

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Alimentaires
Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Valorisation du fruit de la caroube :
Élaboration d'un produit cosmétique**

Présenté par :

- AIT SAHEL Meriem
- MOUSSAOUI Tinhinane

Soutenu le : 02/07/2025

Devant les jurys composés de :

-Dr . TAFINIINE . Z	Présidente
-Dr. MEKHOUKHE. A	Encadrante
-Dr. DFLAOUI. L	Co encadrante
-Pr. BACHIR BEY. M	Examineur

Année Universitaire 2024 / 2025

Remerciements

En premier lieu, nous rendons grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, le courage et la patience nécessaires à l'achèvement de ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promotrice, MEKHOUKHE.A enseignante à l'université A. Mira Bejaia, pour son encadrement rigoureux, ses conseils avisés et sa disponibilité constante. Son expertise et sa bienveillance ont constitué un appui précieux à chaque étape de ce travail. Nos remerciements vont également à notre co-promotrice, Mme DEFLAOUI.L, enseignante à l'université A. Mira Bejaia, pour son regard attentif et ses remarques pertinentes qui ont grandement enrichi cette étude. Leur confiance et leur accompagnement ont été pour nous une source de motivation essentielle.

Nous exprimons également notre gratitude aux membres du jury, Mme. SOUFI OUAHIBA, enseignante à l'université A. Mira Bejaia, pour avoir accepté de présider ce jury, M. BACHIR BEY Mostapha, enseignant à l'université A. Mira Bejaia pour avoir accepté d'examiner ce travail et d'y apporter leur évaluation critique.

Nos remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe du laboratoire de la DSP (Direction de la Santé Publique) de la wilaya de Béjaïa, pour leur accueil chaleureux, leur collaboration et leur soutien tout au long de cette recherche. Nous remercions également Mme DIB.S, ainsi que l'ensemble de l'équipe du laboratoire de technologie alimentaire de l'université, pour leur disponibilité durant nos travaux pratiques.

Un remerciement tout particulier est adressé au laboratoire d'analyses médicales Dr S. BOUMRAR, dont le geste empreint de générosité et de confiance a représenté bien plus qu'un simple appui logistique : un encouragement discret mais profondément motivant, que nous n'oublierons pas.

Nous remercions aussi l'ensemble des enseignants et intervenants de la formation QPSA pour la qualité de leur enseignement et leur engagement tout au long de notre parcours académique. Nous n'oublions pas nos camarades de promotion, que nous remercions pour leur aide, leur soutien, leurs encouragements et les agréables moments partagés durant ces années d'études.

Enfin, nos remerciements les plus chaleureux vont à toutes les personnes, de près ou de loin, ayant contribué à l'aboutissement de ce travail.

DEDICACE

Toutes les lettres ne sauraient suffire à exprimer ce que je ressens...
Tous les mots paraissent trop faibles pour dire ma reconnaissance, mon amour, mon respect et ma gratitude.

C'est donc avec humilité et émotion que je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents

Merci pour votre amour inconditionnel, pour les sacrifices consentis dans le silence,
Pour votre soutien constant, et pour l'éducation et les valeurs que vous m'avez transmises.

Je vous suis profondément reconnaissante. Votre confiance et vos prières m'ont portée jusqu'ici.

Être votre fille est un honneur, je suis fière d'en être ding.

À mes trois frères,

Merci pour votre protection, votre soutien discret mes précieux, votre présence rassurante, et l'affection que vous m'avez toujours témoignée .

Être la seule fille parmi vous a toujours été une force .

À mes professeurs et collègues,

Merci pour vos enseignements, votre accompagnement, et votre bienveillance tout au long de ce parcours académique

À , mes ami(e)s,

A toute ceux que j'aime et à ce qui m'aiment,
je vous dédie cette réussite, car elle vous appartient aussi.

Avec toute ma reconnaissance et tendresse

Meriem

DEDICACE

Avant que ce mémoire ne prenne vie sur le papier, il a été nourri par des encouragements, des sourires, des sacrifices et une présence constante.

Je dédie ce modeste Travail...

À mes chers parents,

Merci pour votre patience, vos sacrifices, et surtout, votre amour inconditionnel. Il n'existe pas de mots assez forts pour exprimer ma reconnaissance envers vous. Maman, ton amour sans condition, ta douceur et ta foi en moi m'ont souvent donné la force de continuer.

Papa, ta sagesse, ton calme et ton soutien discret m'ont enseigné la persévérance et l'humilité.

À mes deux sœurs adorées,

Votre complicité et votre bienveillance ont été une lumière tout au long de ce chemin. Merci d'avoir toujours su trouver les mots justes et d'avoir cru en moi, même dans les moments où je doutais.

À mon unique frère,

Ton regard bienveillant, ta fierté discrète et ta présence protectrice ont toujours été pour moi une source de courage.

À mes précieuses amies,

Vous avez été là dans les instants de fatigue comme dans les éclats de joie. Merci pour vos mots d'encouragement, votre patience, vos fous rires, et cette présence qui fait toute la différence.

À celui qui, malgré la distance, a su être là sans jamais être ici, mais toujours au bon moment.

À vous tous, je dédie ce mémoire avec émotion, tendresse et infinie reconnaissance

Tinhinane

Liste des abréviation

AFNOR : Association Française de Normalisation

ARP : Activité radicalaire primaire

BCB : Bleu de crésyl brillant

BSA : Albumine Sérique Bovine

DA : Dermate Atopique

DICLOR : Diclofénac

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

E : Échantillon

EAG : Equivalent acide gallique

EMB : Eosin Methylene Blue

FAMT : Flore aérobie mésophile totale

GAMT : Germes aérobies mésophiles totaux

GC : Gomme de caroube

GC : Giolitti-Cantoni

GR : Globules rouges

ISO : Organisation internationale de normalisation

J O R A : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

PCA : Plate Count Agar

TAT: Trypton Salt Diluent

VRBL :Violet Red Bile Lactose Agar

Liste des figures

Figure 1 : Arbre de caroubier	3
Figure 2 : Fruit de caroubier.....	4
Figure 3 : Graines de caroube.....	5
Figure 4 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde	7
Figure 5: Carte géographique de la distribution de caroubier en Algérie.....	7
Figure 06 : Plan de travail.....	8
Figure 07 : Localisation de la zone d'étude.....	9
Figure 08 : a): Pulpe, b): Graines.....	10
Figure 9 : Différentes étapes de la production de la gomme de caroube a) graines macérés dans l'eau distillée ; b) enveloppes ; c) germes ; d) endospermes ; e) gomme de caroube brute	11
Figure 10: Suivie de pH de la crème au cours du temps.....	23
Figure11 : Évolution de la viscosité A) 40°C ; B) 25°C ; C) 4°C.....	27
Figure12 : Teneur en polyphénols totaux des échantillons de crèmes.....	29
Figure 13 : Cinétique de réduction du radical DPPH°au cours du temps à 1000ug/m.....	31
Figure14 : Pourcentage d'inhibition vs concentration	31
Figure15: Évolution de la cytotoxicité (%) des différentes concentrations de crème hydratante en fonction du temps d'incubation.....	34
Figure 16: Activité anti inflammatoire des différentes formules de crème.....	35
Figure 17: Courbe de niveau et carte des préférences.....	38

Figures en annexe

Figure 1 : A) Viscosimètre rotatif (modèle SNB-1) B) Spindles
Figure 2 : Principales étapes de préparation des échantillons de crèmes hydratantes
Figure 3 : Préparation du globule rouge et la solution des GR pour le test de cytotoxicité
Figure 4 : Courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique (mg EAG/g MS)
Figure 5 : courbe d'étalonnage établie avec du glucose

Figure 6 : courbe d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/mL)

Figure 7 : Préparation de paillasse pour l'analyse microbiologique

Figure 8 : Principales étapes de préparation de la solution mère et ensemencement de *staphylococcus aureus*

.

Liste des tableaux

Tableau I : Composition des échantillons de crème préparées.....	14
Tableau II : Conditions spécifiques pour les microorganismes recherchés	19
Tableau III : Propriétés physiques de la gomme (GC) et la pulpe de caroube.....	20
Tableau IV : Propriétés chimique de la gomme (GC) et la pulpe de caroube.....	21
Tableau V: Résultats de la détermination de l'acidité titrable des échantillons de crèmes hydratante.....	37
Tableau VI: Valeurs des IC50 et ARP des différents extraits et standards utilisés	32
Tableau VII: Résultats microbiologique des échantillons de crème hydratante.....	36

Tableaux en annexe

Tableau I : Critères microbiologiques pour les produits cosmétiques et d'hygiène corporelle	
---	--

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....1

Partie bibliographique

I. Généralités sur le caroubier.....3

I.1 Etymologie et Taxonomie3

I.2 Description botanique3

I.3. Origine du caroubier5

I.4 Situation géographique dans le monde.....6

Partie pratique

I. Matériel et méthodes.....8

I.1 Plan de travail.....8

I.2. Matériel végétal.....9

I.2.1. Préparation de la matrice végétale9

I.2.2. Extraction de la gomme10

I.3. Analyses physicochimiques de la gomme et la pulpe de caroube :.....11

I.3.1 Test d'humidité :11

I.3.2 Détermination du pH.....11

I.3.3 Détermination du degré Brix.....12

I.3.4 Détermination de la teneur en sucres totaux.....12

I.3.5 Détermination des protéines.....12

I.3.6 Dosage des lipides12

I.3.7 Dosage des cendres13

I.4 Essai de formulation d'une crème hydratante à base de caroube13

I.4.1 Préparation des échantillons de la crème.....13

I.4.2 Ingrédients utilisés	13
I.4.3 Formulation de la crème	13
I.5. Contrôle de la stabilité des produits élaborés	14
I.5.1 suivi du pH	14
I.5.2 Étude de la qualité de l'émulsion	14
I.5.2.1 Contrôle macroscopique	14
I.5.2.2 Contrôle des caractéristiques rhéologiques	15
I.5.2.2.1 Détermination de la Viscosité	15
I.5.3 Détermination de l'acidité	15
I.6. Dosage des polyphénols.....	16
I.7. Evaluation de certaines activités biologiques	16
I.7.1 Activité antioxydante par piégeage du radical DPPH.....	16
I.7.2. Évaluation in vitro de la cytotoxicité.....	17
I.7.3 Évaluation de l'activité anti inflammatoire	17
I.8. Analyse microbiologique :.....	18
I.9. Analyse sensorielle	19
I.10. Analyse statistique.....	19

II. Résultats et discussions

II.1 Analyses physico-chimiques de la gomme et la pulpe de caroube.....	20
II.1.1. Analyse physiques.....	20
II.1.2. Analyses chimiques.....	21
II.2. Contrôle de la stabilité de la crème hydratante formulée.....	23
II.2.1 Suivi du pH.....	22
II.2.2. Contrôle macroscopique.....	24
II.2.3. Contrôle des caractéristiques rhéologiques	25
II.2.3.1 Suivi de la viscosité.....	25
II.3. Détermination de l'acidité	27
II.4. Dosage des polyphénols.....	28
II.5 Évaluation de certaines activités biologiques	29

II.5.1. Évaluation de l'activité antioxydante (Test DPPH).....	29
II.5.2. Test de cytotoxicité	32
II.5.3. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire.....	34
II.6. Analyse microbiologique.....	36
II.7. Analyse sensorielle.....	37
II.7.1 Courbe de niveau et carte des préférences.....	38

Conclusion.....	40
------------------------	-----------

References bibliographiques

Annexes

Résumé

Introduction

Introduction

Depuis l'Antiquité, les ressources naturelles ont constitué une source précieuse pour répondre aux besoins fondamentaux de l'être humain, notamment en matière d'alimentation, de santé et d'hygiène. Parmi les nombreuses plantes reconnues pour leurs bienfaits, la caroube (*Ceratonia siliqua L.*), un arbre emblématique du pourtour méditerranéen, suscite un intérêt croissant en raison de ses nombreuses vertus. Utilisée de manière traditionnelle dans l'alimentation et la médecine populaire, cette plante se distingue par la richesse de ses composés bioactifs, présents aussi bien dans la pulpe de ses gousses que dans ses graines (**Goulas et al., 2016**).

La gousse de caroube, souvent considérée comme un sous-produit de l'industrie agroalimentaire, renferme pourtant une richesse insoupçonnée en composés bioactifs. Elle est composée d'une pulpe sucrée et d'un ensemble de graines enfermées dans une cosse rigide. La pulpe, qui représente environ 90 % du poids total de la gousse, est naturellement riche en sucres simples (notamment le saccharose, le glucose et le fructose), en fibres alimentaires insolubles, ainsi qu'en composés phénoliques tels que les flavonoïdes et les tanins. Ces composés sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, apaisantes et protectrices de la barrière cutanée (**Ikram et al., 2023**).

