une cuillère à café de miel. Un panel de dégustateur constitué d'un mélange de 30 étudiants et enseignants est sélectionné. Chaque panéliste reçoit les échantillons de boisson anonyme (chaque échantillon est codé par un code d'une lettre). Les échantillons sont présentés de manière homogène ; tous les facteurs extrinsèques aux échantillons (quantité présentée, contenant...) sont homogènes. Entre chaque dégustation, le dégustateur doit se rincer la bouche avec de l'eau potable afin d'éliminer le goût résiduel de l'échantillon précédent. La disposition des dégustateurs a été faite de façon qu'il n'y ait pas de communication entre les dégustateurs.

Les boissons sont analysées en termes de goût, acidité, effervescence, couleur, profil de saveur, consistance et appréciation globale de la boisson. Des échelles ont été utilisées pour noter les sensations perçues lors de l'évaluation sensorielle.

Fiche de dégustation de la boisson fermentée

Nom : _____ Prénom : _____

Tests	Sensations ressenties	A	B	C	D	E	6
Gout	Mauvais						
	Moyen						
	Bon						
	Très bon						
Acidité	Faible						
	Modérée						
	élevée						
Effervescence	Faible						
	Modérée						
	élevée						
Couleur	Ambre						
	Brun foncé						
	rougeâtre						
Profil de saveur	Lactique						
	Fruitée						
	Epicée						
	Aucune						
Consistance	Liquide						
	Légèrement épaisse						
	épaisse						
Appréciation globale de la boisson	Médiocre						
	Moyenne						
	Bonne						
	Très bonne						

Ambre couleur : Sa couleur varie du jaune clair au brun rougeâtre

Figure 15. Fiche de dégustation de la boisson fermentée.

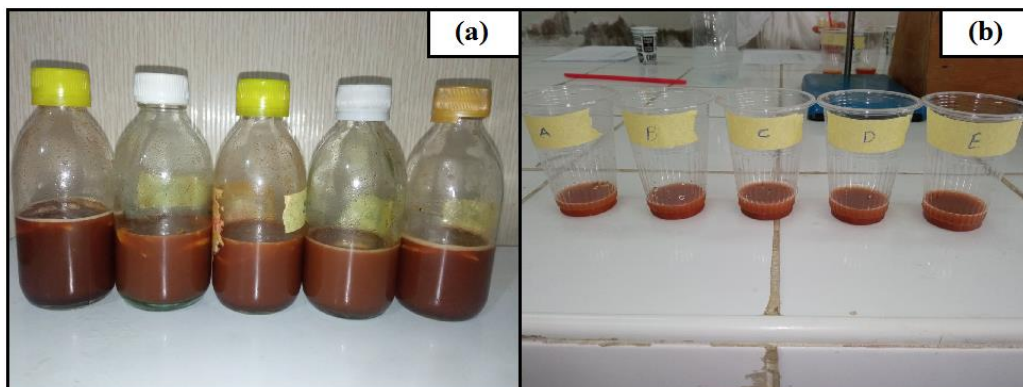


Figure 16. (a). Ajout de rondelles de citrons aux boissons, (b). Filtration des boissons et l'ajout du miel.

2.7. Analyse statistique

Les résultats de l'analyse sensorielle ont été traités à l'aide du logiciel STATISTICA 7. Une analyse statistique qualitative a été faite par le test de Khi deux. Lorsque les conditions du test de Khi deux ne sont pas vérifiées, l'analyse statistique s'est faite par le test exact de Fisher « F».

Résultats et discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de caroube sont présentés dans le (Tableau VI).

Tableau VI : Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre de caroube.

Paramètres	Teneurs en (%)
Taux d'humidité	10,6
Taux de cendre	2,6
Taux de matière grasse	0,8
Taux de sucre totaux	46
Taux de polyphénol (mg EAG/g MS)	81
Taux de protéine	6

La composition chimique de la pulpe de caroube varie selon les facteurs génétiques, environnementaux, les facteurs climatiques et la saison de récolte. Le type de plante (mâle, femelle ou hermaphrodite) et le cultivar influencent de manière significative la composition chimique et les activités biologiques de la pulpe de caroube (**Brassesco et al., 2021**).

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, montrent que la teneur en humidité est de 10,6% ce qui correspond à une teneur en matière sèche de l'ordre de 89,4%. Ces valeurs sont en accord avec celles rapportées dans la littérature par **Gaouar (2011)**, qui mentionne une teneur en humidité de 10 à 13% (correspondant à une teneur en matière sèche de 87 à 90%), ainsi que par **Brassesco et al., (2021)**, qui rapportent une teneur en humidité de 6 à 11%. La différence de teneur en humidité entre les poudres de caroube est attribuée aux différences entre les cultivars de caroube, la durée de maturation, les précipitations, l'humidité et d'autres conditions environnementales, et le temps de récolte et de stockage (**Iipumbu et al., 2008**). Les gousses ont généralement des taux d'humidité entre 10 et 20 % lorsqu'elles sont encore à l'état frais (**Battle et al., 1997**). Le séchage à un taux d'humidité inférieur à 10 % est suggéré pour éviter la pourriture des gousses avant le traitement (**Battle et al., 1997**).

Quant à la teneur en cendre les résultats ont montré une teneur de 2,6%. Ces résultats sont en accord avec les résultats rapportés par **Gaouar (2011)**, qui a également trouvé des taux de cendres compris entre 1,83% et 2,67%. Cette valeur peut être due aux conditions climatiques, les caractères édaphiques des sols ainsi que de la récolte (**Bezzala, 2005**). Plusieurs auteurs ont démontrés que les teneurs en cendres présentes dans la poudre de caroube variait entre 2% et 6% selon le type de caroube (**Yousif et Alghzawi et al., 2000**). Les cendres fournissent une estimation de la teneur en minéraux tels que le calcium, le potassium, le phosphore, le magnésium, le Fer, etc. Les minéraux sont importants pour de nombreuses fonctions

biologiques dans l'organisme et leur contribution à la santé (**Ribeiro et al., 2008**). Le calcium et le phosphore sont des minéraux abondants dans le squelette humain. Certaines déformations physiques et certains dysfonctionnements peuvent être observés lorsque le corps n'est pas alimenté en calcium et en phosphore en quantité suffisante. D'autres minéraux participent à la régulation des systèmes métabolique et circulatoire. Moins de 10 µg d'oligo-éléments (Cu, Cr, Fe, Fr, Mn, Se, Si, I et Zn) sont nécessaires quotidiennement, tandis que plus de 100 µg de macroéléments (Ca, Cl, K, Mg, Na, P et S) sont nécessaires quotidiennement dans l'alimentation humaine (**Nielsen et al., 1994**). P, Mn, K, Na, Zn, S, N, Cl, Mg, B, Co, Ca, P, Fe, Cu sont signalés comme étant présents dans les caroubes avec des niveaux formés avec différences dans les cultivars et les conditions de transformation (**Fidan et al., 2015**).

Le résultats de la matière grasse est de 0,8%, ce qui est supérieur à ce qui est mentionné dans les publications de **Oziyci et al., (2014)** qui ont trouvé une teneur comprise entre 0,21 % et 0,23 %. Cette différence entre les résultats peut s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que l'origine géographique des échantillons, les conditions climatiques, la diversité entre les variétés de caroubiers, ainsi que la récolte et le stockage utilisées, les différences étant largement dues à la variation génétique des gousses (**Yousif et al., 2000**). L'étude de **Ayaz et al., (2009)**, a montré que la pulpe de caroube contient plus d'acides gras insaturés que d'acides gras saturés, ce qui lui confère la propriété de maintenir un taux de cholestérol sain et de réduire le risque de maladies cardiovasculaires.

Les résultats de l'analyse du taux de sucres totaux dans la poudre de caroube, tels que mentionné dans le tableau, ont révélé une concentration en sucre de 46%. Ces résultats sont proches à ceux trouvées par **Biner et al., (2005)**, qui ont obtenu une teneur en sucre de l'ordre de 53,1%. Des études effectuées par **Avallone et al., 1997** confirment la présence de proportions élevées en sucres dans la pulpe par rapport à la graine de caroube. De nombreux facteurs dont les méthodes d'extraction et de quantification, les différences de variétés de gousses de caroube, les localisations géographiques et l'origine des fruits contribuent aux variations des profils de sucre des gousses de caroube (**Gubbuk et al., 2010**).

