



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم البيولوجية
Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Intitulé :

Essai d'incorporation de la poudre de caroube dans le chocolat

Présenté par :

BOUBAAYA Djihane, BOUNABI Linda, et CHIKH Achraf

Soutenu le 24/06/2023, devant le jury :

Président :	M ^{me} BELALMI Nour Elhouda	MAA	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	M ^{me} BENBOUGUERRA Nawel	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examinateur :	Mr TOUATI Noureddine	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier Dieu le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail

*Nous adressons nos vifs remerciements à **M^{me} BELALMI Nour Elhouda** d'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance*

*Nous exprimons nos profondes gratitude et respectueuses reconnaissances à ma promotrice **M^{me} BENBOUGUERRA Nawel** pour son encadrement, ses conseils et ses sacrifices afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de ce travail*

*Nous tenons à remercier infiniment **M^r TOUATI Noureddine** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les enseignants qui par leurs conseils et leurs efforts durant toutes les années passées nous ont permis d'arriver là où nous sommes aujourd'hui.

Dédicaces

Je dédie ce travail ;

*À ma très chère maman, qui trouve en moi la source de sa fierté et à qui je
dois tout*

*À l'homme de ma vie, mon éternel exemple, celui qui s'est toujours sacrifié
pour me voir réussir, à toi mon père Abdelwahab*

À ma sœur Youssra, je te dis que je t'aime

À mes chers frères Bassem, Mohamed et Yacine

À mes grands-parents, mon oncle Zohir et sa femme Siham et à Mohamed

*À mes chers amis Linda et Achraf, ainsi qu'à tous ceux qui ont partagé avec
moi les moments d'émotion lors de la réalisation de ce modeste travail.*

*À ceux qui m'ont chaleureusement soutenu et encouragé tout au long de mon
parcours*

Djihane

Dédicaces

Je dédie ce travail ;

À mon cher père Salim, je suis complètement désemparé face à ma difficulté à trouver les mots qui pourraient exprimer tout l'amour que j'ai pour toi

À ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études

À ma chère sœur Imane

À mes frères ; Youcef, Abdou, Saber et Yakoub, je vous aime

À mes grands-parents Chalabiya et Lwiza

À mes oncles Taher, Bouzid, Lahlali, et à l'âme de mon oncle Reda et au mari de ma tante Hakim

À toute la famille Bounabi et Ben Achour

À tous mes amis et mes chères copines : Djihane, Achraf, Lamia, Manel, Racha et Ibtihal

À tous mes enseignants

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant toutes mes années d'études

Lynda

Dédicaces

Je dédie ce travail ;

*À mes chers parents pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur
encouragement*

À la mémoire de mon grand-père, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis.

À mes chers grands-parents

À mes frères

À ma sœur

À mes oncles

À mes tantes

À mes amis

À mon âme sœur

À tous mes enseignants

Achraf

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

Partie 01 : Étude bibliographique

I. Caroubier (*Ceratonia Siliqua*).....3

I.1. Présentation générale.....3

I.2. Répartition géographique.....3

I.3. Composition chimique.....4

I.4. Bienfaits de la caroube.....5

II. Cacaoyer et cacao.....8

II.1. Présentation générale.....8

II.2. Répartition géographique.....9

II.3. Composition chimique.....9

II.4. Bienfaits du cacao.....10

III. Chocolat.....12

III.1. Présentation générale.....12

III.2. Types de chocolat.....12

III.3. Bienfaits du chocolat.....12

Partie 02 : Partie expérimentale

Matériel et Méthodes

I. Préparation de la poudre.....13

II. Analyses physico-chimiques des incorporations.....14

III. Préparation du chocolat à base de caroube.....16

IV. Analyse sensorielle.....17

Résultats et Discussion

I. Caractérisation physico-chimique des échantillons.....18

II. Qualité sensorielle.....20

Conclusion et perspectives.....22

Références bibliographiques

Annexe

Résumé

Liste des abréviations

°B : Degré Brix

EAGC : Extrait aqueux de gousses de caroube

ERN : Espèces réactives de l'azote

ERO : Espèces réactives oxygénées

ICCO : International organisation de cacao

PC : Poudre de caroube

pH : Potentiel d'hydrogène

TGI : Troubles gastro-intestinaux

Liste des figures

Figure 01 : <i>Ceratonia Siliqua</i>	03
Figure 02 : Répartition du caroubier dans le monde	04
Figure 03 : Arbre de cacaoyer.....	08
Figure 04 : Fruit du cacaoyer ou cabosse.....	08
Figure 05 : Répartition géographique du cacaoyer dans le monde.....	09
Figure 06 : Effet de l'ajout de la poudre de caroube sur la qualité sensorielle du chocolat.....	20

Liste des tableaux

Tableau I : Pourcentages d'incorporation.....	13
Tableau II : Ingrédients utilisés pour la préparation du chocolat.....	16
Tableau III : Caractérisations physico-chimiques des échantillons.....	18

Introduction générale

Introduction générale

Le chocolat est connu depuis des siècles pour son bon goût et ses effets supposés sur la santé (Talbot, 2012). Auparavant, le chocolat était critiqué pour sa teneur en matières grasses et sa consommation était considérée comme un péché plutôt qu'un remède, associé à l'acné, aux caries, à l'obésité, à l'hypertension artérielle, aux maladies coronariennes et au diabète. Par conséquent, de nombreux médecins avaient tendance à avertir les patients des dangers potentiels liés à la consommation de grandes quantités de chocolat (Latif, 2013). Cependant, la découverte récente de composés phénoliques biologiquement actifs dans le cacao a changé cette perception et a stimulé la recherche sur ses effets sur le vieillissement, le stress oxydatif, la régulation de la pression artérielle et l'athérosclérose. Aujourd'hui, le chocolat est loué pour son potentiel antioxydant énorme (Latif, 2013; Magrone *et al.*, 2017).

Le cacao est un aliment obtenu à partir des fèves de *Theobroma cacao L.*, et il est principalement apprécié pour ses qualités sensorielles. Cependant, ces dernières années, son intérêt s'est déplacé vers sa composition nutritionnelle. Le cacao est une source importante de fibres alimentaires insolubles, ainsi que de composés phytochimiques tels que la théobromine, la caféine et les polyphénols. Des études *in vitro*, ont révélé des effets biologiques significatifs du cacao, en particulier dans la prévention des maladies cardiovasculaires. De plus, des preuves de plus en plus nombreuses suggèrent que le cacao pourrait avoir un rôle dans la modulation du diabète de type 2 (Cinar *et al.*, 2021).

Cependant, le goût amer caractéristique du cacao pur entraîne un rejet par de nombreux consommateurs. Par conséquent, la fabrication du chocolat nécessite souvent l'ajout de grandes quantités de sucre, ce qui entraîne une variété de compositions nutritionnelles différentes dans les produits chocolatés, allant des produits à teneur élevée en cacao pouvant être inclus dans un régime alimentaire sain, aux produits riches en sucre qui devraient être évités. Cela a conduit à une recherche active de denrées alimentaires plus saines (García-Díez *et al.*, 2022).

La caroube est le fruit d'un arbre (*Ceratonia siliqua L.*) persistant cultivé dans la région méditerranéenne (Musa Özcan *et al.*, 2007). La principale utilisation industrielle de la caroube, ayant une forte valeur économique, réside dans ses graines d'où la gomme est extraite. Cette gomme est communément appelé « gomme de caroube », obtenue en broyant l'endosperme des graines. La gomme de caroube présente de bonnes propriétés de rétention d'eau, elle est utilisée en industrie alimentaire comme stabilisant, épaississant et émulsifiant dans une large gamme de produits alimentaires (Mekhoukhe *et al.*, 2019).

La pulpe de caroube, obtenue après séparation des graines, constitue une bonne source de fibres alimentaires, de sucres et d'une gamme de composés bioactifs tels que les polyphénols. Les composés bioactifs présents dans cette pulpe se sont révélés bénéfiques pour le contrôle de

Introduction générale

nombreux problèmes de santé tels que le diabète, les maladies cardiaques et le cancer du côlon en raison de leurs activités antidiabétiques, antioxydantes et anti-inflammatoires. La pulpe de caroube a un haut potentiel d'utilisation en tant qu'ingrédient alimentaire. En effet, elle peut être transformée en poudre qui peut servir comme matière première pour l'industrie agroalimentaire (**Boublenza et al., 2019**). Des recherches ont montré que la caroube peut constituer un bon candidat pour être utilisée comme un aliment fonctionnel ou comme un ingrédient alimentaire du fait qu'elle peut constituer une bonne source de polyphénols antioxydants. La pulpe de caroube développe des caractéristiques sensorielles (goût et couleur) similaires à ceux de la poudre de cacao, mais et contrairement au cacao, la caroube ne contient pas le thiobromine (stimulants), la caféine et l'acide oxalique (**Salih et Jilal, 2020**).

Notre travail consiste à valoriser la caroube algérienne afin de profiter de sa richesse en sucres et en composés bioactifs en incorporant la farine de la caroube dans la préparation du chocolat.