Les graines, quant à elles, renferment un mucilage précieux : la gomme de caroube, aussi appelée gomme de graines de caroube ou locust bean gum. Il s'agit d'un polysaccharide utilisé couramment comme agent épaississant ou stabilisant dans l'industrie alimentaire, mais qui trouve aussi sa place dans les formulations cosmétiques, notamment pour sa capacité à former un gel doux, à retenir l'eau et à améliorer la texture des émulsions. La richesse en protéines ainsi qu'en divers nutriments présents dans les sous-produits de la caroube, tels que les extraits de pulpe ou de graines, leur confère des propriétés intéressantes pour la peau. Utilisés en cosmétique, ces composants peuvent contribuer à l'hydratation, à la nutrition cutanée et à la protection de la barrière épidermique (**Medronho et al., 2025**).

Ainsi, loin d'être un simple résidu agricole, la caroube peut être considérée comme une source naturelle polyvalente, offrant des composants d'intérêt pour la formulation de produits cosmétiques innovants, doux et efficaces.

Dans un contexte où les consommateurs sont de plus en plus attentifs à la composition des produits qu'ils utilisent, la cosmétique naturelle connaît un essor remarquable. Cette tendance s'accompagne d'une volonté croissante de revenir à des formules simples, sans

substances controversées, et basées sur des ingrédients d'origine végétale, biodégradables et respectueux de l'environnement. Les industriels, les formulateurs et les chercheurs s'intéressent donc activement aux plantes locales, durables et peu exploitées, capables d'apporter à la fois efficacité, sécurité et naturalité.

La caroube s'inscrit parfaitement dans cette dynamique. En tant que plante méditerranéenne abondante, souvent sous-valorisée, elle représente une ressource locale prometteuse pour le développement de cosmétiques éco-responsables. Grâce à ses propriétés hydratantes, antioxydantes, filmogènes et adoucissantes, elle peut être intégrée dans différentes formulations comme les crèmes hydratantes, les lotions ou encore les savons solides doux pour le nettoyage quotidien de la peau. Ces derniers, également appelés pains nettoyants, se positionnent aujourd'hui comme des alternatives durables aux gels douche liquides, en réduisant l'usage de plastique tout en offrant des formules plus concentrées et plus douces.

Le travail s'articule autour de deux grandes parties : une étude bibliographique et une démarche expérimentale. Dans la première partie, une revue détaillée de la littérature est présentée, abordant la caroube sous différents angles. Sont notamment explorées ses caractéristiques botaniques, les composants bioactifs présents dans ses gousses et graines (à l'instar la pulpe et la gomme), ainsi que ses diverses applications.

La deuxième partie du mémoire se concentre sur la démarche expérimentale, qui débute par une description complète du matériel végétal utilisé pour l'élaboration des formulations. Le processus de préparation de la crème hydratante est ensuite détaillé, en précisant les étapes, les ingrédients choisis, ainsi que les méthodes de formulations employées. Enfin, une série d'analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles est réalisée pour évaluer la performance et l'acceptabilité des produits finis. Le mémoire se termine par une présentation des résultats obtenus, suivie d'une discussion approfondie des observations et d'une conclusion générale et des perspectives.

Partie bibliographique

I. Généralité sur le caroubier

I.1. Etymologie et Taxonomie

Ceratonia siliqua L. est le nom botanique du caroubier. Cette plante appartient à la famille des Fabacées et son nom dérive du mot grec « Kera ». Les fruits du caroubier présentent une forme kératomorphe, ce qui explique l'utilisation du mot latin siliqua, en référence à la dureté et à la forme des gousses (Battel et al., 1997 ; Papaefstathiou et al., 2018).

Concernant l'étymologie scientifique du caroubier, il est intéressant de noter que son nom commun trouve son origine dans le mot hébreu « kharuv ». Cette racine linguistique a donné naissance à différents termes dans d'autres langues, tels que « kharrub » en arabe, « algarrobo » en espagnol, « carrubo » en italien, « caroubier » en français, ainsi que « garrofer » ou « garrover » en catalan (Rejeb, 1995).

I.2. Description botanique

Le caroubier est un arbuste ou arbre à feuillage persistant cultivé en Méditerranée pour ses gousses riches en sucre et ses graines gommeuses. Il atteint une hauteur de 8 à 17 m à l'état sauvage, mais les arbres cultivés sont plus petits. Il possède une large couronne hémisphérique, un tronc épais et des branches robustes (Figure 01) (Battel et al., 1997).

Il possède un système racinaire étendu avec une racine pivotante profonde et des racines latérales.

Ses feuilles sont alternes, pennées, avec ou sans folioles terminales, et mesurent de 10 à 20 cm de long. Les folioles vert foncé ont un épiderme très épais contenant de grandes quantités de tanins (Shepperd 2008).



Figure 02 : Arbre de caroubier (Mekhoukhe et al., 2025).

Les fruits du caroubier se présentent sous forme de gousses indéhiscentes, allongées, (Figure. 02) comprimées, pouvant être droites ou légèrement recourbées, et caractérisées par un épaississement au niveau des sutures. Ces gousses, Communément appelées caroubes, sont de grande taille, mesurant entre 10 et 30 cm de long, 1,5 à 3,5 cm de large, et environ 1 à 2 cm d'épaisseur. Le poids moyen d'une caroube varie entre 15 et 30 grammes.

À l'intérieur, la gousse est compartimentée par des cloisons pulpeuses, renfermant entre 12 et 16 graines de couleur brune. Ces graines, uniformes en poids, mesurent environ 8 à 10 mm de long et 7 à 8 mm de large, et deviennent extrêmement dures à maturité. Au cours du développement, la couleur de la caroube évolue du vert au brun foncé à pleine maturité (Evreinoff, 1948 ; Batlle et Tous ,1997).



Figure 02 : Fruits du caroubier (Mekhoukhe et al., 2025).

La pulpe du fruit est composée de trois parties distinctes : le péricarpe, le mésocarpe et l'endocarpe. Le péricarpe, également appelé la peau, est de nature fibreuse et colorée. Le mésocarpe, ou pulpe proprement dite, présente une texture charnue et une richesse notable en sucres. Il constitue environ 70 à 95 % de la masse totale du fruit. Enfin, l'endocarpe, de nature également fibreuse, tapisse l'intérieur du fruit et le divise en compartiments ou loges carpellaires, dans lesquels sont logées les graines (Caja, 1985).

Cette pulpe, particulièrement sucrée, nutritive et rafraîchissante, est très appréciée par les populations des régions méditerranéennes pour sa valeur alimentaire (Evreinoff, 1947 ; Batlle et Tous, 1997).

Les graines de *Ceratonia siliqua* L (Figure. 03), se trouvent à l'intérieur des gousses, en nombre variable de 5 à 16, 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 des conditions climatiques (**Melgarejo & Salazar, 2003 ; Ait Chitt et al., 2007**). Ces graines sont de petite taille, de forme ovale et aplatie, avec une extrémité basale tronquée et une extrémité apicale également aplatie. La graine de caroube est composée de trois parties distinctes. Le tégument, couche externe dure, lisse et de couleur brune, représente 30 à 33 % du poids total. La radicule, ou embryon, constitue quant à elle 23 à 25 % de la graine ; elle est riche en protéines hydrosolubles et en lipides majoritairement insaturés, ce qui lui confère une forte valeur énergétique. Enfin, l'endosperme, situé entre le tégument et la radicule, représente 40 à 50 % du poids de la graine. C'est dans cette partie que se concentre la gomme de caroube (**Dakia et al., 2008 ; Dakia, 2011**).

D'après **Battle et Tous (1997)**, les graines mesurent entre 8 et 10 mm de long, 6 à 8 mm de large, et présentent une épaisseur de 3 à 5 mm (**Gharnit et al., 2006 ; Mahdad & Guaour, 2016**).



Figure 03 : Graines de caroube (**Mekhoukhe et al., 2025**).

I.3. Origine du caroubier

L'origine exacte de l'espèce *Ceratonia siliqua* demeure incertaine, en raison de divergences entre les auteurs à ce sujet. Toutefois, plusieurs hypothèses suggèrent que cette espèce serait probablement originaire des régions orientales du bassin méditerranéen, notamment de la Syrie et de la Turquie (**Battle et Tous, 1997**). Des études archéobotaniques fondées sur l'analyse de restes carbonisés de bois et de fruits indiquent la présence de *Ceratonia siliqua* dans cette région bien avant l'émergence de l'agriculture (**Zohary, 2002**). La culture du caroubier remonte à plusieurs millénaires, et serait attestée depuis au moins 2000 ans avant

notre ère. En effet, les Égyptiens connaissaient déjà cet arbre dès le XVI^e siècle avant. J.-C. (Evreinoff, 1947).

Selon Zohary (1973), le caroubier serait issu d'une flore xérotropicale Indomalésienne côtés d'espèces telles que *Olea*, *Laurus* et *Myrtus* (Batlle et Tous, 1997). Par ailleurs, son caractère thermophile ainsi que sa présence sur les hauts plateaux du Yémen appuient l'hypothèse d'une origine située dans le sud de la péninsule Arabique (Liphschitz, 1987).

La découverte de *Ceratonia oreoethauma*, seule espèce connue comme proche parente du caroubier, dont le centre d'origine se situe dans le sud-est de la péninsule Arabique (Oman) ainsi que dans la région de la Corne de l'Afrique (nord de la Somalie), semble renforcer l'hypothèse d'une origine méridionale arabe pour *Ceratonia siliqua* (Hillcoat et al., 1980).

I.4. Situation géographique dans le monde

Le caroubier est présent dans plusieurs pays du Moyen-Orient, notamment en Turquie, à Chypre, en Syrie, au Liban, en Israël, dans le sud de la Jordanie, en Égypte, en Arabie, ainsi qu'en Tunisie, Algérie et en Libye, avant de s'étendre vers l'ouest du bassin méditerranéen (Hillcoat et al., 1980). Sa propagation s'est poursuivie grâce aux Grecs, qui l'ont introduit en Grèce et en Italie, puis aux Arabes, qui l'ont diffusé le long de la côte nord-africaine ainsi que dans le sud et l'est de l'Espagne. Aujourd'hui, le caroubier est également implanté dans le sud du Portugal et le sud-est de la France.

Outre la Méditerranée, la culture de la caroube s'est développée dans d'autres régions au climat similaire, notamment en Australie, en Afrique du Sud, aux États-Unis (particulièrement en Arizona et en Californie du Sud), aux Philippines et en Iran (Bertrand, 2013) (Figure. 04).

En règle générale, la distribution des espèces d'arbres tels que le caroubier est limitée par la sensibilité au stress lié au froid (Diamantoglou et al., 1981). À titre d'exemple, *Ceratonia oreoethauma*, une espèce plus sensible au froid, présente une distribution restreinte exclusivement aux régions d'Oman et du nord de la Somalie (Hillcoat et al., 1980). Dans les zones basses du bassin méditerranéen (entre 0 et 500 mètres d'altitude, rarement jusqu'à 900 mètres), le caroubier constitue une essence dominante et caractéristique du maquis méditerranéen d'arbres sclérophylles (Zohary et al., 1959).



Figure 04 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (Batlle et Tous, 1997)

En Algérie, la répartition géographique du caroubier s'effectue selon deux axes d'analyse : le critère climatique et celui de la production. Sur le plan productif (voir la Figure5), les principales régions de culture se situent dans les wilayas de Béjaïa, Blida, Tipaza, Boumerdès, Aïn Defla, Bouira, Tlemcen, Mila, Mascara, Tizi Ouzou et Bordj Bou Arréridj.

D'un point de vue climatique, la distribution du caroubier s'étend essentiellement aux zones collinaires bien exposées au soleil, situées dans les régions littorales et sublittorales telles que le Sahel algérois, le massif du Dahra, la Grande et la Petite Kabylie, ainsi que les vallées de la Soummam (1074 ha) et de l'Oued Isser. On le retrouve également dans les collines oranaises, les coteaux de Mostaganem caractérisés par un climat semi-aride chaud, ainsi que dans les plaines de Bône, la Mitidja et diverses vallées intérieures (1054 ha) (Quézel et Santa, 1962).

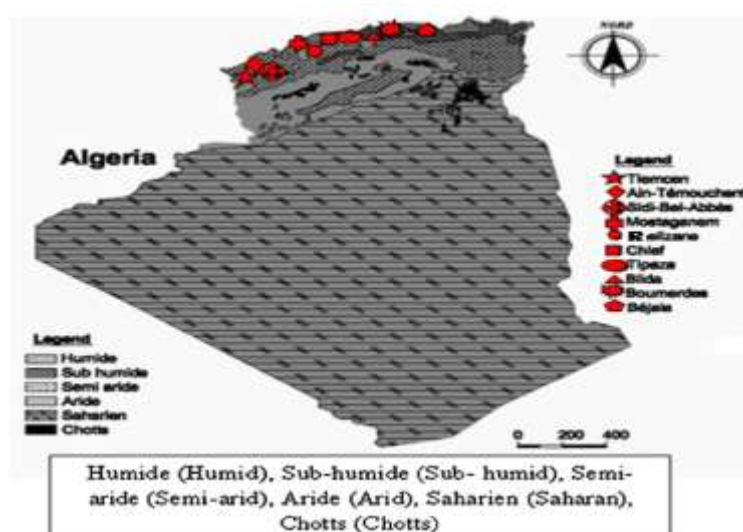


Figure 05: Carte géographique de la distribution de caroubier en Algérie (Boublenza et al., 2019).