Les sucres contenus dans les gousses de caroube sont presque entièrement du saccharose, du glucose et du fructose (**Biner et al., 2007; Kumazawa et al., 2002**), le saccharose représentant jusqu'à 70 % des sucres totaux (**Zografakis et al., 2002**). Des teneurs allant jusqu'à 95% de saccharose des sucres totaux sont retrouvées dans la littérature (**Bravo et al., 1994**). Cela fait des gousses de caroube une bonne source de saccharose et peut

potentiellement contribuer à la production commerciale de saccharose avec la canne à sucre et la betterave à sucre. En raison de sa teneur élevée en saccharose, la pulpe de caroube est utilisée dans les aliments, en particulier dans les confiseries et autres produits au goût sucré (**Bravo et al., 1994; Biner et al., 2007**). Les types de caroube cultivée et sauvage ont généralement des rapports similaires entre les sucres individuels et la teneur totale en sucre (**Bravo et al., 1994**). La caroube est intéressante pour les personnes diabétiques car elle exerce un effet hypoglycémique. Elle participe au contrôle et à la réduction du taux de sucre dans le sang (**Tabatabai et Li, 2000; Gruendel et al., 2007**).

Quant aux résultats de l'analyse du taux de polyphénols dans la poudre de caroube, indiquent une teneur de 81mg EAG/g MS, ce qui est supérieur aux valeurs rapportées par **Gaouar (2011)**, qui étaient de l'ordre de 5,67mg EAC/g MS et 50,9mg EAG/g MS, ainsi qu'aux valeurs trouvées par **Avallone et al., (1997)**, qui étaient d'environ 1,19mg EAG/g MS. Cette différence observée peut être expliquée par des facteurs tels que la provenance géographique, le cultivar, la variété et surtout le degré de maturité des échantillons. Cela a été prouvé par les études menées par **Abi Azar (2007)**. Les composés phénoliques sont des métabolites végétaux secondaires biologiquement actifs qui agissent comme antioxydants, antibactérien et antifongique (**Ben Hsouna et al., 1986**). Les phénols végétaux ont généralement des effets bénéfiques sur la santé humaine en raison de leur capacité à moduler les protéines et de leurs propriétés antioxydantes (**Sakakibara et al., 2003**). Leurs effets bénéfiques comprennent également les effets antiallergiques, la prévention des maladies coronariennes et la prévention du cancer, ils agissent contre le stress oxydatif au niveau des cellules du colon (**Klenow et al., 2009**) ainsi que la vaso-relaxation (**Harborne et al., 1989**).

Les polyphénols végétaux intéressent les scientifiques depuis des décennies. Ils contribuent à la pigmentation des plantes et sont impliqués dans la reproduction, la croissance et la résistance des plantes aux prédateurs en raison de leur capacité à augmenter l'astringence alimentaire et à agir comme des phytoalexines, protégeant ainsi les cultures de la peste et de la germination des graines avant la récolte (**Vinson et al., 2001**).

En ce qui concerne les protéines, les résultats obtenus révèlent un taux de 6%. Cette valeur est similaire aux résultats rapportés dans d'autres études, notamment par **Gaouar (2011)**. Les protéines sont les éléments constitutifs de presque toutes les cellules vivantes et sont vitales pour le fonctionnement biologique normal de la cellule (**Nielsen et al., 1994**). La teneur en

protéines de la caroube diffère entre les variétés et les pratiques agricoles (Iipumbu et al., 2008).

Les recherches menées par Yousif et Alghzawi et al., (2000) indiquent que l'acide aspartique était l'acide aminé le plus abondant (4,13mg/g poids sec) suivi par l'alanine (2,76mg/g poids sec). En comparaison, la quantité de la paire cystéine-méthionine était faible, et la lysine (0,26mg/g poids sec) était l'acide aminé le moins abondant parmi la paire d'acides aminés précédents. Riche en acides aminés, la caroube est un ingrédient excellent dans l'alimentation des sportifs, car ils favorisent l'augmentation de la masse musculaire, la synthèse de collagène et la production de glycogène (Flynn et al., 2002).

2. Résultats du suivi de la fermentation

Le suivi de fermentation de la boisson 3% n'a pas pu se faire, du fait de son extrême effervescence qui a causé l'explosion du flacon lors de son ouverture après 24h de fermentation.

2.1. Résultats du Degré Brix

Les résultats des analyses de suivi de fermentation des boissons formulées sont présentés dans les figures ci-dessous :

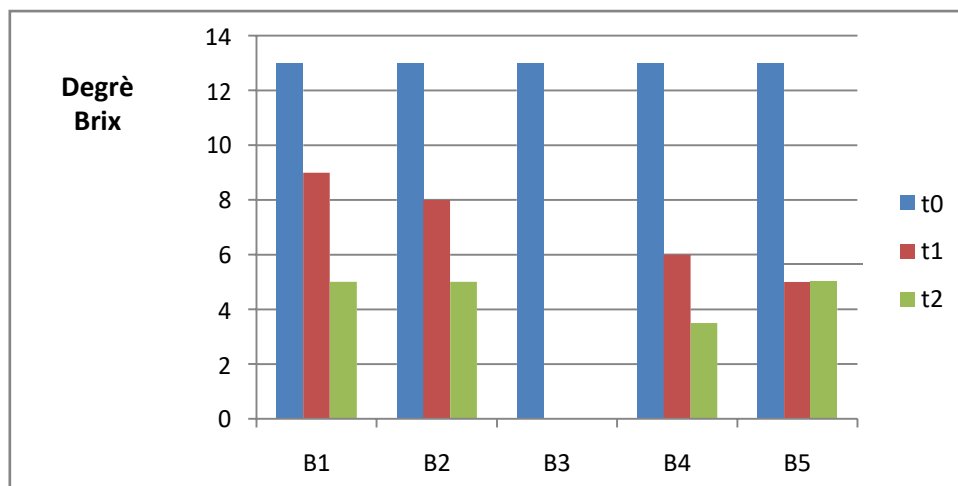


Figure 17. Evolution du degré Brix des boissons de caroube aux probiotiques en fonction du temps de fermentation.

Le degré Brix, avant le début des fermentations était de 13 °B pour toutes les boissons. D'après la figure 17 on observe une évolution inversement proportionnelle de ce taux de sucre en fonction du temps ; c'est-à-dire plus le temps de fermentation avance plus le taux de sucre diminue, ce phénomène est identique pour toutes les formulations. Au bout de 24h de

fermentation, les boissons 1, 2, 4 et 5% sont passées à un degré Brix de 9, 8, 6 et 5 respectivement. Après 48h de fermentation, il est observé la poursuite de la chute du taux de sucre pour toutes les boissons qui passent à 5, 5, 3,5, 5 °B respectivement. La réduction du degré Brix des boissons peut être attribuée à une fermentation partielle de sucre.

Pendant la fermentation, les micro-organismes utilisent les sucres présents dans la boisson comme source de carbone pour leur métabolisme énergétique. Dans le cas des levures, comme *Saccharomyces cerevisiae*, les sucres sont métabolisés par la voie fermentaire, où ils sont décomposés en éthanol et en dioxyde de carbone. Ce processus est connu sous le nom de fermentation alcoolique. L'éthanol contribue aux propriétés sensorielles de la boisson fermentée, notamment son goût, son arôme et sa perception de chaleur. La présence d'éthanol peut également influencer la stabilité microbiologique de la boisson en inhibant la croissance d'autres micro-organismes indésirables (Fleet, 2003).

D'autre part, les bactéries lactiques présentes dans la boisson utilisent les sucres résiduels produits par la fermentation alcoolique pour leur propre métabolisme. Elles fermentent ces sucres en acides organiques, principalement en acide lactique. Cette fermentation lactique contribue à l'acidification de la boisson et peut influencer ses propriétés sensorielles, notamment en apportant une saveur acidulée caractéristique (Granato et al., 2010; Tamang et al., 2016).