Ainsi, notre travail réalisé au sein du laboratoire de l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahimy, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie a pour objectif l'évaluation du chocolat formulé par un suivi des paramètres physico-chimiques (Humidité, cendres, pH, Brix et acidité titrable) ainsi que la détermination de son qualité sensorielle.

Le présent document est structuré en différentes parties :

- ✓ La première partie c'est une synthèse bibliographique sur le sujet étudié.
- ✓ La deuxième partie comporte les méthodes d'étude expérimentale du travail ainsi le matériel utilisé.
- ✓ La troisième partie mettra en lumière les résultats obtenus avec leurs interprétations.

Enfin on termine par une conclusion générale, résumant l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus au cours de ce travail et quelques perspectives.

Partie 01 :
Étude bibliographique

Chapitre 01 :
Ceratonia Siliqua L.

I. Caroubier (*Ceratonia Siliqua* L.)

I.1. Présentation générale

Le caroubier, scientifiquement connu sous le nom de *Ceratonia siliqua* L. et faisant partie de la famille des Caesalpiaceae, est un arbre dioïque à feuilles persistantes et à croissance lente (Bouzouita *et al.*, 2007 ; Gillet *et al.*, 2014). Il peut atteindre une hauteur de 8 à 15 mètres (Figure 01) et vivre jusqu'à 500 ans (Correia *et al.*, 2005 ; Gillet *et al.*, 2014) et il présente une bonne résistance à la sécheresse (Biner *et al.*, 2007 ; Gillet *et al.*, 2014). Ses fleurs sont petites et rouges, et une fois fécondées, elles donnent naissance à des fruits appelés gousses, plus communément connus sous le nom de caroubes (Dakia, 2003 ; Gillet *et al.*, 2014).



Figure 01 : *Ceratonia Siliqua* (Baumel *et al.*, 2017)

I.2. Répartition géographique

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est une plante principalement cultivée dans des climats chauds. Son origine remonte aux pays arabes, et il est largement répandu dans la région méditerranéenne, notamment en Espagne, en Italie, en Grèce, au Portugal et au Maroc (Biner *et al.*, 2007 ; Dakia *et al.*, 2007; Gillet *et al.*, 2014). En Algérie, la culture du caroubier est principalement concentrée dans certaines wilayas, telles que Bejaia, Blida, Tipaza, Boumerdas, Ain-Defla, Bouira, Tlemcen, Mascara et Tizi-Ouzou. On trouve fréquemment des plantations de caroubiers dans l'Atlas Saharien, ainsi dans les régions de Tell. Les collines ensoleillées des régions cotiers et sub-littorales, comme le Sahel Algérien, la Dhahra, la grande Kabylie, les

collines d'Oran et les coteaux de Mostaganem, sont des endroits privilégiés pour sa culture. Le caroubier s'étend jusqu'à Bou-Saada et dans la zone de Traras au nord de Tlemcen, dans des zones caractérisées par un climat semi-aride chaud (Quezel *et Santa*, 1962).



Figure 2 : Répartition du caroubier dans le monde (Batlle *et Tous*, 1997)

I.3. Composition chimique

La caroube est composée de deux compartiments ; la pulpe et les graines qui se trouvent à l'intérieur de la gousse (Gillet *et al.*, 2014 ; Brassesco *et al.*, 2021).

La gousse de caroube présente une concentration élevée de sucres, environ 45 à 56% de son poids total. Le saccharose constitue jusqu'à 95% de ces sucres, tandis que le glucose et le fructose sont présents à des concentrations plus modérées, entre 2 et 4% pour le glucose et entre 6 et 7% pour le fructose (Avallone *et al.*, 1997 ; Papaefstathiou *et al.*, 2018 ; Gioxari *et al.*, 2022). D'autres glucides tels que le maltose, la raffinose, le stachyose, le verbascose et les xyloses ont également été identifiés en petites quantités (Aceituno *et al.*, 2013 ; Gioxari *et al.*, 2022).

Les gousses de caroube sont une excellente source d'autres composés bioactifs, notamment les fibres alimentaires, qui représentent jusqu'à 40% de la caroube. La fraction insoluble de la fibre de caroube comprend la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, représentant jusqu'à 70% de la fibre totale de caroube (Zhu *et al.*, 2019 ; Gioxari *et al.*, 2022).

La gousse de caroube est riche en composés phénoliques tels que les acides phénoliques, les gallotannins et les flavonoïdes, et elle présente un potentiel antioxydant élevé (Makris *et al.*, 2007 ; Gioxari *et al.*, 2022). De plus, la caroube est faible en matières grasses (0,2-1,0%).

La gousse contient également des quantités importantes de minéraux tels que le potassium (970-1089 mg/100 g), le calcium (266-319 mg/100 g), le phosphore (76-79 mg/100 g) et le magnésium (55-56 mg/100 g) (**Ozcan et al., 2009 ; Oziyci et al., 2014 ; Gioxari et al., 2022**).

La pulpe de caroube, qui constitue 90% du fruit, présente un pourcentage élevé de sucres (48-56%), principalement du saccharose (32-38%), du glucose (5-6%) et du fructose (5-7%), ainsi qu'une quantité substantielle de fibres insolubles (68,4%), de composés phénoliques (acide gallique, gallotanins), de minéraux et de vitamines antioxydantes C et E. Cependant, elle est pauvre en matières grasses (0,2-0,6%) et en protéines (3%) (**Hwalla et al., 2020 ; Gioxari et al., 2022**).

I.4. Bienfaits de la caroube

Nombreuses études ont révélé les bienfaits de la caroube ainsi que leurs sous-produits qui peuvent être considérés comme bénéfiques pour la santé en favorisant la guérison et la prévention des maladies chroniques (**Brassesco et al., 2021**).

I.4.1. Propriétés antioxydantes

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les espèces réactives de l'azote (ERN) sont des radicaux libres produits lors du métabolisme cellulaire ou suite à des sources externes telles que la pollution, la fumée de cigarette, le rayonnement et la consommation d'alcool. Ces espèces peuvent avoir à la fois des effets bénéfiques et toxiques. À faibles concentrations, elles exercent des effets bénéfiques sur les cellules et le système immunitaire, mais à des niveaux élevés, elles induisent un stress oxydatif qui endommage les structures cellulaires. Le stress oxydatif contribue au développement de maladies chroniques et dégénératives telles que le cancer, l'arthrite, le vieillissement, les troubles auto-immuns, les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives. Pour lutter contre le stress oxydatif, le corps humain produit des antioxydants tels que la superoxyde dismutase, la catalase, le glutathion peroxydase, ainsi que des antioxydants non enzymatiques comme le glutathion. Les antioxydants peuvent également être obtenus à partir d'aliments et de suppléments tels que les vitamines C et E, les caroténoïdes, les polyphénols (comme les anthocyanines), les acides gras oméga-3 et oméga-6. Ces antioxydants agissent en piégeant les radicaux libres et en réparant les dommages causés par les ERO et les ERN (**Graves, 2012 ; Lushchak, 2014; Brassesco et al., 2021**).

Des études ont montré l'activité antioxydante des extraits de caroube, en se basant sur différentes méthodes *in vitro* (**Mekhoukhe et al., 2018, Carbas et al., 2019 ; Quiles-Carrillo et al., 2019; Goulas et Georgiou, 2020; Brassesco et al., 2021**).

L'activité antioxydante de la caroube dépend de plusieurs facteurs, tels que la teneur en composés phénoliques et la maturité du fruit (Saci *et al.*, 2019; Brassesco *et al.*, 2021). Des travaux ont également démontré une corrélation positive entre l'activité antioxydante de la caroube et ses effets bénéfiques sur la croissance des lapins (Abu Hafsa *et al.*, 2017) et les troubles de l'humeur (Lakkab *et al.*, 2018). De plus, l'extrait de caroube peut réduire la production d'acide hypochloreux (HOCl) (Rtibi *et al.*, 2017). Le miel de caroubier a également été étudié pour sa composition et son activité antioxydante, ainsi que pour ses effets diurétiques sans effets secondaires indésirables (El-Haskoury *et al.*, 2015).

I.4.2. Propriétés anti-hyperglycémiques

L'inhibition des enzymes α -amylase et α -glucosidase, impliquées dans le diabète de type 2, est une stratégie thérapeutique importante pour la régulation et le contrôle du diabète. Ces enzymes libèrent du glucose dans le sang, ce qui entraîne une augmentation de la glycémie. Les inhibiteurs de ces enzymes prolongent le temps de digestion et réduisent l'absorption du glucose, ce qui conduit à une diminution de l'élévation du glucose dans le sang après les repas.