Partie pratique

Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I.1. Plan de travail

Le présent travail porte sur la formulation d'une crème hydratante à base de caroube. La première partie est consacrée à l'essai de formulation de différents échantillons, tandis que la seconde s'intéresse à la détermination de certains paramètres physico-chimiques, à l'évaluation de la stabilité des formulations, à l'étude de quelques activités biologiques, ainsi qu'à des analyses microbiologique et sensorielle. L'ensemble des manipulations a été réalisé au laboratoire de technologie alimentaire (Bloc 12) de l'Université de Béjaïa.

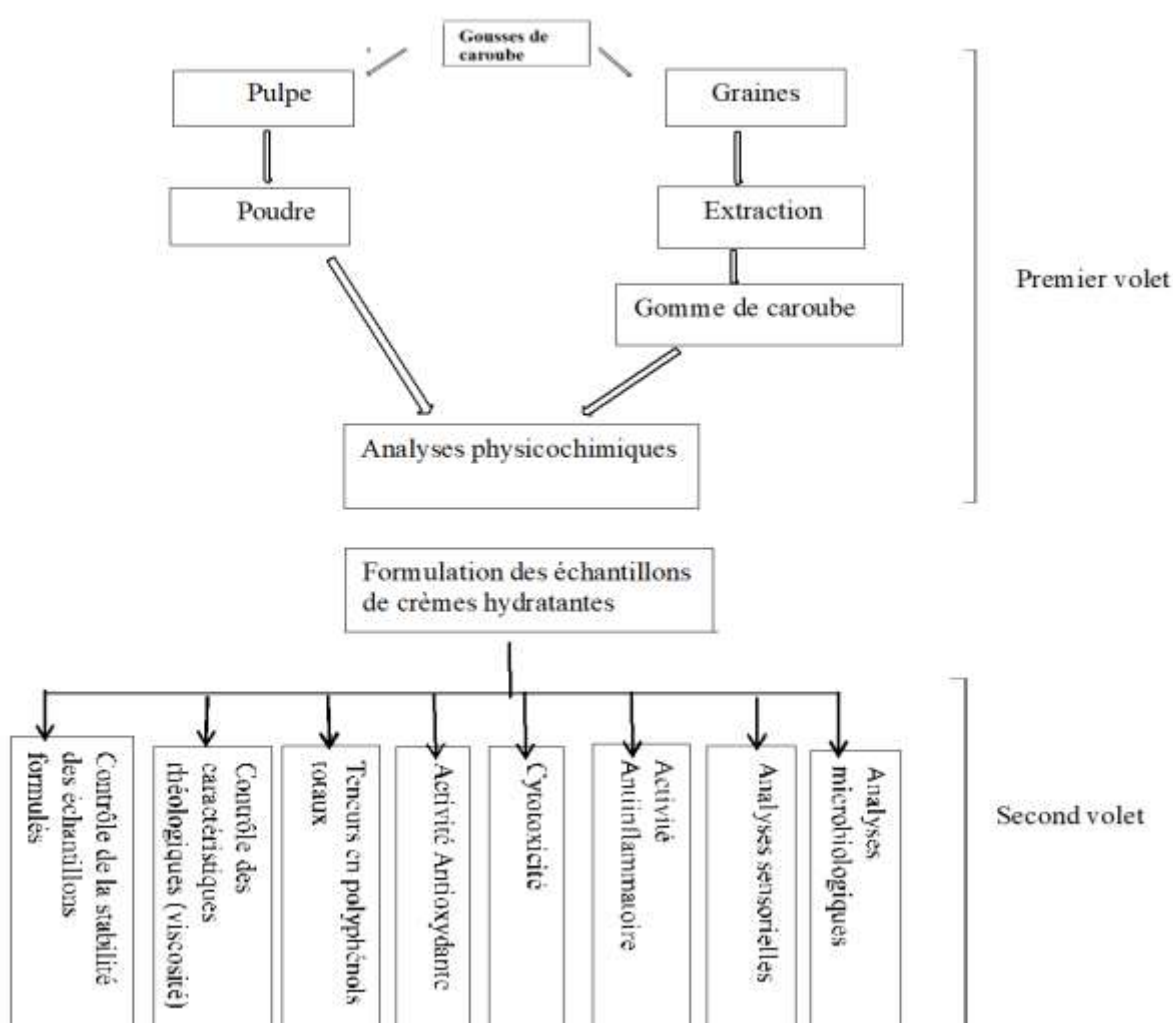


Figure 06 : Plan de travail

I.2. Matériel végétal

I.2.1. Préparation de la matrice végétale

La matière végétale est constituée de fruits, appelés gousses de caroube, appartenant à l'espèce *Ceratonia siliqua*. Ces fruits proviennent de la région d'Imazayen, située au nord-est de la wilaya de Bejaïa, dans la commune de Boulimat, en Algérie, aux coordonnées géographiques suivante: latitude 36°48'17" et longitude 4°66'12" (Figure 07)

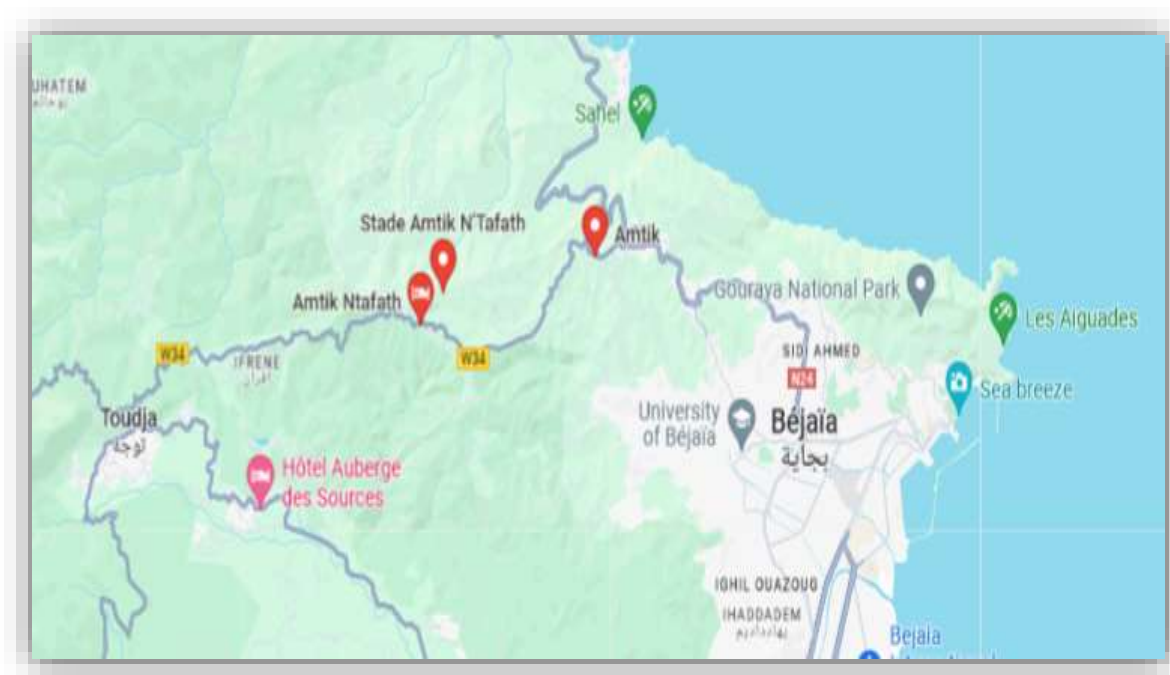


Figure 07 : Localisation de la zone d'étude (Google Maps)

Une identification a été réalisée au niveau du laboratoire de physiologie végétale, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia.

Les gousses ont été séchées à l'ombre pendant plus de 3 semaines. Les graines ont été ensuite séparées des pulpes et récupérées (Figure 08)

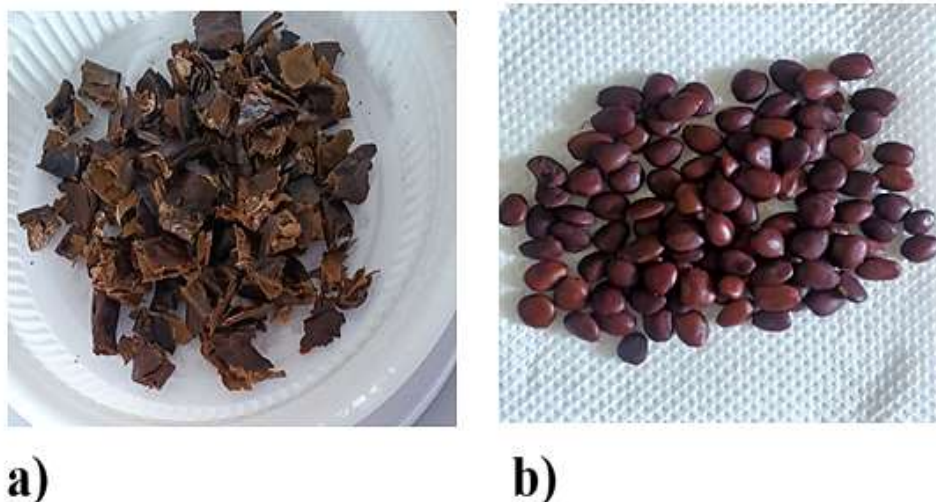


Figure 08 : a) : Pulpe, b) : Graines

I.2.2. Extraction de la gomme

L'extraction a été réalisée selon plusieurs étapes (Figure 09)

- **Traitement à l'eau distillée**

Pour la séparation de l'endosperme des autres constituants, une masse de graine additionnée a un volume d'eau sont ensuite chauffés à 100 °C pendant 1h.

- **Décorticage**

Les graines ont été par la suite récupérées, lavées avec l'eau distillée, ensuite les germes ont été séparées de l'endosperme. Cette étape se fait manuellement.

- **Séchage, broyage et tamisage**

Les endospermes récupérés ont été séchés à l'abri de la lumière pendant 2 jours, puis broyés pour obtenir une poudre jaunâtre. Cette poudre est ensuite tamisée à l'aide d'un tamiseur de diamètre (125 μm).

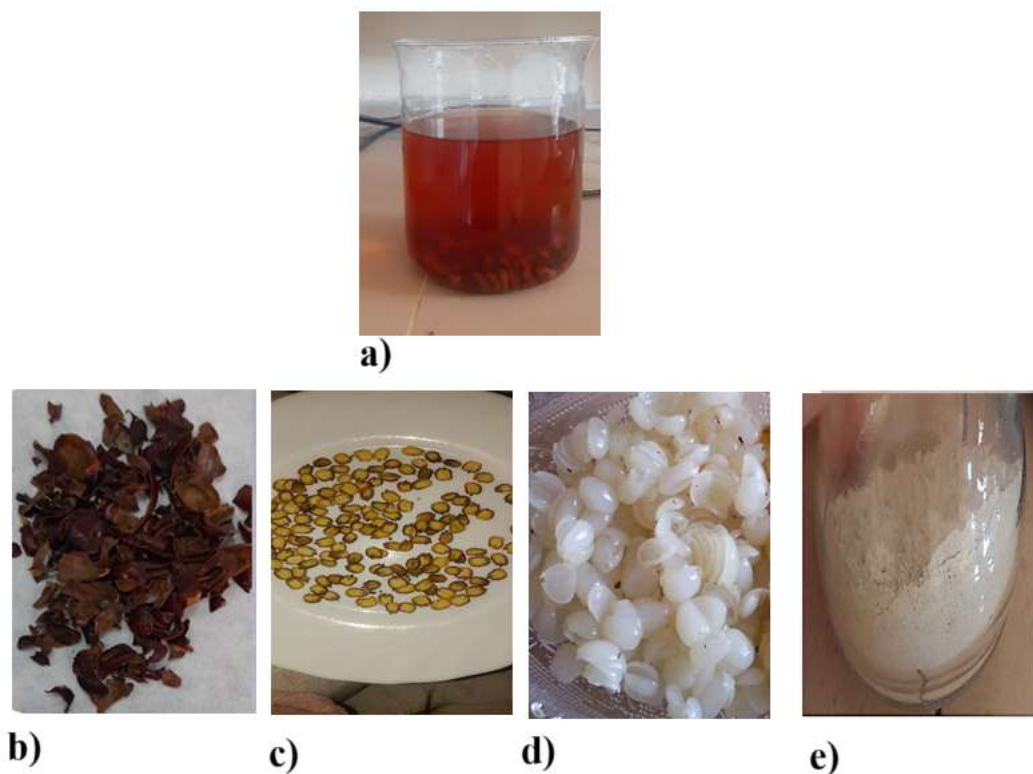


Figure 09 : Différentes étapes de la production de la gomme de caroube a) graines macérées dans l'eau distillée ; b) enveloppes ; c) germes ; d) endospermes ; e) gomme de caroube brute

I.3. Analyses physicochimiques de la gomme et de la pulpe de caroube

I.3.1. Test d'humidité

Après la récupération de la gomme et de la pulpe, un test d'humidité a été réalisé selon la méthode de l'**AOAC (2000)**. Pour ce faire, 100 mg d'échantillon ont été séchés pendant 3 h à 105 °C, puis repesés après séchage. Les résultats sont exprimés comme suit :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{MF - MS}{P} \times 100$$

MF: Masse de la matière végétale avant séchage (mg).