2.2. Résultats du nombre de cellules de microorganismes

Les résultats de l'évolution de la croissance des probiotiques des différentes boissons sont résumées dans la figure ci-dessous :

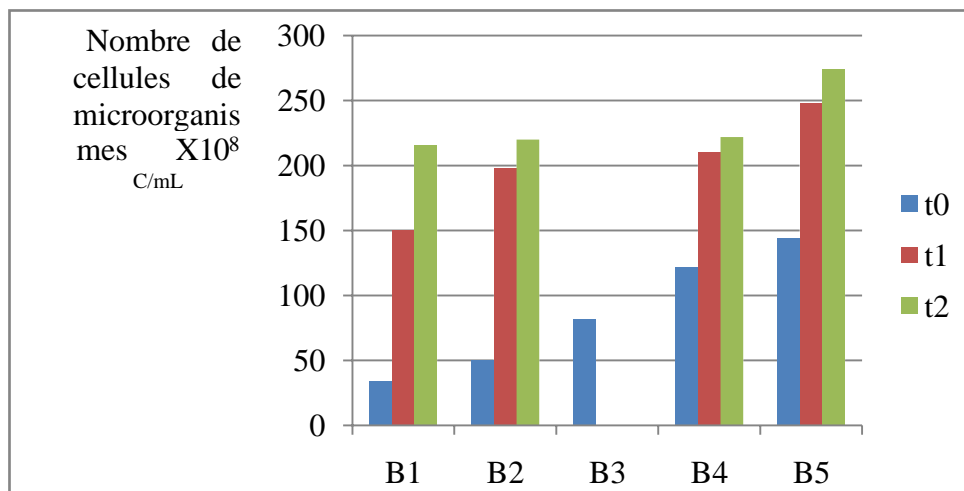


Figure 18. Evolution du nombre des probiotiques dans les différentes boissons pendant la fermentation.

Le nombre de cellules des bactéries lactiques et des levures variait entre les différentes boissons. Le nombre était de 34×10^8 , 50×10^8 , 82×10^8 , 122×10^8 , 144×10^8 c/ml pour les boissons 1, 2, 3, 4 et 5% respectivement. Cette variation est proportionnelle au taux d'inoculation. La figure 18 montre une évolution positive en fonction du temps pour toutes les boissons, ce qui signifie qu'il y a croissance et multiplication des microorganismes. Après 48h de fermentation, le nombre de cellules est passé à 216×10^8 , 220×10^8 , 222×10^8 et 274×10^8 c/ml pour les boissons 1, 2, 4 et 5%. Cette augmentation de cellules est due à leur capacité à se reproduire et à se multiplier en utilisant les nutriments disponibles dans la boisson. Les probiotiques ont des besoins nutritionnels spécifiques, tels que des sources de carbone, d'azote et d'autres nutriments essentiels. Les sucres présents dans la boisson fermentée, tels que les glucides de caroube, peuvent servir de sources de carbone pour les bactéries lactiques et les levures. Les micro-organismes utilisent ces sucres comme substrats pour leur métabolisme énergétique et leur croissance. Au fur et à mesure que la fermentation progresse, les probiotiques métabolisent les nutriments disponibles, produisant de l'énergie et des métabolites spécifiques. Cela favorise leur reproduction et leur croissance, entraînant une augmentation du nombre de cellules dans la boisson (De Vuyst et al., 2014). Il est important de noter que plusieurs facteurs peuvent influencer la croissance des probiotiques, notamment la composition du milieu de fermentation, les conditions de pH, la température, la présence d'autres micro-organismes et les interactions entre eux. Il est donc essentiel de maintenir des conditions de fermentation optimales pour favoriser la croissance des probiotiques.

2.3. Résultat du pH et de l'acidité titable

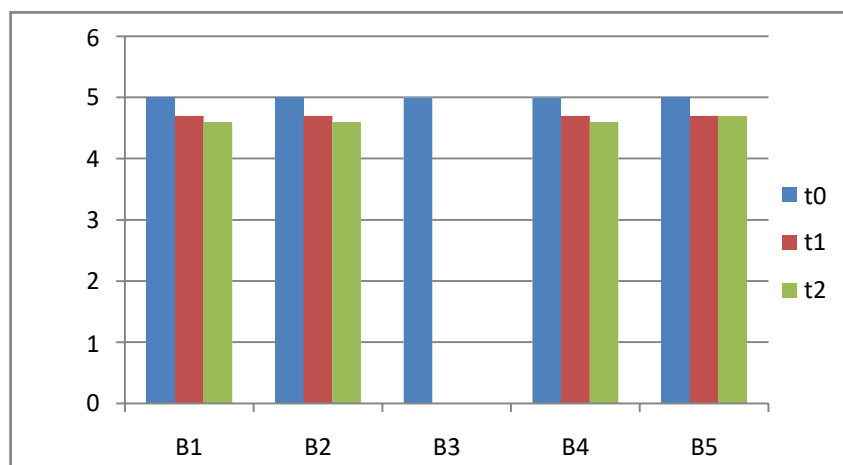


Figure 19. Evolution du pH dans les différentes boissons pendant la fermentation.

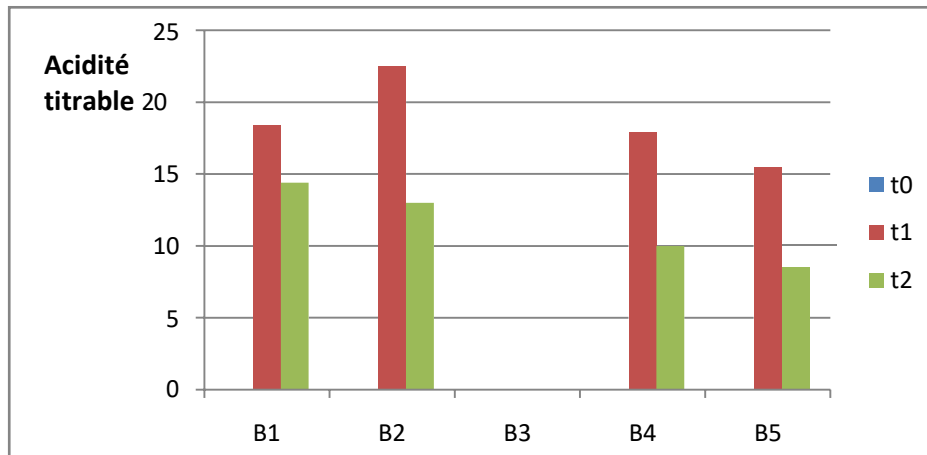


Figure 20. Evolution de l'acidité titrable dans les différentes boissons pendant la fermentation.

Les résultats obtenus révèlent que toutes les boissons analysées avant le début de fermentation présentaient un pH constant de 5, indiquant ainsi une similarité dans leur niveau d'acidité. De plus, le taux d'acidité titrable était de 0 ml pour toutes les boissons, suggérant l'absence d'acidité mesurable dans ces échantillons. Après 24h de fermentation, les résultats indiquent un pH de 4,7 identique à toutes les formulations. On observe aussi la formation d'acide lactique pour toutes les formulations cependant le taux d'acidité titrable varie entre elles ; 22,5ml, 18,4 ml, 17,9 ml et 15,5 ml pour les boissons 1, 2, 4 et 5% respectivement. Après 48h de fermentation, le pH subit encore une très légère baisse pour les formulations 1, 2, 4 % avec une valeur de 4,6 quant à la formulation 5%, le pH n'a pas changé et est de 4,7. Les taux d'acidité titrable sont à la baisse par rapport au premier jour de fermentation et sont variables entre les différentes boissons à savoir 14,4ml, 13ml, 10 ml et 8,5ml pour 1, 2, 4 et 5% respectivement.