Plusieurs études ont été réalisées sur les effets de la caroube sur les enzymes α -amylase et α -glucosidase (Custodio *et al.*, 2015). La décoction de feuilles et d'écorce de tige de caroube a montré une activité inhibitrice significative sur ces enzymes, en plus ils ont une forte activité antioxydante et une teneur élevée en phénols totaux. Les principaux composés identifiés étaient l'acide gallique dans les feuilles et l'acide gentisique dans l'écorce de tige (Chait *et al.*, 2020). Une autre étude a démontré l'effet inhibiteur de la poudre de caroube et de ses fractions digérées sur les activités de l' α -amylase et de l' α -glucosidase pendant la digestion gastro-intestinale. Les acides phénoliques et les flavonoïdes les plus bioaccessibles identifiés étaient l'acide gallique, l'acide chlorogénique, la catéchine et la rutine.

Une autre étude a prouvé l'utilisation d'un extrait aqueux de gousses de caroube immatures pour réduire l'absorption intestinale du glucose (Rtibi *et al.*, 2017). La composition phytochimique différente des gousses de caroube immatures, notamment les polyphénols et les flavonoïdes, semble être responsable de leurs effets hypoglycémiantes. Les fibres présentes dans les gousses de caroube, en raison de leur complexité, de leur poids moléculaire élevé et de leur viscosité, retardent également l'absorption du glucose (Macho-Gonzalez *et al.*, 2017).

I.4.3. Propriétés gastro-intestinaux

Les troubles gastro-intestinaux (TGI) sont une cause majeure de décès dans le monde (**Anderson et al., 2014**). Des études ont été menées pour évaluer les effets protecteurs de l'extrait aqueux de gousses de caroube (EAGC) sur la muqueuse intestinale. Une étude chez des rats a montré que l'EAGC avait des effets protecteurs contre les ulcérations gastriques en raison de ses propriétés antioxydantes (**Rtibi et al., 2017**). L'EAGC a également été étudié dans le contexte de troubles gastro-intestinaux multifactoriels tels que la constipation et la diarrhée. Des résultats ont montré que l'EAGC matures augmentait le transit gastro-intestinal, tandis que l'extrait des gousses immatures avait un effet inhibiteur. Cette différence est attribuée à la composition chimique des deux extraits, avec une teneur élevée en fibres et en sucres dans les gousses matures (**Mudgil et Barak, 2013**). En ce qui concerne la colite ulcéreuse ; une maladie gastro-intestinale liée à l'inflammation et au stress oxydatif, l'extrait de caroube a montré des effets protecteurs du côlon en réduisant la gravité des lésions et des altérations biochimiques de ce dernier. Ces effets bénéfiques sont attribués à la teneur élevée en polyphénols de la caroube (**Aboura et al., 2017**).

I.4.4. Propriétés anti-hyperlipidémiques

Des études scientifiques ont montré que l'extrait de fruit de caroube peut avoir des effets bénéfiques sur la réduction des niveaux de lipides, la diminution de l'oxydation des lipoprotéines de basse densité et la modulation de la lipémie postprandiale, ce qui peut contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires. Cependant, davantage de recherches sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes d'action et les effets à long terme de l'extrait de caroube sur la santé humaine (**El-Beshbishy et al., 2006 ; Chan et al., 2013; Macho-González et al., 2018; Valero-Muñoz et al., 2019**).

Chapitre 02 :

Cacaoyer et cacao

II. Cacaoyer et cacao

II.1. Présentation générale

Le cacaoyer est une plante de petite taille qui atteint généralement une hauteur moyenne de 5 à 7 mètres (**Figure 03**), bien qu'il puisse parfois être plus grand lorsqu'il pousse à l'état sauvage en forêt. Il atteint sa pleine maturité vers l'âge de dix ans. Ses fruits, appelés "cabosses", sont de grosses baies allongées ressemblant à de petits ballons de football. Chaque cabosse peut peser jusqu'à 400 g et mesurer environ 15 à 20 cm de longueur. Ce qui les rend uniques, c'est leur capacité à se développer à la fois sur les branches principales et directement sur le tronc de l'arbre. Les caractéristiques des cabosses varient considérablement d'une population à l'autre et même au sein d'une même population (**Bartley, 2005**).



Figure 03 : Arbre du cacaoyer (**Bartley, 2005**)

Les cabosses renferment de nombreuses graines, appelées fèves de cacao, qui sont riches en amidon, en matières grasses et en alcaloïdes. Ces graines sont regroupées à l'intérieur de la cabosse. Chaque fève mature est entourée d'une pulpe sucrée appelée "mucilage". Ce mucilage blanc forme une protubérance sur la coque de la graine et joue un rôle essentiel dans le processus de fermentation nécessaire à la production de cacao commercial (**Febrianto et al., 2022**)



Figure 04 : Fruit du cacaoyer ou cabosse (**Motamayor et al., 2003**)

II.2. Répartition géographique

L'origine géographique du cacao est l'Amérique du Sud (Motamayor *et al.*, 2003), où plusieurs populations sauvages peuvent être trouvées dans les régions amazoniennes et guyaniennes. Le cacao est reconnu comme l'une des cultures pérennes les plus importantes de la planète, avec une production mondiale estimée à 3,5 millions de tonnes en 2006 (ICCO, 2007). Il est principalement cultivé dans les zones tropicales de l'Amérique centrale et du Sud, de l'Asie et de l'Afrique (Figure 05) (Marita *et al.*, 2001). Les variétés de cacao traditionnellement cultivées appartiennent à trois groupes principaux appelés Criollo, Forastero et Trinitario, en fonction de leur morphologie, de leurs caractéristiques génétiques et de leurs origines géographiques (Bartley, 2005).

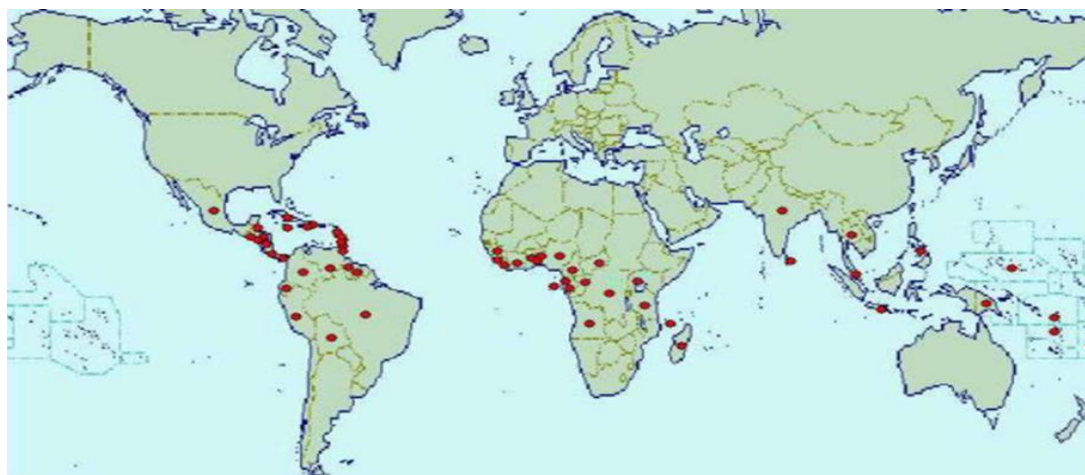


Figure 05 : Répartition géographique du cacaoyer dans le monde

II.3. Composition chimique

Le cacao est un produit séché et fermenté à fond à partir des fèves de cacao obtenues à partir de l'arbre *Theobroma cacao*. Les fèves de cacao sont composées de lipides (24,6 – 43,1 %), de glucides (24,4 -43,4%), de protéines (11,7-13,4%). La teneur en polyphénols des fèves de cacao a été détectée dans les gammes de concentration suivantes : 1,1-2,1 mg/g d'extrait séché pour l'acide caféique, 4,7-11,6 mg/g d'extrait séché pour la théobromine et 1,1-142,9 mg/g d'extrait séché pour l'épicatéchine (-). De plus, des acides carboxyliques tels que l'acide acétique ont été signalés comme étant présents en concentration élevée parmi les autres composants volatils dans tous les échantillons de cacao. Le profil des acides gras a montré que l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1, n-9) et l'acide palmitique (C16:0) étaient présents en quantités abondantes dans une plage de 37,6-39,5 %, 30,4-33,2 % et 24,8-28,2 % respectivement (Caprioli *et al.*, 2016).

De plus, **Lecumberri *et al.* (2007)** ont montré que près de 60 % de l'échantillon de cacao sec était composé de fibres alimentaires totales, dont 17 % de fibres solubles et principalement de fibres insolubles.

La composition des composés bioactifs dans les fèves de cacao peut varier en fonction de la variété de cacao, des conditions de culture, de la maturité des fèves et des traitements post-récolte. Par exemple, la teneur en polyphénols dans les fèves de cacao provenant de différentes régions peut varier, tout comme la teneur en acides gras et en fibres alimentaires. La durée de fermentation et le stade de maturité des fèves de cacao ont également un impact sur les composés bioactifs, tels que les proanthocyanidines, la caféine et la théobromine (**Cinar *et al.*, 2021**). Le cacao est également riche en minéraux : phosphore (685mg), calcium (51 mg) et fer (14,3 mg) (**Montagna *et al.*, 2019**).