Ms: Masse de la matière végétale après séchage (mg).

P : Masse de la prise d'essai (mg)

I.3.2 Détermination du pH (NF V 05-108, 1970)

Des solutions de GC à 0,1% et de pulpe ont été préparées. Après refroidissement, plonger la sonde de pH mètre dans les solutions et faire la lecture.

I.3.3 Détermination du degré Brix

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

I.3.4 Détermination de la teneur en sucres totaux

La méthode utilisée pour déterminer les sucres totaux est basée sur le protocole de phénol-sulfurique décrite par **Dubois et al., (1956)** avec quelques modifications : un aliquote de chaque échantillon est dissoute dans un volume d'éthanol à 80 %, le mélange est soumis à une agitation de 2 h. Après filtration, les filtrats obtenus sont ajoutés à 1 mL de phénol à 5 % et 5 mL H₂SO₄. Ces mélanges sont agités à température ambiante pendant 20 min, une coloration jaune apparaît.

La mesure de l'absorbance est réalisée à 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible, permettant ainsi de déterminer la teneur en sucres totaux à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec du glucose (Figure en annexe 6).

I.3.5 Détermination des protéines

La quantité en protéines est estimée d'après la méthode décrite par **Kielkopf et al., (2020)**, Avec quelques modifications. Un volume de chaque échantillon est ajouté à un volume de réactif de Bradford. Après agitation le mélange est laissé à l'obscurité pendant quelques minutes. La lecture est réalisée au moyen d'un spectrophotomètre (UV-visible) à une longueur d'onde de 590 nm après avoir réalisé un balayage de 800-400nm. Une courbe d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/mL) (Figure en annexe 6).

I.3.6. Dosage des lipides

L'estimation de la teneur en lipides est basée sur le protocole décrit par **De Pádua et al., (2004)**. La méthode implique l'extraction d'une masse de poudre de gomme et de pulpe à l'aide d'un Soxhlet pendant 4 h en utilisant un volume d'éther diéthylique. Après évaporation du solvant, les résidus sont considérés comme étant des lipides.

I.3.7. Dosage des cendres (AOAC, 2006)

La poudre est placée dans un four à moufle chauffé à 600°C et maintenue à cette température pendant une durée de 6 h pour une incinération. La quantité de cendres est exprimée en pourcentage (%) selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en Cendres (\%)} = \frac{m1-m2}{m_i} \times 100$$

m1 : Masse (g) de creuset avec cendre après incinération

m2 : Masse (g) de creuset vide

mi : Masse (g) initiale d'échantillon

I.4. Essai de formulation d'une crème hydratante à base de caroube

I.4.1. Préparation des échantillons de la crème

Cinq échantillons de crèmes hydratantes ont été formulés au laboratoire de l'université de Bejaia en faisant varier les proportions d'hydrolat de pulpe de caroube (30 à 80 %) afin d'étudier leur effet sur les caractéristiques physico-chimiques et la stabilité.

I.4.2 Ingrédients utilisés

Un assortiment d'ingrédients a été utilisé pour élaborer la crème hydratante, incluant de l'eau distillée, de l'hydrolat de pulpe de caroube, épaississants à l'instar la gomme de caroube, émulsifiants, conservateurs, régulateur d'acidité et mélange d'huiles végétales.

I.4.3 Formulation de la crème

La première étape consiste à mélanger la phase aqueuse composée d'hydrolat de pulpe de caroube, des épaississants et des conservateurs jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène, entre temps, préparer la phase huileuse composés d'émulsifiants et de mélange d'huiles préalablement chauffés.

Ajouté la phase huileuse dans la phase aqueuse puis homogénéisé jusqu'à l'obtention d'une texture lisse et homogène. Le produit obtenu a été mis dans des bocaux en verre stériles. La composition des différents échantillons formulés est présentée dans le Tableau ci-dessous

Tableau I : Composition des échantillons de produits cosmétiques préparées

Echantillons	Compositions			
	Pulpe %	Emulsifiants	Huiles végétales	Epaississants
E1	80	+	5	+
E2	65	+	10	+
E3	50	+	20	+
E4	40	+	30	+
E5	30	+	40	+

I.5. Contrôle de la stabilité des produits élaborés

Les échantillons de crèmes formulés ont été soumis à des différentes températures 4°C, 25°C et un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C pendant une durée de 30 jours.

I.5.1 Suivi du pH (AFNOR. 1982)

Le suivi du pH a été réalisé à différentes températures (4°C, 25°C, et 40°C) pendant 30 jours avec un pH-mètre en introduisant la sonde à l'intérieur de l'échantillon. Le résultat est directement lu sur l'écran de l'appareil.

I.5.2 Etude de la qualité de l'émulsion

I.5.2.1 Contrôle macroscopique

Dans cette partie, un suivi de plusieurs paramètres à différents aspects et à plusieurs températures a été réalisés.

Aspect visuel

- Homogénéité : l'émulsion doit être uniforme, sans phase séparée (pas de déphasage visible).
- Brillance / opacité : certaines émulsions doivent avoir un aspect brillant (crèmes cosmétiques), d'autres une opacité uniforme.
- Couleur : une variation de couleur peut indiquer une instabilité (oxydation, contamination...).

Séparation de phase (déphasage)

- Observation de deux phases (huile/eau) : signe de coalescence ou de rupture de l'émulsion.
- Apparition d'un suintement huileux ou aqueux en surface.

Texture et consistance (au toucher)

- Viscosité apparente : l'émulsion doit avoir une consistance adaptée à son usage (fluide, semi-solide, pâteuse...).
- Sensations au toucher : grasse, légère, collante, soyeuse, etc.
- Onctuosité / glissance : importante en cosmétique ou alimentaire.

Odeur

- Peut révéler une altération ou une contamination microbienne (odeur rance...).

Stabilité au repos (évolution dans le temps)

- Observation de l'évolution de l'aspect après stockage (sous lumière, chaleur, au froid...).
- Décantation, mousse persistante, ou crémage (remontée de la phase huileuse en surface).

I.5.2.2 Contrôle des caractéristiques rhéologiques**I.5.2.2.1 Détermination de la Viscosité**

La viscosité des échantillons a été mesurée par un viscosimètre rotatif modèle SNB-1. L'évolution de la viscosité a été définie comme suit : sélectionner le mobile idéal ou le spindle, insérer par la suite le mobile dans le produit à tester jusqu'à ce que le niveau de fluide atteigne le repère pratiqué sur la tige. Lecture de la valeur directement sur l'écran (Figure en annexe).

I.5.3 Détermination de l'acidité ISO 750 (1981)

Un aliquote de chaque échantillon formulé (1 g) est transféré dans un bécher muni d'un agitateur magnétique. Quelques gouttes de phénolphthaléine sont ajoutées comme indicateur. La solution est ensuite titrée à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1 N, versée depuis une burette, jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante pendant 30 s, indiquant le point d'équivalence. L'acidité est ensuite calculée à l'aide de la formule suivante :

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

V = volume de NaOH utilisé mL

M = masse de l'échantillon g

N = normalité de la solution de NaOH mol/L

PE = Poids équivalent en acide lactique g/mol

I.6. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux dans les échantillons analysés a été déterminée selon le protocole d'**Avallone et al., (1997)** avec quelques modifications : Un aliquote d'extrait a été mélangé à 500 µL de réactif de Folin-Ciocalteu (1 N). Après 3 min, 1,5mL de carbonate de sodium (Na_2CO_3 à 7,5 %) a été ajouté. Le mélange a ensuite été incubé à température ambiante pendant 30 min à l'obscurité. Enfin, la lecture est réalisée au moyen d'un spectrophotomètre (UV-visible) à une longueur d'onde de 765 nm après avoir réalisé un balayage de 800-400nm. La concentration en polyphénols totaux est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec de l'acide gallique et exprimée en milligramme d'équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS) (Figure en annexe 6).

I. 7 Evaluation de certaines activités biologiques

Dans cette partie de l'étude, une évaluation de certaines activités biologiques des différents échantillons de crèmes élaborées a été explorée, notamment l'activité antioxydante en complément de l'analyse de leur potentiel anti-inflammatoire et de leur cytotoxicité par le biais d'un test d'hémolyse.

I.7.1 Activité antioxydante par piégeage du radical DPPH·

L'activité antioxydante des échantillons testés a été estimée par le test DPPH. La capacité de piégeage des radicaux libres des échantillons est évaluée par la méthode décrite par **Seung-Cheol et al., (2004)** avec quelques modifications : 100µL de la solution de chaque échantillon est additionné à une solution méthanol DPPH· (0,2 Mm). Après incubation à température ambiante et à l'obscurité pendant 30 min, les absorbances sont mesurées à une longueur d'onde de 517 nm. Un control est préparé en parallèle en remplaçant l'échantillon par une solution méthanolique DPPH· Le pourcentage d'inhibition du radical est calculé comme suit :

$$\text{Le pourcentage d'inhibition du DPPH· (\%)} = \frac{AC - Ae}{AC} \times 100$$

AC = absorbance du control

Ae= absorbance de l'échantillon.

Une IC50 est également calculée, elle est définie comme étant la concentration de l'antioxydant nécessaire pour réduire ou inhiber 50% du DPPH en solution.

I.7.2. Évaluation in vitro de la cytotoxicité

Le test d'hémolyse constitue une technique simple, utilisée pour évaluer la cytotoxicité des substances en mesurant la libération d'hémoglobine suite à une altération des membranes des globules rouges (Sæbø *et al.*, 2023).

L'évaluation de la cytotoxicité a été réalisée selon le protocole de Rafique *et al.*, (2023) avec quelques modifications : Le sang a été prélevé par ponction veineuse sur des volontaires sains, placé dans des tubes héparines et centrifugé à 3500tr/min pendant 15min. Le plasma et la couche leucocytaire ont été éliminés. Les globules rouges (GR) ont été mis en suspension dans un volume de NaCl à 0,9% et centrifugés à 2500 tr/min pendant 5min. Les GR ont été lavés plusieurs fois dans la même solution jusqu'à l'obtention d'un surnageant clair. Par la suite le culot (GR) a été récupéré afin de préparer une solution d'un volume de culot dans 9 volumes de NaCl (0,9%) pour le test de cytotoxicité. Plusieurs solutions de crèmes hydratantes (7 solutions) ont été préparées à différentes concentration (0.125- 1,5 mg/mL).

Un volume de chaque solution préparée est mélangé à un volume de la solution des GR. Les échantillons ont été centrifugés à 14000tr/min pendant 10min et le surnageant a été récupéré et les échantillons ont été incubés pendant 60min, la lecture de l'absorbance est réalisée au moyen d'un Spectrophotomètre (UV-Visible) à une longueur d'onde $\lambda = 560$ nm. L'hémolyse en présence des extraits est calculée par rapport à cette formule :

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

- A_0 : Absorbance du control positif ; A_1 : Absorbance en présence de l'échantillon

I.7.3 Evaluation de l'activité anti inflammatoire

Certains agents inflammatoires provoquent la dénaturation des protéines, notamment l'albumine. Les extraits ou formulations ayant une activité anti-inflammatoire peuvent inhiber cette dénaturation (Sakat *et al.*, 2010).

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire a été réalisée selon le protocole de Sakat *et al.*, (2010) avec quelques modifications : une solution de BSA (1 %, p/v) a été préparée dans un tampon PBS (pH 6,4). À 0,5 mL de cette solution, on a ajouté 0,5 mL de chaque échantillon de crème hydratante, préalablement dilué dans le tampon PBS à différentes concentrations (0,1- 0,25mg/mL).