Une diminution du pH, qui est l'une des variables utilisées pour caractériser les propriétés des milieux et du produit fini, ainsi qu'à des fins de contrôle de qualité, a été observée pendant la période de fermentation. Cette diminution est expliquée par la production des levures *Saccharomyces cerevisiae* d'alcool et de gaz carbonique, ce qui entraîne l'acidification du milieu (Abedi et Hashemi, 2020) ; Ce processus métabolique libère des ions d'hydrogène (H⁺), ce qui entraîne une augmentation de l'acidité de la solution. Les ions H⁺ acidifient la solution, ce qui fait baisser le pH, simultanément à la production d'alcool, *Saccharomyces cerevisiae* libère du CO₂, le gaz carbonique se dissout partiellement dans la solution, formant de l'acide carbonique (H₂CO₃) en présence d'eau. L'acide carbonique se dissocie en ions H⁺ et

bicarbonate (HCO_3^-), contribuant à l'acidification de la solution et à la baisse du pH. L'ampleur de cette baisse de pH dépendra de facteurs tels que la concentration initiale de sucres, le type de levure utilisée, la température de fermentation et les autres micro-organismes présents dans le milieu de fermentation (**Flotte, 2003**). Parallèlement, l'acidité titrable qui est un support pour d'autres éléments contribuant au goût. Elle influe sur la sensation gustative chez le consommateur. Elle est conférée par la présence d'acides organiques libre ou combinés sous forme de sels. Ces acides jouent également un rôle de conservateur par l'abaissement du pH (**Alavoine et al., 1988**) ce qui explique les valeurs observées du premier jour au deuxième jour de fermentation.

La stabilisation du pH tandis que l'acidité titrable continue d'évoluer pendant la fermentation peut être expliquée par les processus biochimiques spécifiques qui se produisent au cours de la fermentation. L'acidité titrable mesure la quantité totale d'acides présents dans une solution, tandis que le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution. Pendant la fermentation, les micro-organismes, tels que les bactéries lactiques, produisent des acides organiques, comme l'acide lactique, par métabolisme des sucres (**Gibson et al., 2007**). Au début de la fermentation, lorsque les micro-organismes commencent à métaboliser les sucres, la production d'acides organiques augmente rapidement, ce qui entraîne une augmentation de l'acidité titrable. Cela se traduit par une baisse du pH de la solution, car les acides organiques sont des composés acides. Cependant, au fur et à mesure que la fermentation progresse, les micro-organismes continuent de consommer les sucres disponibles dans la boisson, produisant des acides organiques en quantité moindre. En même temps, ils peuvent également métaboliser les acides organiques déjà présents dans la solution, les dégradant en d'autres composés. Ces processus de métabolisme des acides organiques et de consommation des sucres disponibles conduisent à une stabilisation du pH de la solution. Bien que l'acidité titrable puisse continuer à évoluer en raison de la production et de la consommation d'acides organiques, la diminution de la production d'acides organiques entraîne une diminution moins prononcée de l'acidité totale (**Gänzle, 2015**). Il convient de noter que la stabilisation du pH peut également être influencée par d'autres facteurs, tels que la régulation des systèmes tampons présents dans la boisson, qui aident à maintenir le pH relativement constant malgré les variations de l'acidité totale. Il est important de noter que les interactions entre les micro-organismes présents dans la boisson fermentée peuvent également jouer un rôle dans la stabilisation du pH. Par exemple, certaines bactéries lactiques peuvent

métaboliser les acides organiques produits par d'autres micro-organismes, contribuant ainsi à l'équilibre des niveaux d'acidité (Shah, 2017).

3. Résultats des analyses sensorielles

Tableau VII : Score de dégustation et résultats statistiques des analyses sensorielles.

Gout	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Mauvais	10%	20%	50%	26,66%	70%	0,000	12
Moyen	50%	50%	33,33%	33,33%	16,66%		
Bien	36,66%	26,66%	13,33%	36,66%	10%		
Très Bien	3,33%	3,33%	3,33%	3,33%	3,33%		
Acidité	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Faible	70%	56,66%	46,66%	50%	63,33%	0,000	08
Modérée	30%	33,33%	30%	28,33%	23,33%		
Elevée	0%	10%	23,33%	21,66%	13,33%		
Effervescence	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Faible	83,33%	73,33%	76,66%	80%	60%	0,000	08
Modérée	16,66%	26,66%	20%	10%	23,33%		
Elevée	0%	0%	3,33%	10%	16,66%		
Couleur	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Ambre	36,66%	40%	23,33%	23,33%	30%	0,000017	08
Brun foncé	36,33%	46,66%	66,66%	66,66%	60%		
Rougeâtre	26,66%	13,33%	10%	10%	10%		
Profil de saveur	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Lactique	26,66%	20%	23,33%	33,33%	30%	0,025	12
Fruité	13,33%	53,33%	50%	60%	53,33%		
Epicée	3,33%	6,66%	10%	0%	0%		
Aucune	56,66%	20%	16,66%	6,66%	16,66%		
consistance	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Liquide	80%	80%	73,33%	66,66%	50%	0,025	12
Légèrement épaisse	16,66%	20%	23,33%	30%	46,66%		
Épaisse	3,33%	3,33%	3,33%	3,33%	3,33%		
Appréciation globale de la boisson	A	B	C	D	E	Probabilité (P)	Ddl
Médiocre	10%	6,66%	33,33%	20%	40%	0,000	12
Moyenne	53,33%	60%	53,33%	46,66%	33,33%		
Bonne	33,33%	30%	10%	23,33%	16,66%		
Très Bonne	3,33%	3,33%	3,33%	10%	16,33%		

Ddl: Degré de liberté.

A : boisson témoin (0%), **B :** boisson 1%, **C :** boisson 2%, **D :** boisson 4%, **E :** boisson 5%.

Les résultats statistiques montrent qu'il existe une différence significative entre les différentes boissons formulées et le témoin en termes de goût. Les résultats résumés dans le tableau VII montrent que 70% des dégustateurs ont trouvé la boisson E « boisson à 5% » comme celle qui a le goût le plus mauvais, ce qui peut être dû à la forte concentration en probiotiques. En revanche, 36,66 % des dégustateurs ont trouvé les boissons A (témoin) et D (4%) de bon gout. Pour le paramètre de l'acidité, les résultats statistiques ont montré une différence significative entre les différentes boissons avec 70 % des dégustateurs qui ont opté en faveur de la boisson A (témoin) comme étant la moins acide, ce qui peut être expliqué par le fait qu'elle soit sans probiotiques ; c'est une boisson d'un mélange d'eau et de poudre de caroube et donc sans fermentation et sans production d'acides. En revanche, 33% des dégustateurs ont trouvé la boisson B (1%) acide modérément.

D'après les résultats de l'évaluation de l'effervescence des boissons, il ressort que 83,33 % des dégustateurs considèrent que la boisson A (témoin) présente une effervescence trop faible et 16,66% des dégustateurs ont attribué l'effervescence la plus élevée à la boisson E (5%), ce qui peut être expliqué par la présence de probiotiques qui libèrent le CO₂ pendant la fermentation contrairement au témoin qui en est dépourvu de ces microorganismes. L'analyse statistique montre une différence significative entre les différentes boissons.

En ce qui concerne la couleur, les résultats statistiques indiquent l'existence d'une différence significative entre les formulations et le témoin avec 66,66 % de dégustateurs qui ont attribué la couleur « brun foncé » aux formulations C (2%) et D (4%) tandis que 36,33 % ont estimé que la boisson A (témoin) avait une couleur ambre.

Pour la saveur, les résultats statistiques montrent une différence significative entre les boissons. La majorité des dégustateurs ont voté en faveur du profil de la saveur fruitée présent dans toutes les boissons, avec 60 % pour la boisson D (4%), 53 % pour la E (5%) et B (1%), et 50 % pour la C (2%). Ce profil de saveur fruité est caractéristique de la levure *Saccharomyces cerevisiae* utilisé dans cette étude, qui produit des esters d'agrumes par le biais de ses métabolites secondaires. En revanche, cette saveur fruitée n'a pas été signalée significativement pour la boisson A (témoin), du fait qu'elle soit dépourvue de cette levure.

En ce qui concerne la consistance, les résultats statistiques ont révélé une différence significative des différentes boissons dégustées. 46,66 % des dégustateurs ont estimé que la boisson E (5%) était la plus épaisse, tandis que 80 % ont opté en faveur de la boisson A

(témoin) comme étant la plus liquide. Ces résultats sont cohérents étant donné l'absence de probiotiques dans la boisson A et leur concentration élevée dans la boisson E.

Les résultats statistiques ont montré une différence significative dans l'appréciation globale des boissons. La boisson préférée selon les dégustateurs est la B (1%), avec un pourcentage de 60 %, tandis que la boisson la moins appréciée est la E (5%). Ce résultat peut être attribué à la forte concentration de probiotiques présente dans cette dernière.