II.4. Bienfaits du cacao

Des essais cliniques récents ont mis en évidence les effets bénéfiques potentiels du cacao et de ses composés bioactifs, tels que les polyphénols et les méthylxanthines, sur la santé humaine. Ces effets comprennent l'amélioration de la fonction endothéliale, l'inversion des facteurs de risque cardiovasculaire liés à l'âge et l'augmentation de la fonction vasculaire (**Schroeter *et al.*, 2006 ; Heiss *et al.*, 2015 ; Sansone *et al.*, 2015**). Des études ont également examiné les effets chimiothérapeutiques du cacao et de ses composés bioactifs sur les symptômes néfastes de maladies chroniques. Par exemple, la consommation de flavonoïdes de cacao a amélioré les fonctions cognitives et la réponse dépendante du niveau d'oxygène dans le sang chez les patients atteints de diabète de type 1 (**Decroix *et al.*, 2019**).

Des études menées sur des rats ont montré que le cacao et la théobromine, l'un des principaux composés du cacao, peuvent avoir un effet immunorégulateur en réduisant les concentrations d'anticorps dans le sang et en modifiant le poids et le phénotype des organes lymphoïdes (**Camps-Bossacoma *et al.*, 2018**).

Le cacao a également démontré des effets neuroprotecteurs, protégeant les cellules contre la neurotoxicité induite par le bêta-amyloïde et inversant le stress oxydatif dans les tissus cérébraux des rats (**Heo et Lee, 2005 ; Kosoko *et al.*, 2017**). Des études suggèrent que certains composés spécifiques du cacao, tels que la procyanidine de cacao et la procyanidine B2, peuvent avoir un effet antiapoptotique sur les cellules neuronales, ce qui en fait un complément potentiel pour la neuroprotection dans les maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer (**Cho *et al.*, 2009 ; Chidambaram *et al.*, 2020**).

Cacaoyer et cacao

En outre, le cacao a montré des effets bénéfiques sur la santé intestinale en améliorant l'homéostasie du glucose, l'intégrité intestinale, l'abondance de certaines espèces bactériennes et en régulant la production de cytokines pro-inflammatoires. Il a également amélioré la réponse immunitaire contre l'infection par le virus de la grippe (**Jang *et al.*, 2015 ; Kamei *et al.*, 2016; Alvarez-Cilleros *et al.*, 2020**).

Chapitre 03 :

Chocolat

III. Chocolat

III.1. Présentation générale

Le chocolat est l'aliment le plus souvent désiré dans le monde. Au départ, il était considéré comme un produit de luxe, mais maintenant on le considère comme un médicament (**Latif, 2013**).

Une définition de base de la structure du chocolat est ; "une matrice continue de matière grasse dans laquelle se trouvent des particules de poudre de cacao, de sucre et de la poudre de lait dans le cas du chocolat au lait (**Talbot, 2012**).

III.2. Types de chocolat

À partir des fèves de cacao, par le biais de divers processus de transformation, l'industrie alimentaire produit différents types de chocolat avec des ingrédients et des caractéristiques définis (**Montagna et al., 2019**) ;

- **Le chocolat noir** contient des solides de fèves de cacao (jusqu'à 80% du poids total) et du beurre de cacao. Avec son arôme intense et persistant de cacao, il fond dans la bouche en laissant une agréable sensation amère. Sa qualité dépend du pourcentage de cacao. La plupart des bienfaits pour la santé attribuée au chocolat sont associés à la consommation du type noir.
- **Le chocolat Gianduja** est un mélange de noisettes, de cacao et de sucre ; il est brun.
- **Le chocolat au lait** contient du beurre de cacao, du sucre, du lait en poudre, de la lécithine et du cacao (ce dernier représentant au moins 20 à 25%). Avec son apparence brillante, il a un arôme intense et persistant ainsi qu'un goût sucré avec une légère note amère de cacao.
- **Le chocolat blanc** contient du beurre de cacao, du lait et du sucre, sans solides de cacao ; il a un goût sucré et agréable.

III.3. Bienfaits du chocolat

La consommation de chocolat a récemment augmenté dans le monde entier ; le chocolat noir, en particulier, est devenu très populaire en raison de sa concentration élevée en cacao et de ses effets bénéfiques sur la santé humaine par rapport au chocolat au lait. De plus, le chocolat au lait pourrait être associé à des effets indésirables en raison de sa teneur élevée en sucre. Par conséquent, seul le chocolat noir, avec des pourcentages élevés de cacao, de flavonoïdes et de théobromine et une faible teneur en sucre, contrairement au chocolat au lait ou à d'autres types de chocolat, serait associé à des effets favorables pour la santé, y compris la prévention des maladies cardiovasculaires. De même, le cacao a des effets positifs sur la pression artérielle et la résistance à l'insuline (**Latif, 2013 ; Montagna et al., 2019**).

Partie 02 :
Partie expérimentale

Chapitre 01 :

Matériel et Méthodes

Notre travail a été réalisé au sein du laboratoire de Biochimie de l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimi à Bordj Bou Arreridj.

Cette partie comporte de différents volets ;

- Préparation de la poudre de la caroube ainsi que les différentes incorporations
- Analyses physico-chimiques des incorporations
- Préparation du chocolat à base de caroube
- Analyse sensorielle

I. Préparation de la poudre

I.1. Achat de la caroube

La matière première est constituée de gousses de caroube mures destinées à la consommation, elle a été achetée au marché local « Achab » (Bordj Bou Arreridj, Al Anasser).

I.2. Nettoyage

Les gousses ont été débarrassées des déchets et lavées par l'eau de robinet 2 à 3 fois jusqu'à ce qu'elle soit bien nettoyée.

I.3. Séchage

La matière végétale a été déposée sur une plaque et séchée à l'abri de la lumière pendant 1 jour puis dans l'étuve à 45°C, pour assurer le séchage complet des gousses.

I.4. Broyage

Après le séchage, les fruits sont coupés en petits morceaux et les graines ont été enlevées manuellement et puis jetées (On va travailler avec la pulpe uniquement). La matière végétale a ensuite été broyée à l'aide d'un moulin électrique pour avoir une poudre fine.

I.5. Tamisage

La poudre obtenue a été tamisée en utilisant un tamiseur de granulométrie en acier inoxydable. La poudre fine obtenue est stockée dans des flacons en verre fermés hermétiquement, conservée dans un endroit frais et à l'abri de la lumière

I.6. Préparation des incorporations : La poudre de caroube (pc) a été incorporée avec le cacao commercialisé à des différents pourcentages selon le tableau suivant (**Tableau I**)

Tableau I : Pourcentages d'incorporation

Incorporations (%)	100	75	50	25	0
Poudre de caroube (g)	100	75	50	25	0
Cacao (g)	0	25	50	75	100

II. Analyses physico-chimiques des incorporations

II.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité a été déterminé en utilisant la méthode classique de dessiccation par étuvage. L'échantillon a été séché dans une étuve à une température de 105 °C jusqu'au poids constant, ce qui indique l'élimination complète de l'humidité (Acourene et Tama, 2001).

Mode opératoire

L'expérience a été réalisée en prélevant une quantité de 2 g d'échantillon, qui a été placée dans des boîtes de Pétri en verre préalablement séchées et pesées. Les boîtes contenant les échantillons sont ensuite placées dans une étuve à une température constante de 105 °C pendant 24 heures. Après refroidissement à température ambiante, chaque boîte contenant l'échantillon a été pesée individuellement. Cette expérience a été répétée trois fois pour obtenir des mesures répétées.

Le taux d'humidité est calculé en utilisant la formule suivante :

$$H (\%) = [(m_1 - m_2) / p] * 100$$

m₁ : Masse de l'échantillon + la masse de la boîte de Pétri (avant le séchage) (g)

m₂ : Masse de l'échantillon + la masse de la boîte de Pétri (après le séchage) (g)

p : Masse de l'échantillon prélevé (g)

II.2. Taux de cendres

Le taux de cendres est déterminé en procédant à la calcination de l'échantillon à une température de 550 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (Boussaid *et al.*, 2020).

Mode opératoire

Un échantillon de 2 g a été placé dans des creusets adaptés, qui sont ensuite introduits dans un four à moufle préchauffé à une température de 550 °C. L'échantillon a été soumis à une calcination pendant une période de 6 heures, permettant la destruction totale de toute matière organique présente. Après la calcination, les creusets contenant les cendres résultantes ont été retirés du four et laissés refroidir à température ambiante. Une fois refroidis, les creusets sont pesés avec les cendres obtenues. L'expérience a été répétée trois fois.

Le taux de cendre est calculé selon la formule suivante :

$$Cendres (\%) = [(m_2 - m_0) / m_1] * 100$$

m₀ : Masse du creuset vide (g)

m₁ : Masse de l'échantillon (g)

m₂ : Masse de l'échantillon incinéré + la masse du creuset (g)

II.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est déterminé en mesurant la différence du potentiel entre deux électrodes en verre immergées dans une solution aqueuse (Boussaid *et al.*, 2020).