Le mélange a été incubé à 37 °C pendant 20 min, puis chauffé à 70 °C pendant 5 min dans un bain-marie afin d'induire la dénaturation des protéines. Après refroidissement à

température ambiante, l'absorbance des solutions a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Un contrôle négatif (tampon PBS à la place de l'échantillon) et un contrôle positif (diclofénac sodique à différentes concentrations) ont été utilisés pour la comparaison. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine a été calculé selon la formule suivante:

$$\text{Inhibition (\%)} = 1 - \left(\frac{A_{Ech}}{AC} \right) \times 100$$

A_{Ech} : absorbance de l'échantillon;

AC: absorbance du control négatif

I.8. Analyse microbiologique

Une analyse microbiologique a été effectuée sur les produits cosmétiques élaborés, conformément aux exigences réglementaires, afin de vérifier l'absence de micro-organismes pathogènes ou altérants susceptibles d'affecter leur qualité sanitaire. Pour cela, une solution mère a été préparée à partir d'un échantillon de crème hydratante, en suivant les protocoles décrits dans la norme NA 14676 publiée dans le Journal Officiel Algérien.

Les analyses microbiologiques ciblent les micro-organismes suivants :

- *Staphylococcus aureus*
- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Escherichia coli*
- Flore aérobie mésophile totale (FAMT)

Préparation de la solution mère

Prélever une quantité de crème hydratante à tester, en tenant compte de sa consistance (semi-solide ou fluide). Mélanger cet échantillon avec 9 mL de diluant stérile TAT (préparation décrite en annexe 8) dans un tube ou un flacon stérile. Homogénéiser à l'aide d'un vortex ou par agitation manuelle. Cette étape permet d'obtenir une dilution au 1/10 (10^{-1}). Réaliser ensuite des dilutions décimales successives (jusqu'à 10^{-3} ou 10^{-4} , selon le niveau de contamination attendu).

Ensemencement

Pour chaque micro-organisme recherché, des milieux spécifiques et des conditions bien définies (Tableau II)

Tableau II : Conditions spécifiques pour les microorganismes recherchés

Micro-organisme	Milieu de culture	Température d'incubation	Durée
Flore totale aérobie	PCA (Plate Count Agar)	30–35 °C	48–72 h
<i>Staphylococcus aureus</i>	Giolitti-Cantoni (GC)	35–37 °C	24–48 h
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Cetrimide agar	35–37 °C	24–48 h
<i>Escherichia coli</i>	EMB ou VRBL agar	35–37 °C	24 h

- **Incubation**

Les différentes boîtes de Pétriensemencées sont incubées dans une étuve réglée à 30°C pendant 3 à 5 jours.

- **Lecture**

Dénombrer les colonies sur chaque boîte.

I.9 Analyse sensorielle

Une évaluation sensorielle a été réalisée au niveau du laboratoire d'analyse sensorielle de l'université de Bejaia, sur les échantillons de crèmes hydratantes. Le panel d'analyse se compose des jurys experts (11 jurys). Les sujets ont été invités à tester les échantillons dans des salles spécifiques individuelles.

Chaque jury s'est vu remettre un questionnaire visant à évaluer les caractéristiques organoleptiques des échantillons formulés, incluant la couleur, l'odeur, homogénéité, ainsi que la texture et la consistance.

Les informations recueillies à partir des questionnaires distribués aux panels ont été traitées à l'aide du logiciel XLSTAT version 16.5.03 2017, qui constitue un outil complet d'analyse de données et de statistiques. Les fonctionnalités majeures de ce logiciel, exploitées pour interpréter les résultats des préférences MAPPING (PREFMAP).

I.10 Analyse statistique

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

Résultats et discussion

II. Résultats et discussion

II.1 Analyses physico-chimiques de la gomme et la pulpe de caroube

II.1.1 Analyse physique

Une détermination de certains paramètres physiques a été réalisée (Tableau III)

Tableau III : Propriétés physiques de la gomme (GC) et la pulpe de caroube

Analyse physiques			
Echantillons	pH	Degré de Brix	Humidité %
Gomme	6,67±0,02 ^a	0,87±0,07 ^b	8,32±0,09 ^b
Pulpe	5,79±0,09 ^b	7,17±0,08 ^a	10,50±0,05 ^a

Les barres verticales représentent les écarts types ; les lettres représentent les différences significatives

à $P < 0,05$.

La valeur du pH reflète l'activité des ions hydrogène ; plus le pH est faible, plus l'acidité du milieu est élevée (**Battle et Tous, 1997 ; Kivrak et al., 2015**). Les résultats obtenus (voir tableau III) montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre la gomme et la pulpe, avec des valeurs de pH respectives de $4,79 \pm 0,02$ et $6,79 \pm 0,09$. Ce résultat est proche de celui rapporté par **Kivrak et al. (2015)**, qui ont trouvé un pH de 6,52, ainsi que de la valeur obtenue par **Mekhoukhe et al. (2021)** pour la gomme de caroube. Concernant la pulpe de caroube, **Ayad et al. (2024)** ont également rapporté des valeurs similaires pour la pulpe fraîche, comprises entre $5,15 \pm 0,02$ et $5,23 \pm 0,02$.

Le degré Brix (°Brix) représente la teneur en matière sèche exprimée en grammes pour 100 g de produit (**Smati et al., 2017**). Selon les résultats du tableau III, le °Brix de la pulpe ($7,17 \pm 0,08$) est significativement plus élevé ($p < 0,05$) que celui de la gomme ($0,87 \pm 0,07$). Ces valeurs concordent avec celles rapportées par **Kivrak et al. (2015)**, qui varient entre 0,57 et 0,73 %, ainsi qu'avec celles de **Mekhoukhe et al. (2021)**, soit 0,71 %. Pour la pulpe, le résultat est également en accord avec les données de **Dimassi et al. (2019)**, qui ont observé un °Brix de 7,9 % dans la poudre de pulpe de caroube après trempage dans l'eau distillée.

En ce qui concerne la teneur en humidité, ce paramètre reflète la quantité d'eau contenue dans la caroube. Les résultats du tableau III montrent que le taux d'humidité de la pulpe ($9,47 \pm 0,33$) est significativement plus élevé ($p < 0,05$) que celui de la GC, qui est de $8,32 \pm 0,02$. Ce résultat est similaire à celui révélé par **Higazy et al. (2018)** utilisant une gomme de caroube Egyptienne ainsi que celle restitué par **Mekhoukhe et al. (2021)** qui sont 8,42 et 8,66 %

respectivement, alors qu'elle est plus importante par rapport à celles rapporté par **El Batel et al., (2013)**, qui ont travaillé sur des gommés de caroube Marocaines avec des proportions de 6,85%. Ces variations sont probablement liées d'après **Dakia et al. (2014)** ; **Rodríguez Solana et al. (2021)** et **Peti et Isasi, (2022)** aux facteurs climatiques, géographiques, temps de récolte et même conditions environnementales. **Liompart et al.,(2025)** ont rapportés des valeurs plus importantes dans plusieurs variétés de pulpe de caroube espagnole allant de 11,2 à 14,4%.

II.1.2 Analyses chimiques

La composition chimique de la caroube diffère d'un pays à un autre, d'une région à une autre et cela dépend de plusieurs facteurs à l'instar les cultivars, facteur climatique, le temps de récolte (**Batle et Tous, 1997** ; **Bouzouita et al., 2007**). Les résultats de l'analyse chimique de GC et pulpe sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV : Propriétés chimiques de la gomme (GC) et la pulpe de caroube

Analyse chimiques					
Echantillons	Cendres*	Fibres*	Lipides**	Protéines**	Sucres**
GC	0,87±0,04 ^b	0,60±0,17 ^b	0,47±0,15 ^b	4,16±0,52 ^b	63,15±0,54 ^b
Pulpe	4,03±0,10 ^a	11,30±0,11 ^a	0,87±0,16 ^a	5,61±0,12 ^a	68,78±0,4 ^a

* : % ; ** : g/100 ; GC : gomme de caroube

Au vu des résultats le taux en cendres est significativement plus élevé ($p < 0,05$) dans la pulpe que dans la GC qui est de 4,03±0,10 et 0,87±0,04 % respectivement.

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

Pour la pulpe, ces résultats sont plus proches de ceux rapportés par **Elbatal et al., (2016)** dans la caroube marocaine avec 3,89% et plus élevés par rapport à ceux rapportés par **Higazy et al., (2018)** au niveau de la pulpe de caroube égyptienne avec 2,76%. Ces différences peuvent être expliquées par rapport aux conditions géographiques (provenance), climatiques mais également aux différentes méthodes employées pour l'extraction de la gomme (**Dakia et al., 2017**).

Concernant la teneur en fibres, la pulpe détient la teneur la plus élevée en fibres $11,30 \pm 0,11$ par rapport à GC $0,60 \pm 0,17\%$. Ces différences sont significatives à $p < 0,05$.

Les données obtenues pour la pulpe sont plus proches avec celles révélées par **Higazy et al., (2018)** avec $11,52\%$. Pour la gomme le résultat est proche avec celui rapporté par **Mekhoukhe et al., (2021)** $0,65\%$, mais inférieur à celle révélée par **Lopes Da Silva et al., (1990)** avec $1,55\%$ et par **Farahnaki et al., (2014)** avec $2,14\%$.

Les résultats obtenus (tableau IV) montrent que la teneur en lipides est plus importante dans la pulpe que celle de la GC avec $0,87 \pm 0,16$, $0,47 \pm 0,15$ g/100 respectivement et elles sont significativement différentes $p < 0,05$.

Les valeurs obtenues pour la gomme sont inférieures à celles rapportées par **Mekhoukhe et al., (2021)**, qui ont trouvé $0,84$ g/100 g, ainsi qu'à celles de **Dakia et al., (2008)**, avec un taux de $1,5\%$. En ce qui concerne la pulpe, les résultats obtenus sont comparables à ceux rapportés par **El Batel et al., (2016)** pour la pulpe de caroube marocaine, avec une teneur de $0,80$ g/100 g.

La teneur en protéines obtenue (voir tableau IV) diffère significativement entre les deux fractions ($P < 0,05$) : elle est plus élevée dans la pulpe ($5,61 \pm 0,12$ g/100 g) que dans la gomme ($4,16 \pm 0,52$ g/100 g). Ces valeurs sont proches de celles rapportées par **Lopez Da Silva et Gonçalves (1990)** et **Bouzouita et al., (2007)**, qui ont respectivement trouvé $4,66$ et $4,52$ g/100 g. En revanche, elles sont supérieures à celle indiquée par **Haddarah et al., (2013)**, soit $3,92$ g/100 g, mais inférieures à celle mentionnée par **Dakia et al., (2008)**, qui s'élève à $7,4\%$.

Pour la pulpe, les données obtenues sont plus élevées que celles rapportées par **Elbatal et al., (2016)** dans la caroube Marocaine ($3,05 - 4,5$ g/100g), mais plus faibles que celles obtenues par **Nahal et al., (2024)**, avec $1,51\%$ dans la poudre de pulpe de caroube Algérienne.

La quantité en sucres totaux a été estimée par la méthode de phénol / acide sulfurique. D'après les résultats obtenus par le (voir tableau IV), la pulpe présente la teneur la plus accrue en sucres totaux que la gomme $68,78 \pm 0,4$ g par rapport GC qui de $63,15$ ces valeurs Ces valeurs sont significativement différentes à ($P < 0,05$). Les résultats obtenus dans la pulpe sont plus faibles que celle rapportées par **Nahal et al., (2024)** mais plus important que ceux révélés par **El Batal et al., (2016)** dans la caroube Marocaine ($31,5$ à $50,1$ g/100g).

Pour la gomme, le résultat est beaucoup plus élevé par rapport à celui restitué par **Kivrak et al., (2013)** qui est de $1,74$ g/100g et par **Mekhoukhe et al., (2021)** qui de $16,57$ g/100 mais moins important que celui rapporté par **Dakia et al., (2008)** avec 73.3% . Cette fluctuation

est probablement tributaire d'après **Gubbuk et al., (2010)**, à la nature des graines utilisées qui est liée probablement aux facteurs génétiques.

II.2. Contrôle de la stabilité de la crème hydratante formulée

Dans cette partie un essai de formulation de crème hydratante à l'échelle laboratoire au niveau de laboratoire technologie alimentaire l'université de Bejaia a été effectué. Un suivi de stabilité des échantillons préparés a été réalisé préalablement soumis à un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C, à 4°C et à 25°C pendant une durée de 30 jours.

II.2.1 Suivi du pH

Les crèmes hydratantes constituent une classe importante de produits, utilisées à la fois dans la prévention et comme adjuvants dans le traitement dermatologique de la dermatite atopique (DA). Leur pH acide ($\leq 5,5$) favorise la restauration de la barrière cutanée (**Gonçales et al., 2017**). Les figures 10 A), B) et C) illustrent les valeurs de pH des échantillons de crèmes hydratantes soumis à un vieillissement accéléré dans une étuve à une température de 40°C, 25°C et 4°C pendant une durée de 30 jours. Les résultats montrent que le pH des différentes formulations, variant de 30 % à 80 %, reste stable et constant autour de 5,5 tout au long de la période d'étude, indépendamment des conditions de stockage.