En résumé, une concentration élevée de probiotiques peut entraîner des caractéristiques sensorielles spécifiques, telles qu'une saveur plus acide ou des arômes particuliers, qui peuvent ne pas être appréciés par tous les dégustateurs. Certains probiotiques, lorsqu'ils sont présents en grande quantité, peuvent produire des composés aromatiques indésirables ou des sensations gustatives moins agréables. Par conséquent, une concentration plus faible en probiotiques peut donner une saveur plus équilibrée et une expérience sensorielle plus agréable pour certains dégustateurs. Les probiotiques utilisées lors de la fermentation peuvent produire une variété de composés aromatiques entraînant une complexité aromatique plus prononcée, ce qui peut être apprécié par certains amateurs de saveurs audacieuses. Cependant, d'autres dégustateurs peuvent préférer des arômes plus subtils et moins complexes, ce qui peut être obtenu avec une concentration plus faible en probiotiques (**Viljanen et al., 2019**).

Il est important de comprendre que les préférences sensorielles sont subjectives et peuvent varier d'une personne à l'autre. Ce qui est apprécié par certains peut ne pas l'être par d'autres.

Il est donc crucial de prendre en compte la diversité des goûts et des préférences des dégustateurs non entraînés lors du développement de produits alimentaires fermentés.

Conclusion

Les boissons fermentées aux probiotiques jouent un rôle de plus en plus important sur le marché actuel, en raison de l'intérêt croissant des consommateurs pour les aliments fonctionnels et les produits favorables à la santé. Ces boissons offrent une combinaison unique de bienfaits nutritionnels et de plaisir gustatifs.

L'objectif principal de cette étude était de formuler des boissons fermentées aux probiotiques à différentes concentrations (1%, 2%, 3%, 4%, 5%) avec une analyse sensorielle.

Les résultats des analyses physicochimiques de la poudre de la pulpe de caroube ont révélé sa richesse en sucres totaux (46%), en protéines (6%), en cendres (2,6%) et en polyphénols totaux (81 mg/g MS), ce qui en fait d'elle une ressource précieuse et prometteuse sur le plan nutritionnel. Les résultats du suivi de la fermentation ont montré une baisse du pH, une production d'acides organiques, une diminution de la concentration en sucre et une augmentation du nombre de bactéries lactiques et de levures. Les résultats des analyses sensorielles ont révélé des préférences variables des dégustateurs, cependant, la boisson à 1% de probiotiques a été la mieux notée en termes d'appréciation globale.

D'après tous ces résultats, on conclut qu'il est possible de valoriser la poudre de caroube pour produire une boisson fermentée aux probiotiques riche en minéraux et en polyphénols probablement bénéfique pour la santé. Cependant, il est recommandé d'ajouter un autre fruit pour les formulations dans le but d'améliorer le goût final.

En termes de perspectives et dans le but de compléter ce travail à l'avenir, il serait intéressant :

- D'étudier le profil nutritionnel de ces boissons fermentées.
- D'optimiser les concentrations en probiotiques.
- D'élargir le panel de dégustation et pourquoi pas un panel entraîné.
- Réaliser des études comparatives entre les boissons fermentées aux probiotiques et les boissons non fermentées.
- Effectuer des études sur les effets de cette boisson sur la santé humaine.

Références bibliographique

A

Aafi A., (1996). Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), centre nationale de la recherche forestière, Rabat (Maroc): 10.

Abedi E., et Hashemi S.M.B., (2020). Lactic acid production–producing microorganisms and substrates sources state of art. *Heliyon*, 6(10), e04974.

Abi Azar R., (2007). Complexations des protéines lactières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus, Agro Paris Tech Ecole Doctorale Abies, Thèse de doctorat, Liban. 1-196.

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

Alavoine F., Crochon M., Fady C., Favot J., Moras P., Pech J.C., (1988). La qualité gustative des fruits. Méthodes pratiques d'analyses, pp: 7-18.

Albanell E., (1990). Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua L.*) cultivadas en España. Tesis doctoral. Barcelona. España, pp. 209.

Amico F.P., et Sorce E.G., (1997). Medical plants and phytotherapy in mussomeli area (caltenisseta scily, Italy). *Fitoterapia*, 68: 143-159.

Atasoy A.F., (2009). The effects of carob juice concentrates on the properties of yoghurt. *International journal of dairy technology*, 62(2), 228-233.

Audigie C.L., et Dupont G., (1982). Principes des méthodes d'analyses biochimiques, Paris, pp. 566-567.

Avallone R., Plessi M., Baraldi M., et Monzani A., (1997). Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua L.*): protein, fat, carbohydrates and tannins. *Journal of Food Composition Anal.*, 10: 166-172.

Ayaz F.A., Torun H., Glew R.H., Bak Z.D., Chuang L.T., Presley J.M., et Andrews R., (2009). Nutrient content of carob pod (*Ceratonia siliqua L.*) flour prepared commercially and domestically. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64, 286-292.

B

Battle I., Tous J., (1997). Carob tree *Ceratonia siliqua L.*, Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute, pp. 91-97.

- Beausoleil M., Fortier N., Guénette S., L'ecuyer A., Savoie M., Franco M., Lachaine J., Weiss K., (2007).** "Effect of a fermented milk combining *Lactobacillus acidophilus* C11285 and *Lactobacillus casei* in the prevention of antibiotic-associated diarrhea: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial." *Canadian Journal*.
- Ben Hsouna A., Trigui M., et Jaoua S., (1986).** Evaluation of antimicrobial and antioxidant activities of the ethyl acetate extract of endemic *Ceratonia siliqua* leaves *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 34, N° 5, pp. 827-829.
- Bengoechea C., Romero A., Villanueva A., Moreno G., Alaiz M., Millan F., Guerrero A., Puppó M.C., (2008).** Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L) germ proteins. *Food Chemistry* 107,675–683.
- Benmahioul B., Kaïd-Harche M., Dagon F., (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranée*, pp. 51–58 t. XXXII n°1.
- Bernier L., (2010).** Les probiotiques en 2010: une revue de la littérature scientifique. Angers: Thèse doctorat en Pharmacie.
- Berrougui H., (2007).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. *Maghreb Canada Express* 5, n°9.
- Bezzala A., (2005).** Essai d'introduction de l'arganier dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse, Magister en Sciences Agronomiques, Université El Hadj Lakhdar, Batna.
- Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Aksu M., et Pekmezci M., (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chemistry*. s.l.: Elsevier, 2007, Vol. 100, pp. 1453- 1455.
- Bodinier M., et Gourbeyre P., (2012).** Les prébiotiques : une stratégie pour lutter contre les allergies. *Prebiotics: a strategy to fight allergies. La Lettre du Pneumologue*.15: 4.
- Boehm G., Lidestri M., et Casetta P., (2002).** Supplementation of a bovine milk formula with an oligosaccharide mixture increases counts of faecal bifidobacteria in preterm infants. *Archives Disease Child*. 86: 178–81.
- Bolonos M., (1955).** Rapport le caroubier. instituto forestal de investigaciones y experiencias.madrid (Espagne) pp :9.
- Boscher D., Van Caillie-Bertrand M., et Deelstra H., (2001).** Effect of thickening agents, based on soluble dietary fiber, on the availability of calcium, iron, and zinc from infant formulas. *Nutrition*, 17(7-8), 614-618.
- Boudy P., (1950).** Economie forestière Nord-Africain, Tome II : Monographie et traitement des essences forestières, Ed. Larose, Paris, pp. 443-445.

Brassesco M.E., Brand M.T., Silva L.M., Pintado M., (2021). Carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): A new perspective for functional food. Trends in food science et technology, 114, 310-321.

C

Calixto F.S., Canellas J., (1982). Components of nutritional interest in carob pods *Ceratonia siliqua*. J. Sci. Food Agric. 33, 1319–1323.

Conway P.L., (2001). Prebiotics and human health: the state-of-the-art and future perspectives. Scand. J. Nutr. 45: 13–21.

Crociani F., Alessandrini A., Mucci M.M., et Biavati B., (1994). Degradation of complex carbohydrates by *Bifidobacterium* spp. International journal of food microbiology, 24(1-2), 199-210.

D

Dakia P.A., (2011). Carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds, endosperm and germ composition, and application to health. In Nuts and seeds in health and disease prevention (pp. 293-299). Academic Press.