Mode opératoire

Une quantité de 0,5 g de chaque échantillon a été mise en contact avec un volume de 50 ml d'eau distillée. Le mélange a été soigneusement agité à l'aide d'un agitateur magnétique pour assurer une homogénéisation complète. La solution obtenue a ensuite été soumise à une filtration pour éliminer les éventuelles particules insolubles présentes. Par la suite, le pH de la solution a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre, et la valeur affichée sur l'écran de l'appareil a été enregistrée. L'expérience a été répétée trois fois.

II.4. Acidité titrable

Conformément à la norme (NF V05-101, 1974), l'acidité titrable est déterminée en titrant une solution aqueuse avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), en présence d'un indicateur coloré, la phénolphtaléine.

Mode opératoire

Une quantité de 0,5 g de chaque échantillon a été placée dans une fiole jaugée contenant déjà 50 ml d'eau distillée bouillie. Le mélange a été agité vigoureusement jusqu'à obtention d'un liquide homogène. Ensuite, le mélange a été chauffé pendant 30 min puis filtrée. Un volume de 10 ml de la solution filtrée a été prélevé à l'aide d'une pipette et déposé dans un bécher de 50 ml. À ce bécher, un volume de 10 ml d'eau distillée bouillie a été ajouté. Quelques gouttes de phénolphthaléine ont été incorporées à la solution pour servir d'indicateur coloré. La titration a été réalisée en ajoutant progressivement une solution de NaOH (0,1 N) tout en agitant, jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes. L'expérience a été répétée trois fois.

L'acidité titrable est exprimée en pourcentage selon la formule suivante :

$$\text{Acidité titrable (\%)} = \frac{250.V1.100}{V0.M.10} \cdot 0,07$$

M : Masse en gramme du produit prélevé

V0 : Volume en millilitre de prise d'essai

V1 : Volume en millilitre de la solution d'hydroxyde de solution utilisée (0,1N)

0,07 : Facteur de conservation de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique

II.5. Degré de Brix

La teneur en sucre dissous dans une solution est évaluée en utilisant les échelles de mesure du Brix, du Baume ou de l'Oechsle. Cependant, dans l'industrie alimentaire et des boissons, l'unité la plus couramment utilisée est le Brix. Il représente la concentration de solides dissous dans un liquide, mesurée à l'aide d'un réfractomètre. Un degré Brix correspond à la présence de 1 g de saccharose dans 100 g de solution (**Jaywant *et al.*, 2022**).

Mode opératoire

Une quantité de 1 g de l'échantillon a été mélangée avec 10 ml d'eau distillée. Le mélange a été chauffé au bain-marie pendant 30 minutes en remuant périodiquement. Après refroidissement, un volume de 20 ml d'eau distillée a été ajouté. Ensuite, le mélange a été soumis à une centrifugation. Une goutte de surnageant a été mise sur la plaque du réfractomètre préalablement nettoyé et séché avec l'eau distillée. Le degré Brix est obtenue par la multiplication de la valeur lue directement sur l'échelle du Brix du réfractomètre par le facteur de la dilution (**Azab *et al.*, 2017**). Les mesures ont été répétées 3 fois.

III. Préparation du chocolat à base de caroube

L'objectif de cette étape est de formuler cinq échantillons de chocolat noir en utilisant les différentes incorporations déjà préparées, mélangées avec du beurre naturel et du sucre, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau II : Ingrédients utilisés pour la préparation du chocolat

Echantillons	1	2	3	4	5
Incorporations (%)	0	25	50	75	100
Cacao (g)	18	13,5	9	4,5	0
Poudre de caroube (g)	0	4,5	9	13,5	18
Sucre poudre (g)	18	18	18	18	18
Beurre naturel	20	20	20	20	20

Les ingrédients secs ont été pesés à l'aide d'une balance analytique, puis mélangés au beurre fondu préalablement. Le mélange a été soigneusement agité à l'aide d'un bras mixeur jusqu'à l'obtention d'une structure homogène. Par la suite, le mélange a été versé dans des moules en silicone et placé au réfrigérateur. Après une période d'environ 4 heures, les chocolats ont été démoulés et conservés au froid.

IV. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle regroupe un ensemble de méthodes, d'outils et d'instruments employés afin d'évaluer de manière précise les caractéristiques organoleptiques d'un produit.

Ces caractéristiques sont perçues par les organes sensoriels humains, incluant le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe. L'analyse sensorielle permet de décrire et de quantifier de manière systématique toutes les sensations perçues par les individus en relation avec un produit donné (**Lefebvre et Bassereau, 2003**).

L'évaluation de la qualité organoleptique des différents échantillons formulés a été réalisée par dégustation (30 personnes) choisis aléatoirement dont une fiche de dégustation (**En annexe**) a été attribuée à chacun d'eux.

La texture, la couleur, le goût l'odeur et l'acceptabilité ont été évalués sur la base d'une échelle hédonique allant de « Fortement désagréable » à « Fortement agréable » avec des catégories intermédiaires.

Chapitre 02 :

Résultats et Discussion

I. Caractérisation physico-chimique des échantillons

Les caractéristiques physico-chimiques de la poudre de caroube, de cacao et des différentes incorporations sont illustrées dans le tableau III.

Tableau III : Caractérisations physico-chimiques des échantillons (Moy ± SD)

Echantillons	0%	25%	50%	75%	100%
Humidité %	4,16 ± 0,57	6,16 ± 0,28	8,5 ± 0,5	7,5 ± 0,5	8,16 ± 0,28
Cendres %	11	5	4	3,5 ± 0,28	2,5
Acidité titrable	1,41 ± 0,1	1,17 ± 0,03	1,05 ± 0,09	0,93 ± 0,03	0,85 ± 0,02
pH	5,82 ± 0,04	5,85 ± 0,06	5,8 ± 0	5,87 ± 0,06	6,08 ± 0,07
°Brix	14	21,33 ± 1,15	25,33 ± 1,15	28	38

I.1. Taux d’humidité

Le taux d’humidité permet de donner une idée si la poudre aura une bonne qualité et si elle se conservera ou non. D’après les résultats du tableau III, le taux d’humidité de cacao est de 4,16 ± 0,57 % cette valeur se situe dans l’intervalle de 2,2 - 6,3% citée par **Febrianto et al. (2022)**, celui de la poudre de caroube est de 8,16 ± 0,28 %, cette valeur est dans l’intervalle trouvé par **Avallon et al. (1997)** par contre elle est supérieure à celle citée par **Boublenza et al. (2019)** (5,13 - 6,35 %). L’ajout de la poudre de caroube augmente le taux d’humidité des incorporations. La variation de la valeur est due aux méthodes de séchage utilisées.

II.2. Taux de cendres

Le taux de cendres varie de 2,5 au niveau de la poudre de caroube jusqu’au 11 % au niveau du cacao, les valeurs diminuent en ajoutant la farine de caroube au cacao. Les résultats trouvés par **Boublenza et al. (2019)** (2,45 – 4,52%) confirment ceux de la présente étude en ce qui

concerne la poudre de caroube. L'ajout de la farine de caroube diminue le taux de cendres. **Febrianto et al. (2022)** ont rapporté que le taux de cendres de cacao varie entre 0,9 jusqu'au 7,1 % selon l'origine des fèves de cacao, le génotype et les méthodes de traitement.

II.3. Acidité titrable

La valeur maximale de l'acidité titrable a été notée dans le cacao ($1,41 \pm 0,1$), tandis que la valeur minimale a été enregistrée dans le caroube ($0,85 \pm 0,02$). La diminution de l'acidité observée est due probablement à la richesse du cacao en acides organiques issu de la fermentation comparativement au caroube, qui en contient moins.

II.4. pH

D'après les résultats obtenus (**Tableau III**), le pH minimal est de $5,82 \pm 0,04$ observé dans la solution de cacao 100%, tandis qu'un pH maximal de $6,08 \pm 0,07$ a été enregistré au niveau de la caroube. L'augmentation graduelle des pH indique que la caroube est pauvre en acide organique en comparaison avec le cacao.

II.5. °Brix

Le degré Brix exprime le pourcentage de la concentration de solides solubles que contient l'échantillon. Les valeurs de Brix enregistré varient entre 14 % pour le cacao jusqu'au 38 % pour la caroube. **Chellali (2018)** a étudié l'effet de la gomme de caroube brute sur les caractéristiques physico-chimiques et organoleptique du fromage fondu ; elle a trouvé une valeur de Brix de 16,85 %.