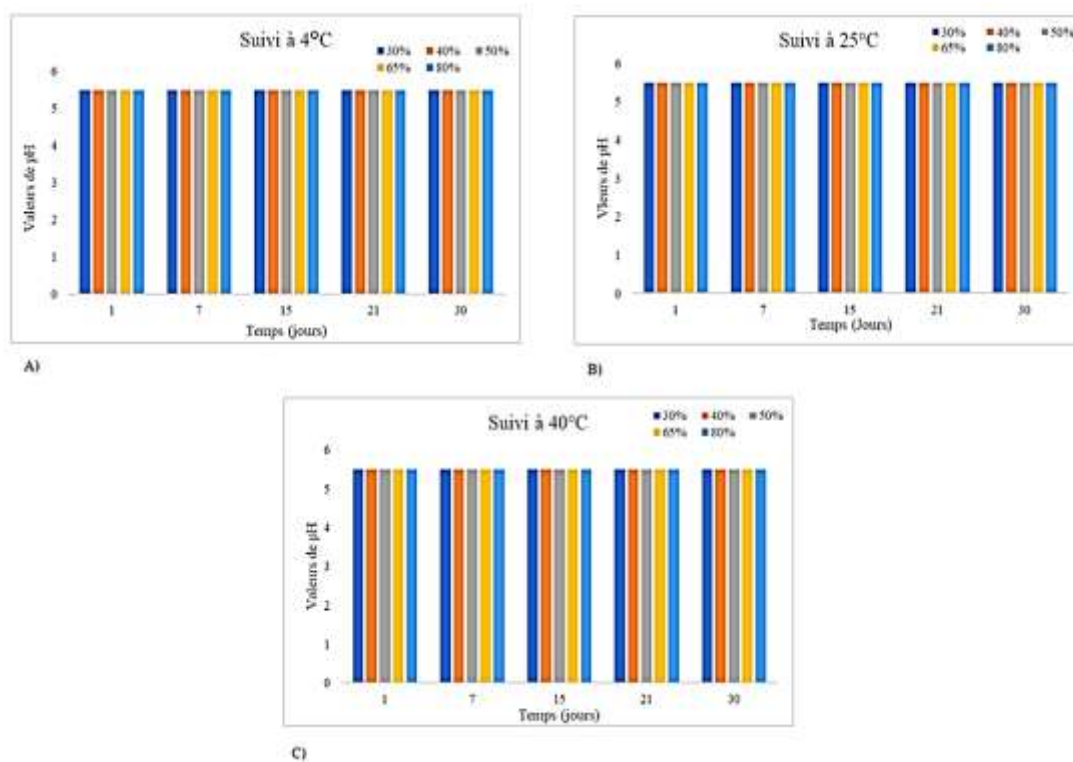


Figure 10 : Suivi de pH de la crème au cours du temps

Selon **Lodén et al., (2021)**, les produits cosmétiques destinés à une application cutanée devraient idéalement présenter un pH compris entre 4 et 6, afin de respecter l'équilibre physiologique de la peau. Par ailleurs, des travaux récents réalisés par **Janssens Böcker et al., (2025)** ont montré qu'un pH légèrement acide, inférieur à 5, contribue à la préservation de la diversité du microbiome cutané tout en limitant la prolifération de bactéries opportunistes. La stabilité du pH observée dans les échantillons formulés pourrait ainsi s'expliquer par le choix d'ingrédients stables et compatibles entre eux, ainsi que par la présence d'un système tampon efficace, capable d'atténuer les variations induites par des facteurs externes (température, exposition à l'air) ou internes (dégradation des actifs). Le maintien du pH à 5,5, proche de celui de la peau, garantit une bonne tolérance cutanée et témoigne de l'efficacité du système conservateur utilisé.

Ces résultats confirment la bonne stabilité physico-chimique des crèmes, ce qui est un critère essentiel pour assurer leur sécurité, efficacité et durée de conservation.

II.2.2 Etude de la qualité de l'émulsion

II.2.2.1 Contrôle macroscopique

Les résultats du contrôle macroscopique des différents échantillons formulés sont résumés dans le tableau en annexe 2 qui présente l'évolution des caractéristiques macroscopiques (homogénéité, couleur, odeur, texture, sédimentation, bulles d'air) de crèmes hydratantes contenant différentes concentrations (30%, 40%, 50%, 65%, 80%) stockées à trois températures (4°C, 25°C, 40°C) sur une période de 30 jours.

Les résultats montrent que les crèmes hydratantes restent homogènes, conservent leur couleur, leur brillance, leur odeur et leur texture, et ne présentent pas de sédimentation ni de séparation de phase, même après stockage à différentes températures et concentrations, à l'exception pour l'échantillon 80% où on remarque l'apparition de quelques bulles d'air à partir du 15^{ème} jours.

Cette stabilité est conforme à ce que rapportent plusieurs études de recherche récentes **Maru et al., (2012)** ; **Alam et al., (2020)** ; **Tukaram Pawar et Popat Bhagat (2023)**. Des études sur la stabilité de crèmes hydratantes contenant de la cire de son de riz montrent que les formulations bien conçues restent stables pendant 12 mois à 25°C, sans changement significatif de pH, de taille des particules, de texture ou d'aspect macroscopique (**Maru et al., 2012**). Les tests de stabilité accélérée (cycles de chaleur/froid, centrifugation) confirment également

l'absence de séparation de phase, de précipitation ou de modification de la consistance dans les crèmes optimisées (**Tukaram Pawar et Popat Bhagat, 2023**).

L'apparition de bulles d'air à 80% suggère que cette concentration approche la limite de stabilité physique de la formulation, nécessitant éventuellement une optimisation du procédé ou de la composition (**Nanda et al., 2014 ; Sanjivani et al., 2015**).

Maru et al., (2012) ; Tukaram Pawar et Popat Bhagat (2023), soulignent que l'augmentation de la concentration en agents hydratants ou en huiles peut, au-delà d'un certain seuil, rendre la formulation plus instable, avec apparition possible de phénomènes comme la formation de bulles d'air ou des modifications de texture. Ceci corrobore les résultats à 80% obtenus dans cette étude.

Les résultats (Tableau Annexe 2) montrent qu'à 4°C, toutes les crèmes restent stables, aucun changement notable. À 25°C, les caractéristiques restent également stables. Pour 40°C, aucune dégradation accélérée n'est observée, ce qui est un bon indicateur de stabilité à haute température. Des études montrent que les crèmes hydratantes restent stables à température ambiante (25°C) et même à 40°C si la formulation est bien équilibrée (**Maru et al., 2012 ; Tukaram Pawar et Popat Bhagat, 2023**). Toutefois, un stockage à température élevée peut accélérer certains phénomènes comme la séparation de phase, surtout dans les émulsions O/W (huile dans eau), moins stables que les W/O (eau dans huile) en conditions extrêmes (**Onuki et al., 2017**).

II.2.3 Contrôle des caractéristiques rhéologiques

II.2.3.1 Suivi de la Viscosité

La viscosité est un paramètre essentiel dans la formulation et l'évaluation des crèmes hydratantes, car elle influence leur texture, leur capacité d'étalement, leur stabilité ainsi que l'expérience utilisateur. De nombreux articles scientifiques et notes techniques traitent des méthodes de mesure de la viscosité, de l'impact des variables de formulation, ainsi que de son importance dans la performance et le contrôle qualité des produits (**Gonzales-Rodriguez et al., 2021 ; Barbar et al., 2023**).

Les résultats des figures 11 A), B) et C), présentent l'évolution de la viscosité des échantillons de crèmes hydratantes déterminée à l'aide d'un viscosimètre rotatif (modèle SNB-1). Au vu des résultats de la figure 11 A) ; la viscosité des échantillons présente des fluctuations importantes au fil du temps, surtout pour les formulations à faible concentration (30 % et 40

%). Les échantillons à forte concentration (65 % et 80 %) montrent une meilleure stabilité, conservant des viscosités élevées et relativement constantes.

La température élevée semble provoquer des désorganisations structurales dans les crèmes faiblement concentrées, probablement en raison d'un relâchement du réseau d'émulsion. En revanche, les formulations riches en phase épaississante offrent une résistance accrue à la chaleur (**Lee et al., 2023 ; Chow et al., 2024**).

La figure 11 B, indique l'évolution de la viscosité des crèmes hydratantes formulées à différentes concentrations au cours de 30 jours de stockage à 4 °C. Les formulations faiblement concentrées en hydrolat (30 % et 40%) présentent une diminution de la viscosité, particulièrement entre le 7eme et le 15eme jours. Pour la formulation 50 % la viscosité est relativement stable jusqu'au 15eme jour. Puis diminution lente indiquant une stabilité intermédiaire. À l'inverse, les échantillons à 65 % et 80 % montrent une stabilité initiale satisfaisante, avec des viscosités élevées et constantes jusqu'au 20eme jour, suivi d'une baisse marquée. De manière inattendue, une augmentation progressive de la viscosité est observée dans les formulations les moins concentrées après 20 jours.

D'après **Frederik et al., (2010) ; Reiner et al., (2023)**, le froid peut rigidifier certaines phases ou entraîner une séparation partielle (ex. : coalescence, cristallisation), surtout dans les formulations moins épaisses, ce qui explique la baisse de viscosité dans les formulations 65 et 80%. Les crèmes plus concentrées sont moins sensibles aux effets du froid (**Frederik et al., 2010 ; Reiner et al., 2023**). Une étude réalisée par **Waqas et al., (2013)** a également démontré que des formulations chargées de graines de plantes de la famille des Fabaceae riches en eau sont plus sensibles aux variations de température basse, avec une perte progressive de consistance.

Concernant le suivi de la viscosité à température 25°C (voir Figure 11 C), une variabilité modérée est observée, avec une tendance générale à la baisse de la viscosité autour de 15eme jours, suivie d'une remontée en fin de période. Les formulations les plus concentrées restent plus visqueuses, avec moins de fluctuations. À température ambiante, une réorganisation partielle des structures de la formulation peut survenir (par exemple migration d'eau, relaxation des polymères), avant que le système ne se stabilise à nouveau.

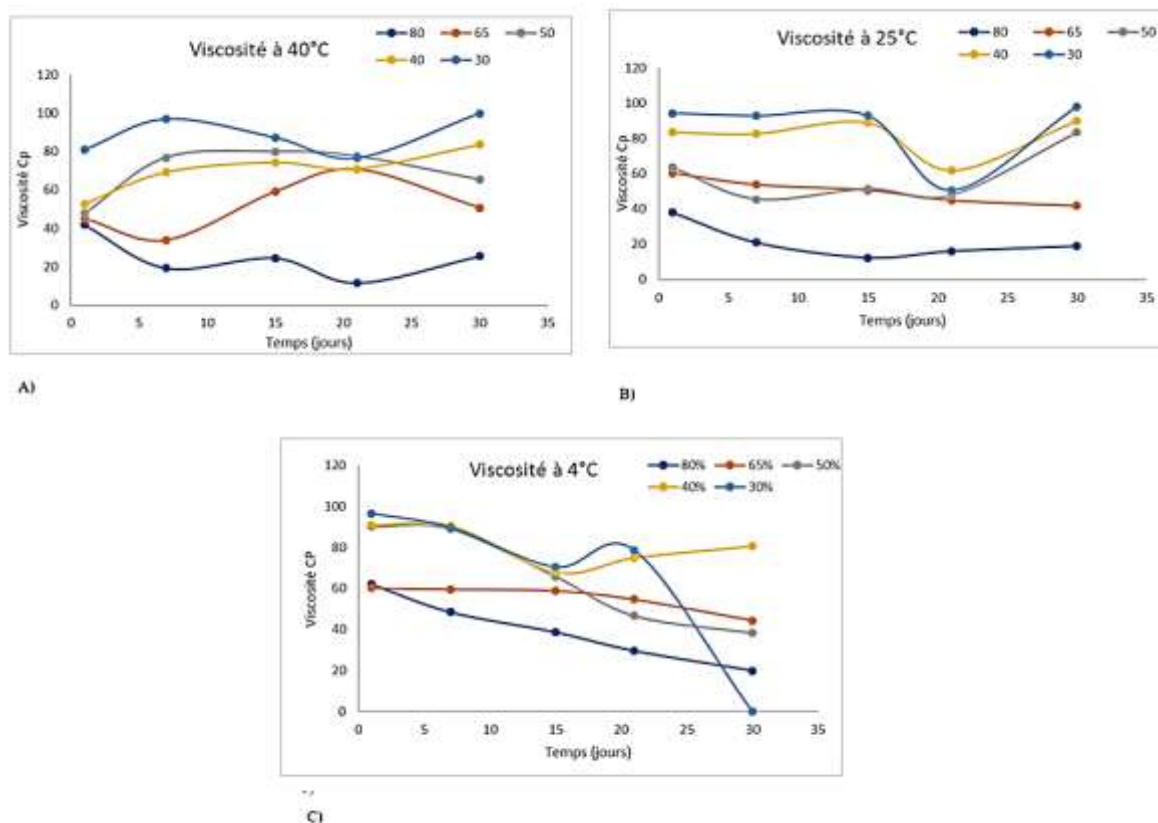


Figure 11 : Évolution de la viscosité A) 40°C ; B) 25°C ; C) 4°C

II.3 Détermination de l'acidité

Une détermination de l'acidité des différents échantillons de crèmes hydratantes préparés a été réalisée. Les résultats de l'acidité sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau V : Résultats de la détermination de l'acidité titrable des échantillons de crèmes hydratante

Formulations (%)	Acidité
80	0,55± 0,07 ^a
65	0,55±0,04 ^a
50	0,44±0,03 ^b
40	0,44±0,04 ^b
30	0,33±0,02 ^c

Les barres verticales représentent les écarts types ; les lettres représentent les différences significatives

à $P < 0,05$.