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

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

Dakia P.A., (2003). Extraction et caractérisation de la gomme de caroube (*Ceratonia siliqua* L.). Mémoire : Faculté 106 Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2014 18(1), 97-107 universitaires des Science agronomiques de Gembloux (Belgique).

Davani-Davari D., Negahdaripour M., Karimzadeh I., Seifan M., Mohkam M., Masoumi S.J., Berenjian A., et Ghasemi Y., (2019). Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. Food, 8(3), 92. De quelques paramètres de résistance à la sécheresse, Magister en Sciences Agronomiques.

De Vuyst L., Van Kerrebroeck S., Leroy F., (2014). Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. Advances in Applied Microbiology, 89, 49-160.

Desreumaux P., Pavan S., et Mercenier A., (2000). Probiotiques, prébiotiques et symbiotiques. La lettre de l'hépatogastroentérologue. 6 :3.

Dolié E., (2018). Toulouse (université toulouse III Paul Sabatier faculté des sciences pharmaceutiques): s.n.

Dubois M.K.A., Gilli Y.K., Hamilton P.A., (1956). Colometric method for determination of sugari et related substances, Anal et chem. Jour., Vol. 28, pp. 350-356.

E

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

F

FAO et OMS (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (Organisation Mondiale pour la Santé OMS). Working Group Report. London, Ontario, Canada.

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

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

Fleet G.H., (2003). Yeast interactions and wine flavor. International Journal of Food Microbiology, 86(1-2), 11-22.

Flotte G.H., (2003). Interactions avec les levures et saveur du vin. Journal international de microbiologie alimentaire, 86(1-2), 11-22.

Flynn N.E., Meininger C.J., Haynes T.E., et Wu G., (2002). The metabolic basis of arginine nutrition and pharmacotherapy, Biomedicine Pharmacotherapy N°56, pp. 427-438.

FAO (2002). Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization. Joint FAO/WHO working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Agricultural Organization of the United Nations [online], <ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/wgreport2.pdf>.

FAOSTAT (2023). <https://www.fao.org/> (Consulté le 20/05/2023).

G

Gänzle M.G., (2015). Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage. Current Opinion in Food Science, 2, 106-117.

Gaouar N., (2011). Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes; Laboratoire des Produits Naturels du Département des Sciences d'Agronomie et des Forêts; Tlemcen. pp 47- 70.

- Gharnit, N., (2003).** Caractérisation et essai de régénération in vivo du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) originaire de la province de Chefchaouen. Thèse pour l'obtention du Doctorat en Science: Faculté des Sciences et Technologie de Tanger, Université Abdelmalek Essaadi, Maroc. American Journal of plant Science, 2020, vol.11, 1369-1382.
- Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A., Sayah F., (2006).** Importance socioéconomique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chef Chaouen (nord-ouest du Maroc). Rev. Tela Botanica.4.02 (33): 41-48.
- Gibson G.R., Roberfroid M.B., (1995).** Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. J. Nutr., 1995, 125: 1401-12.
- Gibson B.R., Lawrence S.J., Leclaire J.P.R., Powell C.D., Smart K.A., (2007).** *Saccharomyces cerevisiae* et *Saccharomyces uvarum* différent dans leurs profils de réponse au pH au cours de la croissance fermentative. Levure, 24(4), 323-334.
- Gillet S., (2018).** Etude des relations entre la structure des Galactomannanes de caroube et leurs propriétés fonctionnelles. Thèse de Doctorat. Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech. 208p.
- Gillet S., Blecker C., Paquot M., et Richel A., (2014).** La relation structure chimique–propriétés physiques des galactomannanes extraits de la caroube. Comptes Rendus Chimie, 17(4), 386-401.
- Goycoola F.M., Morris E.R., Gidley M.J., (1995).** Viscosity of galactomannans at alkaline and neutral pH: evidence of “hyperentanglement” in solution. Carbohydr. Polym. 27, 69–71.
- Granato D., Branco G.F., Nazzaro F., Cruz A.G., et Faria J.A.F., (2010).** Functional foods and nondairy probiotic food development: Trends, concepts, and products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9(3), 292-302.
- Gruendel S., Otto B., Garcia A.L., Wagner K., Mueller C., Weickert M.O., Heldwein W., Koebnick C., (2007).** Carob pulp preparation rich in insoluble dietary fibre and polyphenols increases plasma glucose and serum insulin responses in combination with a glucose load in humans, Br. J. Nutr., Vol. 98, N°1, pp.101-5.
- Guarner F., Khan A.G., Garisch J., Eliakim R., Gangl A., Thomson A., Krabshuis J., LE M., (2011).** Probiotiques et Prébiotiques, World Gastroenterology Organisation Global Guidelines.
- Hariri A., Ouis N., Sahnouni F., et Bouhadi D., (2009).** Mise en œuvre de la fermentation de certains ferments lactiques dans des milieux à base des extraits de caroube, rev. microbiol. ind. san et environn. pp.37-55.

K

Kaderi M., Hamouda G.B., Zaeir H., Hanana M., et Hamrouni L., (2014). Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua* (L.). *Phytothérapie*, 13(2), 144-147.

Kamal M., Youssef E., Moshera M., El-Manfaloty A.M., Ali H.M., (2013). Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua* L.). 2013, vol. 3, 6, pp. 304-308.

Kawamura Y., (2008). CAROB BEAN GUM, Chemical and Technical Assessment (CTA). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Geneva, Switzerland.www.fao.org/ag/AGN/agns/jecfa/cta/69/Carob_bean_gum_CTA_69.pdf.

Consulté le 27/06/2023.

Kjeldhal J., (1883). Meue method lurk besyimmung des stichs offs in organischem korpon. *Z Anal. Chem.*, Vol. 22. pp.366-382.

Klaenhammer T.R., (1988). "Bacteriocins of lactic acid bacteria". *Biochimie*70 (3): 337-349.

Kleessen B., Schwarz S., Boehm A., Fuhrmann H., Richter A., Henle T., et Krueger M., (2007). Jerusalem artichoke and chicory inulin in bakery products affect faecal microbiota of healthy volunteers. *British Journal of Nutrition*, 98(3), 540-549.

Klenow S., Jahns F., Pool-Zobel B.L., Glei M., (2009). Does an extract of carob (*Ceratonia siliqua* L.) have chemopreventive potential related to oxydative stress and drug metabolism in human colon cells, *J. Agric Food Chem.*, vol.57, N°7, pp. 2999-3004.

L

Lignon L., et Chiny P., (2013). Les allergies et intolérances alimentaires. Existe-t-il un intérêt des probiotiques dans la prise en charge thérapeutique. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Lorraine. 180p.

Loeb H., Vandenplas Y., Wursch P., Guesry P., (1989). Tannin - rich carob pod for the treatment of acute-onset diarrhea. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* N°8, pp. 480-485.

Da Silva J.A.L., et Gonçalves M.P., (1990). *Food Hydrocoll.*, 4, pp. 277-287.

M

Madsen K., Cornish A., Soper P., McKaigney C., Jijon H., Yachimec C., Doyle J., Jewell L., et DeSimone C., (2001). "Probiotic bacteria enhance murine and human intestinal epithelial barrier function." *Gastroenterology*.121(3): 580-591.

Mahdad M.Y., Guaour S.B. (2016). Le caroubier (*Ceratonia Siliqua* L.) dans le Nord Ouest de l'Algérie, Situation et perspective d'amélioration. Éditions Universitaires européennes. 90 pages.

Mapa R.B., (1994). Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación. Anuario de Estadística Agraria. Ed. Secretaría General Técnica, Madrid, Spain.

Markowiak P., Śliżewska K., (2017). Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*, 9(9), 1021.

Martin L., (2009). Probiotiques, prébiotiques, symbiotiques et « métabiotiques » ce qu'il faut savoir. Thèse de Doctorat d'immunologie, Université de Tours. Équipe «Cellules Dendritiques, Immunomodulation et Greffes». INSERM.

Matsuzaki T., et Chin J., (2000). "Modulating immune responses with probiotic bacteria". *Immunology and cell biology*. 78 (1): 67-73.

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

Merwin M.L., (1981). The culture of carob (*Ceratonia siliqua* L) for food. Fodder and fuel in semi-arid environments. International Tree Crops Institute USA Inc., California.