III. Qualité sensorielle

La figure 06 présente l'appréciation des chocolats par les dégustateurs

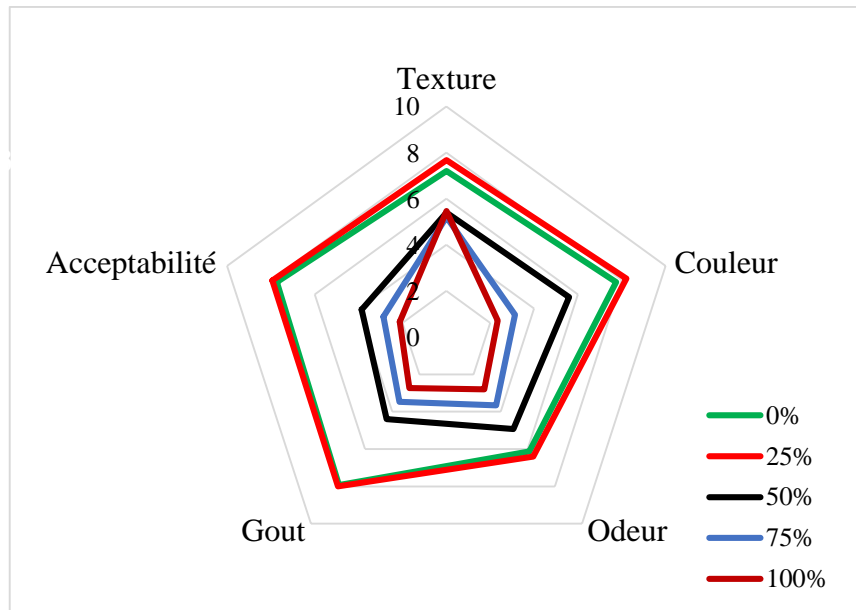


Figure 06 : Effet de l'ajout de la poudre de caroube sur la qualité sensorielle du chocolat

L'évaluation sensorielle d'un produit peut être utilisée soit pour mesurer ses caractéristiques sensorielles objectives, soit pour mesurer le plaisir subjectif qu'il procure au consommateur (Lefebvre et Bassereau, 2003).

L'acceptabilité : Définie comme l'attitude du consommateur envers un produit, qui reflète souvent son utilisation réelle. Selon les résultats présentés dans la figure 06, l'acceptabilité du chocolat diminue avec l'augmentation du taux de poudre de caroube.

La texture : Définie comme l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit qui peuvent être perçues par les récepteurs tactiles, et éventuellement par les récepteurs visuels et auditifs. Elle se réfère aux qualités des aliments qui peuvent être ressenties avec les doigts, la langue, le palais ou les dents. Dans cette étude, la texture la plus appréciée était celle obtenue en ajoutant 25% de poudre de caroube.

Le goût : Perçu par les papilles gustatives de la langue lorsqu'elles sont stimulées par des substances solubles. Il englobe les sensations salées, sucrées, acides et amères.

L'odeur : Caractéristique perceptible par l'organe olfactif. L'odeur la plus appréciée était celle du chocolat formulé avec l'ajout de 25% de poudre de caroube.

La couleur : Définie comme la perception résultant de la détection de la lumière lorsqu'elle interagit avec un objet. La couleur la plus évaluée était celle du chocolat contenant 25% de poudre de caroube.

À la suite de ces résultats, il a été constaté que l'ajout de poudre de caroube au cacao dans une proportion ne dépassant pas 25 % permet de produire du chocolat présentant une meilleure qualité sensorielle et nutritionnelle par rapport à celui préparé uniquement avec du cacao.

Nos résultats confirment ceux obtenus par **García-Díez *et al.* (2022)**, qui ont réalisé une évaluation nutritionnelle et sensorielle de l'effet de la combinaison de farine de caroube et de cacao afin de déterminer si elle pouvait constituer une alternative appropriée aux poudres de cacao solubles commerciales riches en sucre. Les résultats ont démontré que le mélange était susceptible d'être accepté par les consommateurs, en particulier lorsqu'il était accompagné d'informations sur son activité biologique potentielle.

Conclusion générale et perspectives

Le caroubier est connu en Algérie sous le nom de "Kharroub, on le trouve généralement dans des zones ensoleillées, des régions côtières ou subtidales et des vallées intérieures.

La pulpe de caroube est riche en sucre ; elle peut être utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour produire des sirops ou sous forme de poudre pour remplacer le cacao dans la composition de biscuits, de crème glacée, de chocolat, etc.

Notre travail repose sur la valorisation de la pulpe de caroube afin de l'incorporer avec du cacao à différentes proportions (25 % ; 50 %, 75 % et 100 %) pour préparer le chocolat, ainsi l'évaluation des propriétés physico-chimique et organoleptiques des formules obtenues.

D'après les résultats des analyses physico-chimiques, il s'est avéré que l'ajout de la farine de caroube augmente le taux d'humidité, le degré de Brix ainsi que le pH et diminue le taux de cendres et l'acidité titrable de cacao.

L'évaluation sensorielle du chocolat formulé a montré que la combinaison de la poudre de caroube avec le cacao à un taux ne dépassant pas 25 % améliore la qualité sensorielle du chocolat.

Ce travail est encore préliminaire, il sera donc très intéressant de ;

- Faire les analyses microbiologiques
- Mener une étude plus approfondie pour faire la caractérisation chimique globale
- Tester *in Vitro* et *in Vivo* les activités biologiques de la farine de caroube
- Extraire les composés les plus actifs
- Fabriquer des produits alimentaires à base de caroube

Références bibliographiques

-A-

Aboura I., Belarbi M., Murtaza B. & Fluckiger A. (2017). Protective effects of polyphenol-rich infusions from carob (*Ceratonia Siliqua*) leaves and cladodes of *Opuntia ficus-indica* against inflammation associated with diet-induced obesity and DSS-induced colitis in Swiss mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 96(July), 1022–1035.

Abu Hafsa, S. H., Ibrahim, S. A. & Hassan, A. A. (2017). Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) improve growth performance, antioxidant status and caecal characteristics in growing rabbits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(6), 1307–1315.

Acourene S., Belguedj M., Tama M. & Talebi A. (2001). Caractérisation, évaluation de la qualité de la datte et identification des cultivars rares de palmier dattier de la région des ziban. *Institut national de la recherche agronomique d'Algérie*, 5(8),19-39.

Alvarez-Martínez F.J., Barrajon-Catalan E., Encinar J.A., Rodríguez-Díaz J.C. & Micol V. (2020). Antimicrobial capacity of plant polyphenols against gram-positive bacteria: a comprehensive review. *Curr. Med. Chem.* 27 (15), 2576–2606.

Anderson P., Dalziel K., Davies E., Fitzsimmons D., Hale J., Hughes A., Isaac J., Onishchenko K., Phillips C. & Pockett, R. (2014). Survey of digestive health across Europe : Final report . Part 2 : The economic impact and burden of digestive disorders.

Avallone R., Plessi M., Baraldi M. & Monzani A. (1997). Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia Siliqua*): Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins. *J. Food Compos. Anal.* 10, 166–172.

Azab A. (2017). « Carob (*Ceratonia Siliqua*): Health, Medicine, Chemistry». *European Chemical Bulletin* 6 (10): 456.

-B-

Bartley B. G. D. (2005). The Genetic Diversity of Cacao and its Utilization. CABI Publishing (UK and USA), 341 p

Battle I. & Tous J. (1997). Carob Tree *Ceratonia Siliqua* L. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops, 1st ed.; Battle, I., Ed.; Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK): Gatersleben, Germany, pp. 1–92

Baumel A., Mirleau P., Viruel J., Kharrat M.B.D., La Malfa S., Ouahmane L., Diadema K., Moakhar M., Sanguin H. & Médail F. (2018). «Assessment of Plant Species Diversity

Références bibliographiques

Associated with the Carob Tree (*Ceratonia Siliqua*, Fabaceae) at the Mediterranean Scale ». *Plant Ecology and Evolution* 151 (2): 185-93.

Berrabah L. (2020). Étude de la variabilité intra-spécifique de la gousse de *Ceratonia siliqua* L. dans le village de Sahel, région de Bouzeguène, Tizi-ouzou. Mémoire de Master. Département des sciences agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Aksu M & M. Pekmezci. (2007). « Sugar Profiles of the Pods of Cultivated and Wild Types of Carob Bean (*Ceratonia Siliqua* L.) in Turkey ». *Food Chemistry* 100 (4): 1453-55.

Boublenza I., El haitoum A., Ghezlaoui M., Mahdad M., Vasaï M & Chemat F. (2019). « Algerian Carob (*Ceratonia Siliqua* L.) Populations. Morphological and Chemical Variability of Their Fruits and Seeds ». *Scientia Horticulturae* 256 (octobre): 108537.

Boussaid L., Aguedal H., Iddou A. & Bouras N.(2020). « Aperçu sur les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de trois sirops de » 2 (1): 8.

Bouzouita N., Khaldi A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabouni M. & Thonart P (2007). « The Analysis of Crude and Purified Locust Bean Gum: A Comparison of Samples from Different Carob Tree Populations in Tunisia ». *Food Chemistry* 101 (4): 1508-15.

Brassesco M.E., Brandão T.R.S., Silva C.L.M. & Pintado M. (2021). « Carob Bean (*Ceratonia Siliqua* L.): A New Perspective for Functional Food ». *Trends in Food Science & Technology* 114 (août): 310-22.