D'après le tableau V, les formulations à 80 % et 65 % ne présentent pas de différences significatives $p < 0.05$ et détiennent une acidité significativement plus élevée que les autres

formulations avec 0,55%. La plus faible acidité a été obtenu dans la formulation 30 % avec 0,33±0,02

Cette tendance est cohérente avec les conclusions de **Maramaldi et al., (2016)**, qui ont rapporté que la présence d'extraits naturels dans les formulations cosmétiques peut influencer significativement leurs propriétés physicochimiques, notamment l'acidité, selon la concentration et la nature des composés bioactifs. Les extraits naturels sont riches en acides organiques, en composés phénoliques et autres constituants acides qui contribuent à l'acidité globale du produit final. De même, **Souto et al., (2011)**, ont souligné que l'acidité titrable joue un rôle crucial dans le maintien de la stabilité microbiologique des formulations topiques, en particulier celles incorporant des ingrédients naturels. Un pH légèrement acide non seulement soutient la fonction barrière naturelle de la peau, mais améliore également l'efficacité des conservateurs. De plus, **Chanchal et Swarnlata (2008)**, ont souligné que les formulations présentant une acidité bien équilibrée (pH 4,5–5,5) sont mieux tolérées par la peau et réduisent le risque d'irritation, tout en préservant la stabilité fonctionnelle des composants bioactifs sensibles.

II.4. Dosage des polyphénols

Dans le cadre de cette étude, la teneur en composés phénoliques totaux a été quantifiée dans cinq formulations de crèmes hydratantes enrichies en extraits de caroube, à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu. Cette méthode, largement utilisée pour l'estimation globale des composés antioxydants, repose sur une réaction d'oxydoréduction entre les groupements hydroxyles phénoliques et le réactif de Folin-Ciocalteu, conduisant à la formation d'un complexe coloré dont l'absorbance est mesurée à 765 nm (**Singleton et al., 1999 ; Zugazua-Ganado et al., 2024**). Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique pour 100 grammes de crème (mg EAG/100 g).

Le graphe (voir Figure 12), présente la teneur en polyphénols totaux en fonction de différentes concentrations des échantillons de crèmes. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les échantillons testés ($p < 0,05$). Une augmentation marquée du contenu en polyphénols est observée avec la hausse de la concentration. Aux plus faibles pourcentages (30 % et 40 %), les valeurs restent relativement basses (149 et 187 µg/g, respectivement). À partir de 50 %, une élévation nette est constatée (726 µg/g), qui se poursuit à 65 % (888 µg/g) pour culminer à 80 % (929 µg/g).

Cette évolution positive démontre que la teneur en phase aqueuse joue un rôle déterminant dans l'extraction et la disponibilité des composés phénoliques au sein de la matrice

cosmétique. Selon plusieurs investigations, le choix du solvant et de la méthode d'extraction influence significativement la teneur en polyphénols mesurée. **Pradal et al., (2016)** ont montré que l'extraction assistée par ultrasons augmente nettement le rendement en polyphénols par rapport à la macération classique. De même, l'utilisation de solvants polaires comme l'éthanol ou l'acétone permet d'obtenir des extraits plus riches en polyphénols, comme l'ont rapporté **Ameer et al., (2017)** dans leur revue sur les procédés verts d'extraction. Une étude très récente de **Wang et al., (2025)**, ont optimisé l'extraction des polyphénols à partir de tiges de brocoli. Les auteurs ont montré, via des analyses statistiques et des surfaces de réponse, que le ratio liquide/solide, le temps et la température étaient les facteurs les plus déterminants.

En cosmétique, une formulation riche en eau agit comme un vecteur polaire permettant de mieux solubiliser et libérer les composés bioactifs. **Zillich et al., (2015)** indiquent que la phase continue aqueuse permet non seulement une meilleure incorporation des polyphénols dans le système, mais également une libération facilitée au moment de l'application cutanée, renforçant ainsi leur activité antioxydante et protectrice vis-à-vis du stress oxydatif.

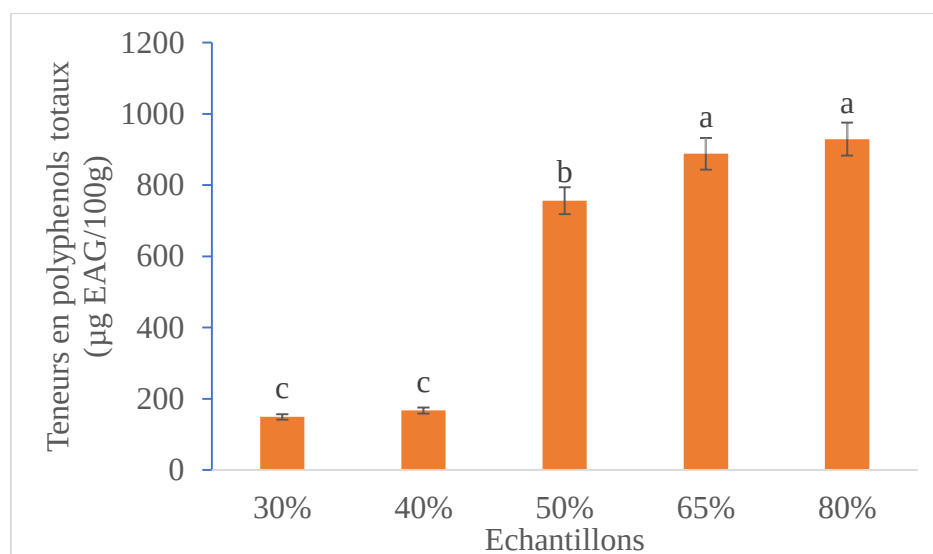


Figure 12: Teneur en polyphénols totaux des échantillons de crèmes

Les barres verticales représentent les écarts types ; les lettres représentent les différences significatives à $P < 0,05$.

II.5 Evaluation de certaines activités biologiques

II.5.1. Evaluation de l'activité antioxydante (Test DPPH)

L'activité antioxydante d'un extrait reflète sa capacité à neutraliser les radicaux libres, ce qui est essentiel pour prévenir les dommages oxydatifs dans les formulations cosmétiques (**Shahidi & Zhong, 2015 ; Georgakis et al., 2023**). Le test DPPH est une méthode couramment

utilisée pour cette évaluation, basée sur la réduction du radical stable DPPH, entraînant une diminution de l'absorbance à 517 nm (Georgakis et al., 2023. Bravo et al., 2024)

Le graphique (Figure 13) présente l'évolution de l'absorbance du radical DPPH en fonction du temps (de 0 à 60 min), à une concentration de 1000 µg/mL, pour différentes concentrations d'échantillons testés. On observe plusieurs courbes de couleurs distinctes, traduisant une diminution progressive de l'absorbance au fil du temps. Cette décroissance est caractéristique de la réduction du radical DPPH par les composés antioxydants présents dans les échantillons.

Les courbes illustrées dans les Figures 13. A, B, C montrent une réduction du radical DPPH° au cours du temps (jusqu'à 60 min) à une concentration 1000µg/mL. Les résultats indiquent une diminution de l'absorbance initiale du radical DPPH° à partir des 10-15 premières minutes, suivie d'une stabilisation progressive jusqu'à l'obtention d'un équilibre qui se traduit par la présence d'un palier. On constate que pour tous les échantillons testés ainsi que l'acide ascorbique, la réaction est biphasée ou la réaction initiale rapide, suivie d'une phase plus lente jusqu'à un stade constant.

Les différentes courbes suggèrent un effet concentration-dépendant, où les concentrations plus élevées d'antioxydants produisent une réduction plus importante de l'absorbance du DPPH, cette relation dose-réponse est cohérente avec les études qui montrent que l'activité antioxydante augmente avec la concentration de l'échantillon (Sung song et al., 2013 ; Malki et Touati, 2019)

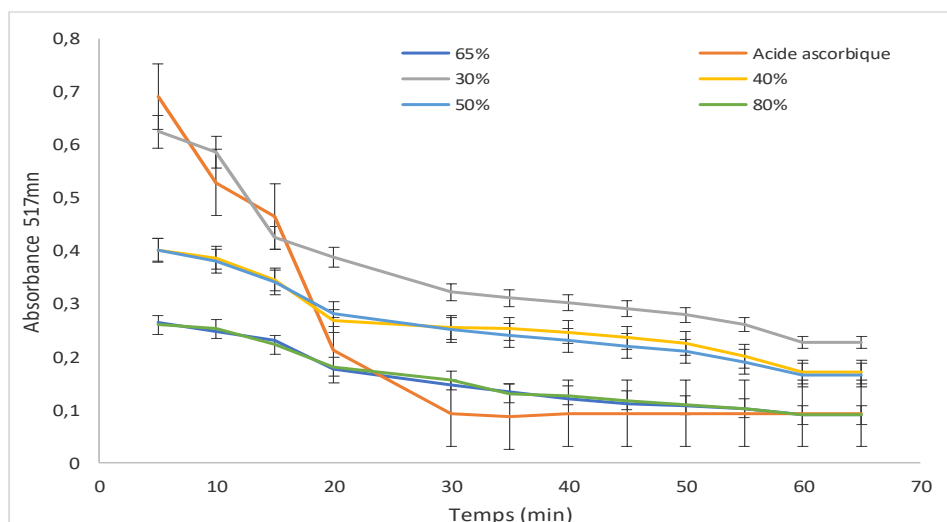


Figure 13: Cinétique de réduction du radical DPPH° au cours du temps à 1000µg/mL

Le graphe (Figure.14) présente le pourcentage d'inhibition du radical DPPH (%) en fonction de la concentration ($\mu\text{g/mL}$) pour différents échantillons, ainsi qu'un contrôle positif qui l'acide ascorbique. On observe une augmentation du % d'inhibition du DPPH avec l'augmentation de la concentration pour tous les extraits testés. Cette relation dose-réponse est caractéristique d'un effet antioxydant dépendant de la concentration.

À faible concentration, tous les extraits présentent une activité antioxydante faible. À mesure que la concentration augmente, l'inhibition s'accroît, atteignant un plateau pour la plupart des extraits autour de 800–1000 $\mu\text{g/mL}$. Le pourcentage le plus élevé est observé au niveau de l'échantillon 65% avec 68,8%, et le plus faible avec l'échantillon 40% avec un taux d'inhibition de 56,75%. L'acide ascorbique (contrôle positif) affiche la meilleure capacité antioxydante, atteignant des valeurs d'inhibition supérieures à 90% à forte concentration, ce qui est cohérent avec la littérature (Olajuyigbe et al., 2020).

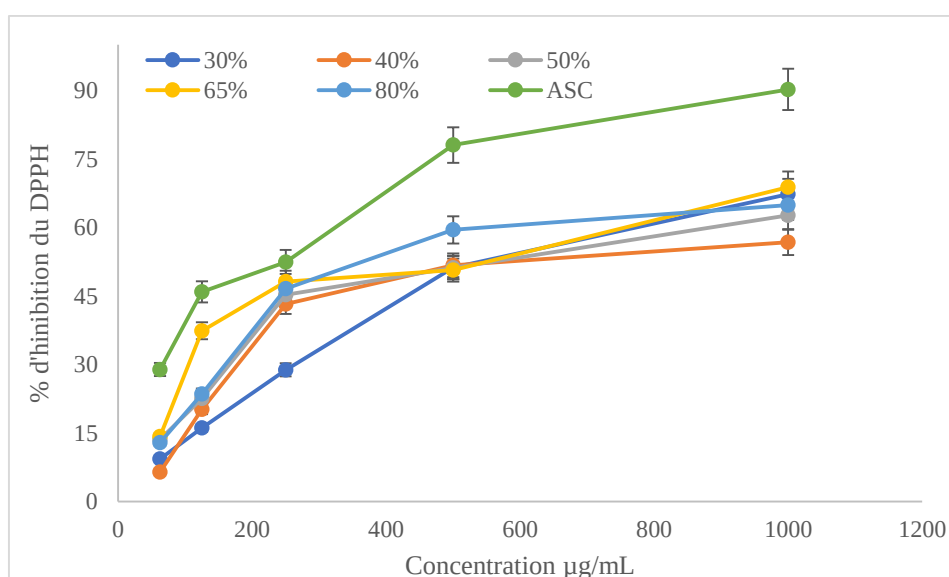


Figure 14 : Pourcentage d'inhibition vs concentration

Plusieurs travaux montrent une relation linéaire ou sigmoïdale entre la concentration et le % d'inhibition du DPPH, avec un plateau à forte concentration, comme observé ceux rapportés par Olajuyigbe et al., (2020) ; Baliyan et al., (2022). Par exemple, l'étude sur l'extrait méthanolique de *Ziziphus mucronata* rapporte une inhibition passant de 33% à 94% entre 0,02 et 0,1 mg/mL, similaire à la tendance des résultats obtenus dans cette étude.