Merzouki A., Derfoufi E., allau A.E., et Mesas J.M., (1997). Wild medicinal plants used by local bouhmed population (Morocco). *fitoterapia*, 68: 444-460.

Moro G., Minoli I., et Mosca M., (2002). Dosage-related bifidogenic effects of galacto and fructo oligosaccharides in formula-fed term infants *JPGN*; 34: 291–295.

Morrow A.L., Ruiz-Palacios G.M., et Altaye M., (2004). Human milk oligosaccharides are associated with protection against diarrhea in breast-fed infants. *Journal de Pédiatrie*. 145: 297–303.

Mosera M., Sentko A., et Alexiou H., (2014). Inulin and Health Benefits. *Polysaccharides*. Springer International Publishing Switzerland.

N

Nagpal R., Yadav H., Puniya A.K., Singh K., Jain S., et Marotta F., (2007). "Potential of probiotics and prebiotics for symbiotic functional dairy foods: an overview." *International Journal of Probiotics and Prebiotics*. 2(2/3): 75.

Narayanan N., Roychoudhury P.K., et Srivastava A., (2004). L (+) lactic acid fermentation and its product polymerization. *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN: 0717-3458. Vol. 7, No. 2, Issue of August 15.

Niva M., (2007). All foods affect health“: Understandings of functional foods and healthy eating among health-oriented Finns”. *Appetite*, 48: 384-393.

Novel G., Leveau J.Y, Bouix M., Pria A., (1993). “Les bactéries lactiques” dans “Microbiologie industrielle, les micro-organismes d'intérêt industriel”. Edition Technique & Documentation, Paris, pp.170-3310.

O

Olusegun A.O., et Iniobong G.N., (2011). Spoilage and preservation of meat: a general appraisal and potential of lactic acid bacteria as biological preservatives. *International Research Journal of Biotechnology*, 2: 033-046.

Omafuvbe B.O., Shonukan O.O., et Abiose S.H., (2000). Microbiological and biochemical changes in the traditional fermentation of soybean for soy-daddawa-a Nigerian food condiment. *Food Microbiology*, 17, 469-474.

Onno B., Roussel P., (1994). Technologie et microbiologie de la panification au levain. *Bactéries lactiques Volume II. Edition Loriga. Pages 293-321.*

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

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

Oziyci H.R., Tetik N., Turhan I., Yatmaz E., Ucgun K., Akgul H., Gubbuk H., et Karhan M., (2014). Mineral composition of pods and seeds of wild and grafted 1132 carob (*Ceratonia siliqua* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 167, 149–152.

P

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

Peddle R., (2014). Vivre le Portugal, l’histoire-des-caroubes (<https://vivreleportugal.com/actualite/lhistoire-des-caroubes/>), (consulté le 06/06/2023).

Periti P., et Tonelli F., (2001). Preclinical and Clinical Pharmacology of Biotherapeutic Agents: *Saccharomyces boulardii*. *Journal of Chemotherapy* 13 473-493.

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

Q

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

R

- Rejeb M.N., (1995).** Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amélioration. Dans: Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELFUREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp 79-85.
- Ricke S.C., (2015).** Potential of fructooligosaccharide prebiotics in alternative and nonconventional poultry production systems. *Poultry Science*, 94(6), 1411-1418.
- Rishani N., et Rice R.P., (1988).** Use of carob as a potting medium component. *Hort Science* 23 (2): 334-336.
- Rivière C.H., et Leco H., (1900).** Manuel pratique de l'agriculteur algérien. Editeur: Augustin CHALLAMEL. Paris, pp. 349-353.
- Roberfroid M.B., Van Loo J.A., et Gibson G.R., (1998).** The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal Nutrition*. 128: 11-19.
- Roberfroid M.B., (2000).** Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *Am. J. Clin. Nutr.*71: 1682S–1687S.

S

- Şahin H., Topuz A., Pischetsrieder M., et Özdemir F., (2009).** Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *European Food Research and Technology*, 230(1), 155.
- Salminen S.J., Gueimonde M., et Isolauri E., (2005).** "Probiotics that modify disease risk". *The Journal of nutrition*. 135(5): 1294-1298.
- Sánchez B., Ruiz L., Gueimonde M., Ruas-Madiedo P., Margolles A., (2010).** The role of pH- related factors in the survival and passage of *Lactobacillus rhamnosus* through the gastrointestinal tract. *Microbiology*, 156(11), 3282- 3290.
- Sbay H., et Abourouh M., (2006).** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier, centre de recherche forestière Haut-Commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, Rabat, pp.1-9.
- Schmelzle H., Wirth S., et Skopnik H., (2003).** Randomized double-blind study of the nutritional efficacy and bifidogenicity of a new infant formula containing partially hydrolyzed protein, a high-palmitic acid level, and non digestible oligosaccharides. *JPGN*. 36: 343–51.
- Schultz M., Timmer A., Herfarth H.H., Sartor R.B., Vanderhoof J.A., et Rath H.C., (2004).** "Lactobacillus GG in inducing and maintaining remission of Crohn's disease". *BMC gastroenterology*. 4 (1): 5.
- Shah N.P., (2017).** Microbial interactions in food fermentations. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8, 271-289.

Silva F.V.M., (2011). Impact of acid stress on growth and acidification activity of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. *International Journal of Food Microbiology*, 145(1), 162-168.

Singleton Collin S., et Couzet J., (2011). Polyphénols et procédés. Edition Lavoisier TEC et DOC, p5, 13, 16,235.

T

Tabatabai A., et Li S., (2000). Dietary fiber and type 2 diabetes, *Clin Excell Nurse Pract.* Vol.4, N°5, pp. 272-6.

Tamang, J.P., Sarkar P.K., et Hesseltine C.W., (2016). Traditional fermented foods and beverages of Darjeeling and Sikkim - A review. *Journal of Ethnic Foods*, 3(1), 1-14.

Tambara Y., Hormaza J.V., Perez C., Leon A., Arrieta J., et Hernandez L., (1999). Structural analysis and optimised production of fructo oligosaccharides by levansucrase from *Acetobacter diazotrophicus* SRT4. *Biotechnology Letters*. 21: 117– 121. Université El Hadj Lakhdar, Batna.

Viljanen K., Lahteenmaki L., et Lähteenmäki L., (2019). Sensory properties and consumer acceptance of fermented berry beverages containing probiotics. *Food Quality and Preference*, 72, 53-60.

W

Wgo, (2011). Probiotiques et Prébiotiques. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines.

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

Wollowski I., Rechkemmer G., et Pool-Zobel B.L., (2001). "Protective role of probiotics and prebiotics in colon cancer". *The American journal of clinical nutrition*. 73(2): 451s-455s.

Won Yun J., (1996). Fructo-oligosaccharides occurrence, preparation and application. *Enzyme and Microbial Technology*. Elsevier Science. 19: 107- 117.

Y

Yadav H., Jain S., et Sinha P.R., (2007). Antidiabetic effect of probiotic dahi containing *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei* in high fructose fed rats, *Nutrition*, 23, 62.

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

Z

Zamora-Vega R., Montañez-Soto J.L., Martínez-Flores H.E., Flores-Magallón R., Muñoz-Ruiz C.V., Venegas-González J., et Ariza Ortega T.D.J., (2012). Effect of incorporating prebiotics in coating materials for the microencapsulation of *Sacharomyces boulardii*. International journal of food sciences and nutrition, 63(8), 930-935.