-C-

Camps-Bossacoma M., Pérez-Cano F.J., Franch `A. & Castell M. (2018). Theobromine is responsible for the effects of cocoa on the antibody immune status of rats. *J. Nutr.* 148 (3), 464–471

Caprioli G., Fiorini D., Maggi F., Nicoletti M., Ricciutelli M., TonioloC., Prosper B., Vittori S. & Sagratini G. (2016). Nutritional composition, bioactive compounds and volatile profile of cocoa beans from different regions of Cameroon. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 67 (4), 422–430.

Carbas B., Salinas M. V., Serrano C., Passarinho J. A., Puppo M. C., Ricardo C. P. & Brites C. (2019). Chemical composition and antioxidant activity of commercial flours from

Références bibliographiques

Ceratonia siliqua and *Prosopis* spp. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 305–311.

Chan D. C., Pang J., Romic G. & Watts G. F. (2013). Postprandial hypertriglyceridemia and cardiovascular disease: Current and future therapies. *Coronary Heart Disease*, 15 (309), 1–9.

Chait Y. A., Gunenc A., Bendali F. & Hosseinian F. (2020). Simulated gastrointestinal digestion and in vitro colonic fermentation of carob polyphenols: Bioaccessibility and bioactivity. *LWT*, 117, 108623.

Chellali N. (2018). Etude de l'effet de la gomme de caroube brute sur les caractéristiques physico-chimiques et organoleptique du fromage fondu. Mémoire de master. Département d'agronomie. Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira.

Chidambaram S.B., Bhat A., Ray B., Sugumar M., Muthukumar S.P., Manivasagam T., Justin Thenmozhi A., Essa M.M., Guillemain G.J. & Sakharkar M.K. (2020). Cocoa beans improve mitochondrial biogenesis via PPAR γ /PGC1 α dependent signalling pathway in MPP+ intoxicated human neuroblastoma cells (SH-SY5Y). *Nutr. Neurosci.* 23 (6), 471–480

Cho E.S., Jang Y.J., Kang N.J., Hwang M.K., Kim Y.T., Lee K.W. & Lee H.J. (2009). Cocoa procyanidins attenuate 4-hydroxynonenal-induced apoptosis of PC12 cells by directly inhibiting mitogen-activated protein kinase kinase 4 activity. *Free Radic. Biol. Med.* 46 (10), 1319–1327.

Cinar Z. Ö., Atanassova M., Tumer T.B., Caruso G., Antika G., Sharma S., Sharifi-Rad J. & Raffaele Pezzani. (2021). « Cocoa and Cocoa Bean Shells Role in Human Health: An Updated Review ». *Journal of Food Composition and Analysis* 103 (octobre): 104115.

Correia P.J. & Martins-Loução M.A. (2005). « The Use of Macronutrients and Water in Marginal Mediterranean Areas: The Case of Carob-Tree ». *Field Crops Research* 91 (1): 1-6.

Custodio L., Patarra J., Alberício F., Neng N. R., Nogueira M. F. & Romano A. (2015). In vitro antioxidant and inhibitory activity of water decoctions of carob tree (*Ceratonia Siliqua* L.) on cholinesterases, α -amylase and α -glucosidase. *Natural Product Research*, 6419 (29:22), 2155–2159.

Références bibliographiques

Dakia P.A., Wathelet B. & Paquot M.(2007). Isolation and Chemical Evaluation of Carob (*Ceratonia Siliqua L.*) Seed Germ. *Food Chem.* 102, 1368–1374.

-E-

El-Beshbishy H. A., Singab A. N. B., Sinkkonen J. & Pihlaja, K. (2006). Hypolipidemic and antioxidant effects of *Morus alba* L.(Egyptian mulberry) root bark fractions supplementation in cholesterol-fed rats. *Life Sciences*, 78(23), 2724–2733.

El-Haskoury R., Zizi S., Touzani S., Al-waili N., Al-ghamdi A., Abdallah M. B., York N. & Care, M. (2015). Diuretic activity of carob (*Ceratonia Siliqua L.*) honey: Comparison with furosemide. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 12, 128–133.

-F-

Febrianto., Ariefandie N., Wang S. & Zhu F. 2022. « Chemical and Biological Properties of Cocoa Beans Affected by Processing: A Review ». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62 (30): 8403-34.

-G-

García-Díez E., Sánchez-Ayora H, Blanch M, Ramos S, Martín M.A. & Pérez-Jiménez J. (2022). « Exploring a Cocoa–Carob Blend as a Functional Food with Decreased Bitterness: Characterization and Sensory Analysis ». *LWT* 165 (août): 113708.

Gillet S., Simon M., Paquot M. & Richel A. (2014). « Synthèse bibliographique de l'influence du procédé d'extraction et de purification sur les caractéristiques et les propriétés d'une gomme de caroube ». *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*

Gioxari, Aristeia, Charalampia Amerikanou, Irimi Nestoridi, Eleni Gourgari, Harris Pratsinis, Nick Kalogeropoulos, Nikolaos K. Andrikopoulos. & Andriana C. Kaliora. (2022). « Carob: A Sustainable Opportunity for Metabolic Health ». *Foods* 11 (14): 2154.

Goulas V. & Georgiou E. (2020). Utilization of carob fruit as sources of phenolic compounds with antioxidant Potential : Extraction optimization and application in food models. *Foods*, 9(20), 1–13.

Références bibliographiques

Graves D. B. (2012). The emerging role of reactive oxygen and nitrogen species in redox biology and some implications for plasma applications to medicine and biology. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 45, 1–42.

-H-

Heiss C., Sansone R., Karimi H., Krabbe M., Schuler D., Rodriguez-Mateos A., Kraemer T., Cortese-Krott M.M., Kuhnle G.G., Spencer J.P.E., Schroeter H., Merx M.W. & Kelm M. (2015). Impact of cocoa flavanol intake on age-dependent vascular stiffness in healthy men: a randomized, controlled, double-masked trial. *AGE* 37 (3), 56.

Heo H.J. & Lee C.Y. (2005). Epicatechin and catechin in cocoa inhibit amyloid β protein induced apoptosis. *J. Agric. Food Chem.* 53 (5), 1445–1448.

Hwalla N. & Jaafar Z. (2020). Dietary Management of Obesity: A Review of the Evidence. *Diagnostics*. 11, 24.

-I-

ICCO (2007) : International organisation of cocoa. <https://www.icco.org/> consulté en 2023.

-J-

Jang S., Sun J., Chen P., Lakshman S., Molokin A., Harnly J.M., Vinyard B.T., Urban Jr. J.F., Davis C.D. & Solano-Aguilar G. (2015). Flavanol-enriched cocoa powder alters the intestinal microbiota, tissue and fluid metabolite profiles, and intestinal gene expression in pigs. *J. Nutr.* 146 (4), 673–680.

Jaywant S.A., Singh H. & Arif K.M. (2022). « Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review ». *Sensors* 22 (6): 2290.

-k-

Kamei M., Nishimura H., Takahashi T., Takahashi N., Inokuchi K., Mato T. & Takahashi K. (2016). Anti-influenza virus effects of cocoa. *J. Sci. Food Agric.* 96 (4), 1150–1158.

Kosoko A., Olurinde O. & Akinloye O.A. (2017). Doxorubicin induced neuro-and cardiotoxicities in experimental rats: protection against oxidative damage by Theobroma cacao stem bark. *Biochem. Biophys. Rep.* 10, 303–317

-L-

Références bibliographiques

Lakkab I., El Hajaji H., Lachkar N., El Bali B., Lachkar M. & et Alin Ciobica. (2018). « Phytochemistry, Bioactivity: Suggestion of *Ceratonia Siliqua L.* as Neurodegenerative Disease Therapy ». *Journal of Complementary and Integrative Medicine* 15 (4): 20180013.

Latif R. (2013). « Chocolate/Cocoa and Human Health: A Review ». *the journal of medicine*. 71(2):63-8

Lecumberri E., Mateos R., Izquierdo-Pulido M., Ruperez P., Goya L. & Bravo L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao L.*). *Food Chem.* 104 (3), 948–954

Lefebvre A. & Bassereau J-F. (2003). « L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages. », 3-11.

Lushchak V. I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-Biological Interactions*, 224, 164–175.

-M-

Macho-Gonzalez A., Garcimartín A., Lopez-Oliva M. E., Bertocco G., Naes F., Bastida S., Sanchez-Muniz F. J. & Benedi J. (2017). Fiber purified extracts of carob fruit decrease carbohydrate absorption. *Food & Function*, 8(6), 2258–2265.

Macho-Gonzalez A., Garcimartín A., Naes F., Lopez-Oliva M. E., Amores-Arrojo A., Gonzalez-Munoz M. J., Bastida S., Benedí J. & Sanchez-Muniz F. J. (2018). Effects of fiber purified extract of carob fruit on fat digestion and postprandial lipemia in healthy rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 6734–6741

Magrone T., Matteo A R. & et Jirillo E. (2017). « Cocoa and Dark Chocolate Polyphenols: From Biology to Clinical Applications ». *Frontiers in Immunology* 8 (juin): 677.

Makris D.P., Boskou G. & Andrikopoulos N.K. (2007). Polyphenolic Content and In Vitro Antioxidant Characteristics of Wine Industry and Other Agri-Food Solid Waste Extracts. *J. Food Compos. Anal.* 20, 125–132.

Marita J. M., Nienhuis J., Pires J L. & Aitken W.M. (2001). Analysis of genetic diversity in *Theobroma cacao* with emphasis on witches' broom disease resistance. *Crop Science*, 41: 1305-1316.

Références bibliographiques

Mekhoukhe A., Kicher H, Ladjouzi L., Medouni-Haroune L., Brahmi F., Medouni-Adrar S. & Madani K. (2019). « Antioxidant Activity of Carob Seeds and Chemical Composition of Their Bean Gum by- Products ». *Journal of Complementary and Integrative Medicine* 16 (1): 20170158.

Montagna M T., Diella G., Triggiano F., Caponio G.R., De Giglio O., Caggiano G., Di Ciula A & Portincasa P. (2019). « Chocolate, “Food of the Gods”: History, Science, and Human Health ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (24): 4960.

Motamayor J.C., Risterucci A.M., Heath M. & Lanaud C. (2003). Cacao domestication II: progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity (Edinb)* 91 (3), 322–330.

Mudgil D. & Barak S. (2013). Composition , properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber : A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 1–6

Musa Özcan M., Arslan D. & Gökçalik H. (2007). « Some Compositional Properties and Mineral Contents of Carob (*Ceratonia Siliqua*) Fruit, Flour and Syrup ». *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 58 (8): 652-58.

-O-

Ozcan M.M., Arslan D. & Gökçalik H.(2009). Some Compositional Properties and Mineral Contents of Carob (*Ceratonia Siliqua*) Fruit, Flour and Syrup. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 58, 652–658.

Oziyci H.R., Tetik N., Turhan I., Yatmaz E., Ucgun K., Akgul H., Gubbuk H. & Karhan M.(2014). Mineral Composition of Pods and Seeds of Wild and Grafted Carob (*Ceratonia Siliqua* L.) Fruits. *Sci. Hortic.* 167, 149–152.

-P-

Papaefstathiou E., Agapiou, A., Giannopoulos S. & Kokkinofa R. (2018). Nutritional Characterization of Carobs and Traditional Carob Products. *Food Sci. Nutr.* 6, 2151–2161.

-Q-

Quezel P. & Santa. S. (1962). « Nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques Méridionales (tome 1) ». Edition du centre national de la recherche scientifique, Paris .PP : 557

Références bibliographiques

Quiles-Carrillo L., Mellinas C., Garrigos M. C., Balart R. & Torres-Giner S. (2019). Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds with antioxidant activity from carob pods. *Food Analytical Methods*, 12(July), 2480–2490.

-R-

Rtibi K, Selmi S., Grami D., Amri M., Eto B., El-benna J., Sebai H. & Marzouki L. (2017). « Chemical Constituents and Pharmacological Actions of Carob Pods and Leaves (*Ceratonia Siliqua L.*) on the Gastrointestinal Tract: A Review ». *Biomedicine & Pharmacotherapy* 93 (septembre): 522-28.

Ruiz-Aceituno L., Rodríguez-Sánchez S., Ruiz-Matute A.I., Ramos L., Soria A.C. & Sanz M.L. (2013). Optimisation of a Biotechnological Procedure for Selective Fractionation of Bioactive Inositols in Edible Legume Extracts. *J. Sci. Food Agric.* 93, 2797–2803

-S-

Saci F., Bachir M., Lynda L. & Chawki G. (2020). Changes in anticholinesterase , antioxidant activities and related bioactive compounds of carob pulp (*Ceratonia siliqua L.*) during ripening stages. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(2), 937–945.

Salih G et Jilal A. (2020). « Utilisation alimentaire de la pulpe de caroube : Formulation et test consommateur ». *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires.* 8(2): 249-252.

Sansone R., Rodriguez-Mateos A., Heuel J., Falk D., Schuler D., Wagstaff R., Kuhnle G.G., Spencer J.P., Schroeter H., Merx K, M. & Heiss C. (2015). Cocoa flavanol intake improves endothelial function and Framingham Risk Score in healthy men and women: a randomised, controlled, double-masked trial: the Flaviola Health Study. *Br. J. Nutr.* 114 (8), 1246–1255.

Schroeter H., Heiss C., Balzer J., Kleinbongard P., Keen C.L., Hollenberg N.K., Sies H., Kwik-Urbe C., Schmitz, H.H. & Kelm M. (2006). Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. *PNAS* 103 (4), 1024–1029.

-T-

Talbot G. (2012). « Chocolate and Cocoa Butter—Structure and Composition ». In *Cocoa Butter and Related Compounds*, 1-33.

Références bibliographiques

Turhan I. (2011). Optimization of Extraction of D-Pinitol and Phenolics from Cultivated and Wild Types of Carob Pods Using Response Surface Methodology. *Int. J. Food Eng.*

-V-

Valero-Munoz M., Ballesteros S., Ruiz-Roso B., Pérez-Olleros L., Martín-Fernandez B., Lahera V. & Las Heras N. (2019). Supplementation with an insoluble fiber obtained from carob pod (*Ceratonia siliqua L.*) rich in polyphenols prevents dyslipidemia in rabbits through SIRT1/PGC-1 α pathway. *European Journal of Nutrition*, 58(1), 357–366.

-W-

Wang Z. & Nakayama T. (2010). Inflammation, a Link between Obesity and Cardiovascular Disease. *Mediat. Inflamm.* 2010, 535918.

-Z-

Zhu B.J., Zayed M.Z., Zhu H.X., Zhao J. & Li S.P.(2019). Functional Polysaccharides of Carob Fruit: A Review. *Chin. Med.*

Annexe



Université Mohamed El Bachir EL Ibrahim

Fiche de dégustation

Sexe :

Age :

Veillez attribuer une note sur une échelle de 2 à 10 pour chaque échantillon.

Échelle

- 1- Fortement désagréable (2 points)
- 2- Légèrement désagréable (4points)
- 3- Agréable (6 points)
- 4- Légèrement agréable (8 points)
- 5- Fortement agréable (10 points)

Echantillon 01

	1	2	3	4	5
Texture					
Couleur					
Odeur					
Gout					
Acceptabilité					

Remarque :

Echantillon 02

	1	2	3	4	5
Texture					
Couleur					
Odeur					
Gout					
Acceptabilité					

Remarque :

Echantillon 03

	1	2	3	4	5
Texture					
Couleur					
Odeur					
Gout					
Acceptabilité					

Remarque :

Echantillon 04

	1	2	3	4	5
Texture					
Couleur					
Odeur					
Gout					
Acceptabilité					

Remarque :

Echantillon 05

	1	2	3	4	5
Texture					
Couleur					
Odeur					
Gout					
Acceptabilité					

Remarque :

Merci pour votre collaboration

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو دمج مسحوق الخروب بنسب مختلفة (0 ، 25 ، 50 ، 75 و 100٪) في الشوكولاتة ، وتقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للتركيبات التي تم الحصول عليها أظهرت نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية أن إضافة دقيق الخروب يزيد محتوى الرطوبة ودرجة البريكس وكذلك الأس الهيدروجيني مع تقليل محتوى الرماد وحموضة الكاكاو القابلة للمعايرة أظهر التقييم الحسي للشوكولاتة المصنعة أن مزيج مسحوق الخروب مع الكاكاو، بنسبة لا تتجاوز 25٪، أدى إلى تحسين الجودة الحسية للشوكولاتة

الكلمات الرئيسية: مسحوق الخروب. الكاكاو، دمج، شوكولاتة

Summary

The main objective of this study is to incorporate carob powder at different proportions (0, 25%, 50%, 75%, and 100%) into chocolate and evaluate the physicochemical and organoleptic properties of the resulting formulations.

The results of the physicochemical analyses revealed that the addition of carob flour increased the moisture content and Brix degree, while decreasing the ash content, titrable acidity, and pH of the cocoa. The sensory evaluation of the formulated chocolate showed that the combination of carob powder with cocoa, at a proportion not exceeding 25%, improved the sensory quality of the chocolate.

The key words: Carob powder; Cacao; Incorporation; Chocolate

Résumé

L'objectif principal de cette étude est d'incorporer la poudre de caroube à différentes proportions (0, 25, 50, 75 et 100 %) dans le chocolat, et d'évaluer les propriétés physico-chimiques et organoleptiques des formulations obtenues.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont révélé que l'ajout de farine de caroube augmente le taux d'humidité, le degré Brix ainsi que le pH, tout en diminuant le taux de cendres et de l'acidité titrable du cacao. L'évaluation sensorielle du chocolat formulé a montré que la combinaison de la poudre de caroube avec le cacao, dans une proportion ne dépassant pas 25 %, améliorait la qualité sensorielle du chocolat.

Les mots clés : Poudre de caroube ; Cacao, Incorporation ; Chocolat