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

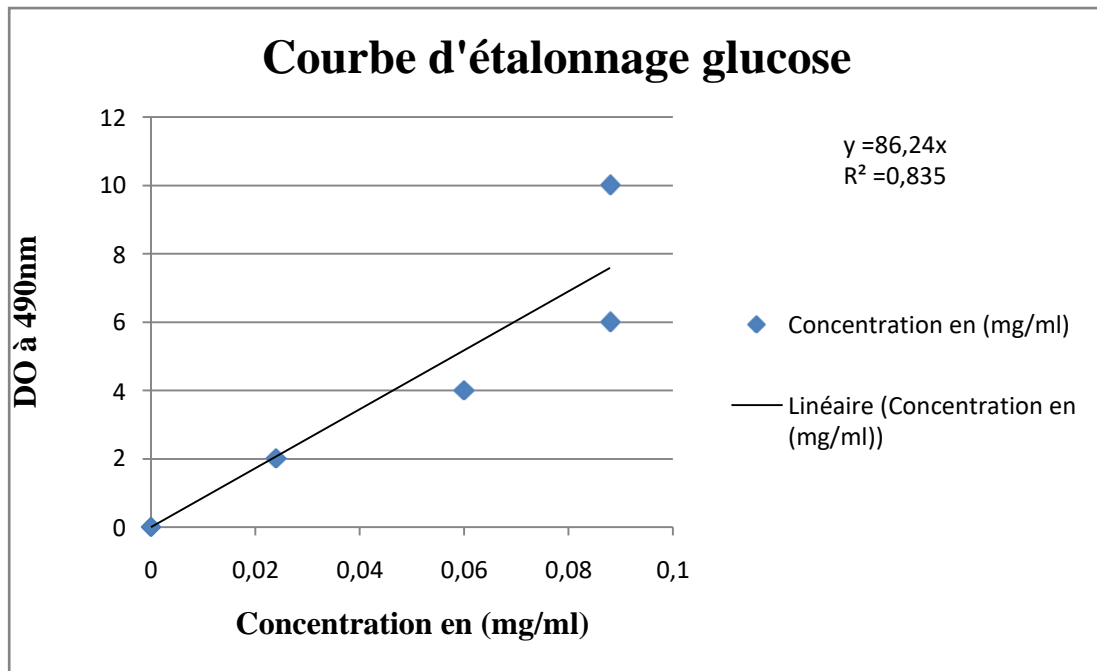
Annexes

Annexe I. Inventaire du matériel, des appareils, de la verrerie et des produits.

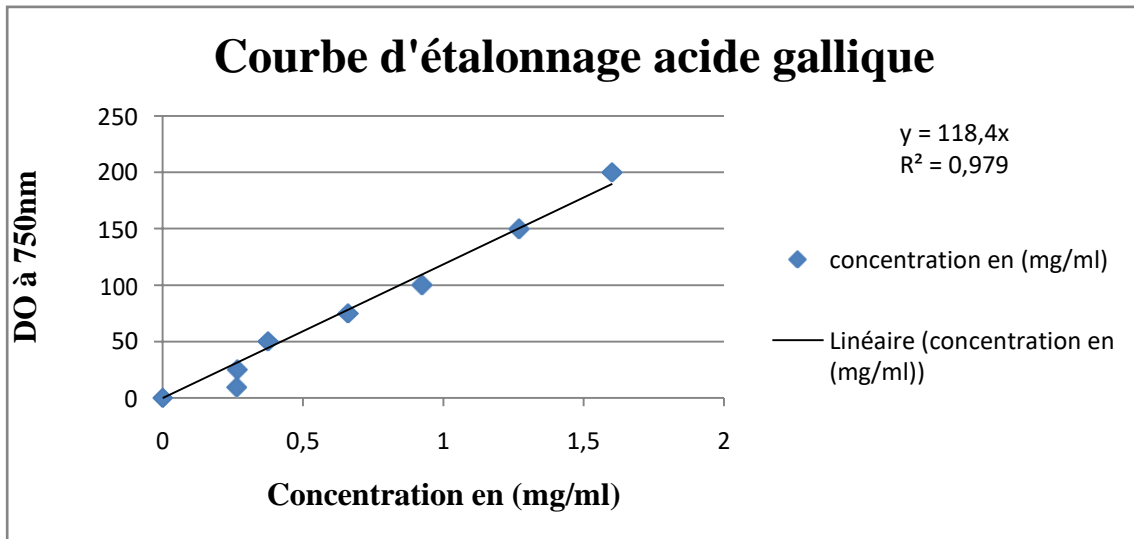
Matériels et appareils	Verreries	Produits
- Etuve.	- Verre à montre.	- Hexane.
- Balance analytique.	- Bécher.	- Phénol à 5%.
- Four à moufle.	- Tubes à essai stériles.	- Acide sulfurique à 96%.
- Soxhlet.	- Boîtes de Pétri en verre.	- Folin-Ciocalteu.
- Spectrophotomètre UV-VISIBLE.	- Burette graduée 25ml.	- Carbonate de sodium.
- Micropipettes (1000µl, 100µl, 500µl).	- Erlenmeyer.	- Éthanol.
- Agitateur magnétique.	- Entonnoir.	- Acide gallique.
- PH-mètre.	- Pipettes pasteurs.	- Sulfate de cuivre.
- Balance de précision.	- Flacons stériles	- Sulfate de potassium.
- Réfractomètre.		- Hydroxyde de sodium.
- Bain marie.		- Acide borique.
- Plaque chauffante.		- Phénolphtaléine.
- Autoclave.		- Eau distillée.
- Bec bunsen.		
- Dessiccateur.		
- Boîtes de Pétri.		
- Creusets en aluminium.		
- Creusets en porcelaine.		
- Cartouche cellulosique.		
- Papier filtre.		
- Portoir.		
- Spatule.		
- Flacons ECBU.		
- Broyeur.		
- Barreau magnétique.		
- Gants stériles.		
- Masques chirurgical.		
- Pissette d'eau distillée,		

- Ethanol.
- Microscope optique.
- Cellule de Malassez.
- Lamelles.
- Compresses.
- Table d'agitation.

Annexe II. Courbe d'étalonnage des sucres totaux par le glucose.



Annexe III. Courbe d'étalonnage des polyphénols par l'acide gallique.



Résumé

Dans cette étude, une formulation des boissons fermentées aux probiotiques à base de caroube à différentes concentrations a été réalisée. Les analyses physicochimiques ont révélé que la caroube est riche en sucres totaux, protéines, cendres et polyphénols, ce qui en fait une ressource précieuse sur le plan nutritionnel. La fermentation a entraîné une baisse du pH, une production d'acides organiques, une diminution de la concentration en sucre et une augmentation des bactéries lactiques et des levures. Les résultats sensoriels ont montré des préférences variables, mais la boisson avec 1% de probiotiques a été la mieux notée en termes d'appréciation globale. En conclusion, la caroube peut être valorisée pour produire une boisson fermentée aux probiotiques, riche en minéraux et polyphénols, bénéfique pour la santé. Cependant, l'ajout d'autres fruits peut être nécessaire pour améliorer le goût final.

Mots clés: Caroube, boisson, probiotique, fermentation, évaluation sensorielle.

Abstract

In this study, carob-based probiotic fermented beverages were formulated at different concentrations. Physicochemical analyses revealed that carob is rich in total sugars, proteins, ash and polyphenols, making it a nutritionally valuable resource. Fermentation resulted in a drop in pH, production of organic acids, a decrease in sugar concentration and an increase in lactic acid bacteria and yeasts. The sensory results showed variable preferences, but the drink with 1% probiotics was the best rated in terms of overall appreciation. In conclusion, carob can be used to produce a probiotic-fermented beverage, rich in minerals and polyphenols, with health benefits. However, the addition of other fruits may be necessary to enhance the final taste.

Keywords : Carob, drink, probiotic, fermentation, sensory evaluation.

ملخص

في هذه الدراسة ، تم إجراء صياغة للمشروبات المخمرة مع البروبيوتيك المستندة إلى الخروب بتركيزات مختلفة. كشفت التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن الخروب غني بالسكريات الكلية والبروتينات والرماد والبوليفينول ، مما يجعله مورداً قيماً من الناحية التغذوية. تسبب التخمر في انخفاض الرقم الهيدروجيني وإنتاج الأحماض العضوية وانخفاض تركيز السكر وزيادة بكتيريا حمض اللاكتيك والخمائر. أظهرت النتائج الحسية تفضيلات متباينة ، لكن المشروب الذي يحتوي على 1% من البروبيوتيك كان أعلى تقدير من حيث التقدير العام. في الختام ، يمكن تقدير قيمة الخروب لإنتاج مشروب مخمر مع البروبيوتيك ، غني بالمعادن والبوليفينول ، مفيد للصحة. ومع ذلك ، قد تكون إضافة فواكه أخرى ضرورية لتحسين المذاق النهائي.

الكلمات المفتاحية: الخروب ، الشراب ، البروبيوتيك ، التخمر ، التقييم الحسي.