Les IC₅₀ des différents extraits ont été déterminés. Selon Brands –Williams et al., (1995) ; Olajuyigbe et al., (2020), une valeur plus faible d'IC₅₀ exprime la concentration du

substrat qui cause une inhibition de 50 % de l'activité de DPPH· Et indique une activité antioxydante plus élevée. Les valeurs d'IC₅₀ (Tableau VI) pour chaque extrait d'échantillon ont été calculées ainsi que la puissance antiradicalaire (ARP), où $ARP = 1 / IC_{50}$.

Tableau VI : Valeurs des IC₅₀ et ARP des différents extraits et standards utilisés

Extraits	IC ₅₀ (mg/mL)	ARP
30%	663,384	0,00151
40%	652,814	0,00153
50%	386,00	0,0025
65%	472,559	0,00212
80%	363,05	0,0027
Acide ascorbique	238,456	0,00419

Papagiannopoulos et al., (2004), ont montré que les fibres et les farines de pulpe de caroube ont une activité antioxydante élevée, **Kumazawa et al., (2007)** ont rapporté que les extraits polyphénoliques des gousses de caroube détiennent une activité antioxydante élevée comparable à celle des composés polyphénoliques authentiques. **Custodio et al., (2009)** ont trouvés que des extraits méthanoliques de feuilles de caroube possèdent une activité importante contre le radical DPPH.

II.5.2 Test de cytotoxicité

Les globules rouges comptent parmi les modèles les plus couramment utilisés pour l'étude de la toxicité in vitro (**Pagano et al., 2015 ; Abbou et al., 2019**). Le test d'hémolyse a été retenu car, même si une substance présente un fort pouvoir antioxydant et des propriétés prometteuses, son utilisation dans des formulations pharmacologiques ou alimentaires reste compromise en cas d'effet hémolytique, ce dernier étant un indicateur de cytotoxicité (**Haddouchi et al., 2016**).

Les résultats, représentés sous forme d'histogrammes Figure 15 a) b) c) d) e) présentent l'évolution du pourcentage d'hémolyse pour différents pourcentages de crème (65%, 80%, 50%, 40%, 30%) en fonction du temps (0 à 30 min) et à différentes concentrations (0,2-1mg/mL).

D'après la figure 15, on observe que les pourcentages d'effet hémolytique augmentent globalement avec la concentration des échantillons. Toutefois, cette relation n'est pas strictement linéaire : pour une même durée d'incubation, l'augmentation de la concentration de crème ne s'accompagne pas systématiquement d'une élévation proportionnelle du pourcentage d'hémolyse. La réponse varie en fonction du pourcentage de crème testé, suggérant une relation dose-effet complexe.

Les résultats (Figure 15), montrent que les échantillons à 65% et 80%, présentent une légère augmentation avec le temps du pourcentage de l'hémolyse allant de 0,118% à 0,136% à 30min. Pour la crème à 80%, l'augmentation est particulièrement marquée à la concentration la plus élevée, montrant un effet dose-dépendant jusqu'à 0,29% à 30min. Plusieurs travaux confirment que la pénétration accrue de composés hydrosolubles (conservateurs, extraits végétaux) peut perturber la membrane des globules rouges et induire à une hémolyse (**Hinoroni, 2015 ; Soumya et al., 2020 ; Rafique et al., 2023**), de plus l'augmentation de l'hémolyse avec la concentration et le temps d'incubation est un phénomène classique décrit dans la littérature : plus la concentration d'un agent cytotoxique est élevée, plus le potentiel de perturber la membrane des globules rouges augmente (**Bielawski, 1990**).

Concernant les échantillons de crèmes à teneur moyenne et faible (30%, 40%, 50%), l'augmentation de l'hémolyse avec le temps est beaucoup plus modérée. Les différences entre les concentrations sont faibles, voire négligeables, et les pourcentages d'hémolyse restent bas, même après 30 min de 0,132, 0,134, 0,135% respectivement. Ce qui montre que les niveaux d'hémolyse observés restent bien en deçà de ces seuils critiques, ce qui confirme leur bonne tolérance biologique. Les résultats obtenus corroborent ceux de **Maramaldi et al., (2016)**, qui ont démontré que les formulations incorporant des extraits naturels présentent une cytotoxicité négligeable, sous réserve d'un dosage maîtrisé de ces composés bioactifs.

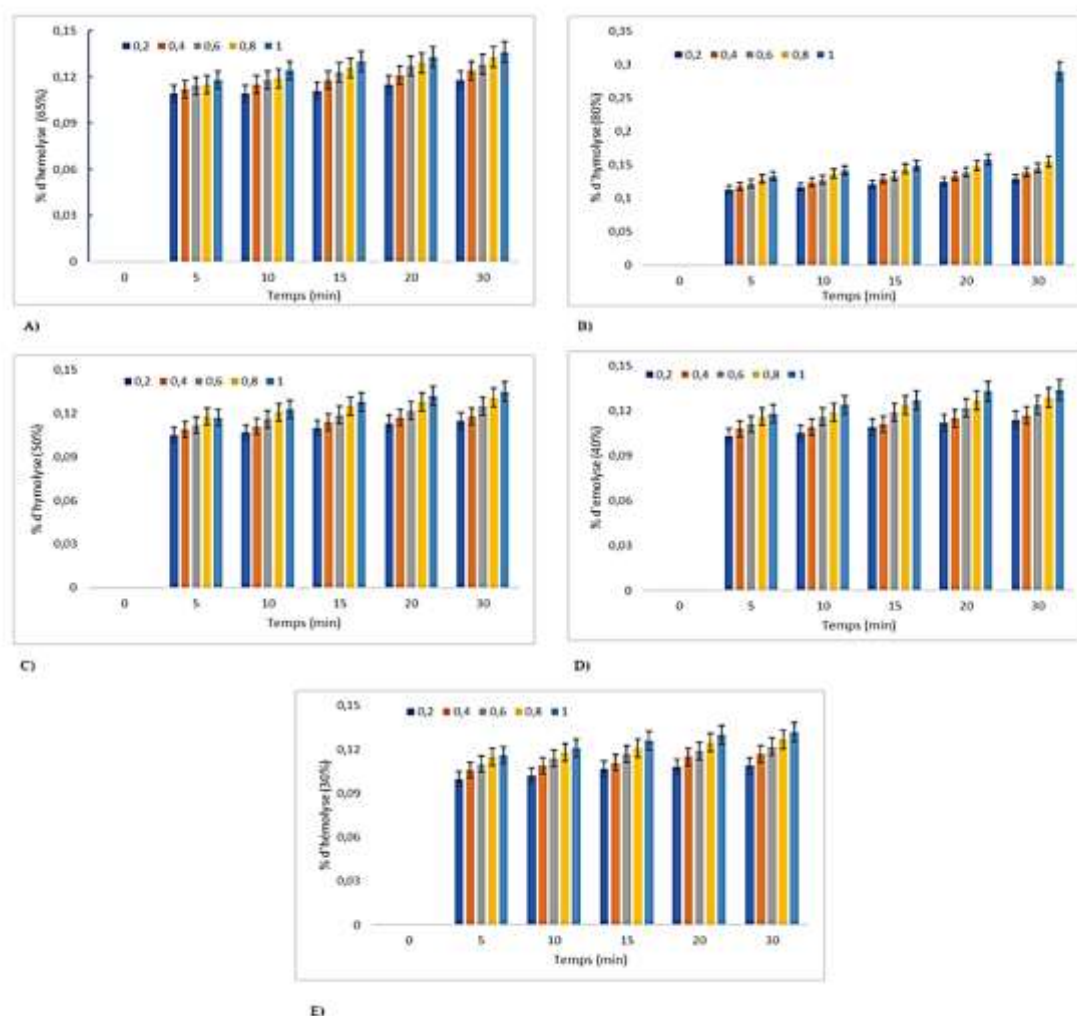


Figure 15 : Évolution de la cytotoxicité (%) des différentes concentrations de crème hydratante en fonction du temps d'incubation.

II.5.3 Evaluation de l'activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire a été examinée à l'aide du test d'inhibition de la dénaturation des protéines, en utilisant l'albumine sérique bovine (BSA) comme modèle. Cette méthode est couramment employée pour évaluer le potentiel anti-inflammatoire des extraits naturels et des formulations topiques (**Rahman et al., 2015 ; Patel et al., 2020**). Les résultats (Figure16) ont révélé une inhibition modeste, variant de 15 à 20 % selon les échantillons, et ce sans évolution marquée avec la concentration. En revanche, le diclofénac sodique, utilisé comme contrôle positif, a démontré une activité significativement plus élevée (>70 % à 0,25 mg/mL), confirmant l'efficacité du modèle expérimental.

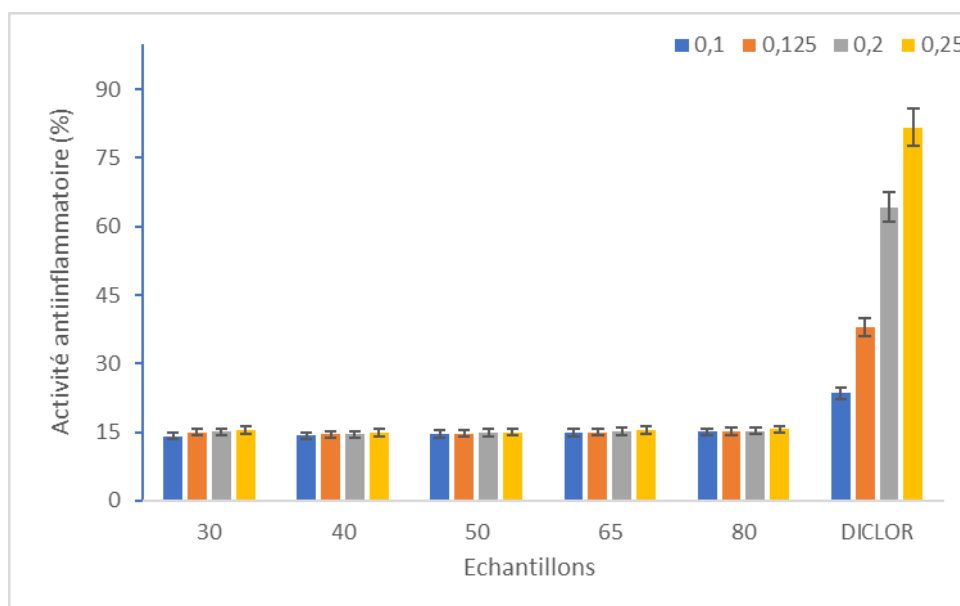


Figure 16 : Activité anti inflammatoire des différentes formules de crème.

Ces résultats corroborent ceux rapportés dans la littérature concernant l'utilisation du test BSA comme méthode simple, fiable et reproductible pour prédire l'activité anti-inflammatoire *in vitro* (Mizushima & Kobayashi, 1968 ; Rahman *et al.*, 2015).

La faible activité observée dans les formulations testées pourrait s'expliquer par une faible concentration ou par la nature peu active des composés bioactifs présents, ainsi que par une libération limitée de ces composés. Cette libération restreinte pourrait être due à leur encapsulation ou à des interactions au sein de la matrice émulsionnée (Jain *et al.*, 2015). Par ailleurs, Patel *et al.* (2020) évoquent également la possibilité d'interactions entre les ingrédients de la formulation, pouvant réduire la disponibilité des principes actifs. Sakat *et al.* (2010), ont rapporté une activité anti-inflammatoire atteignant 60 % avec des extraits méthanoliques riches en flavonoïdes, soulignant que l'efficacité dépend fortement de la composition chimique de l'extrait utilisé. Dans le cas présent, les pourcentages d'inhibition relativement faibles pourraient refléter une teneur réduite en polyphénols ou flavonoïdes actifs, ou encore leur instabilité dans la matrice émulsionnée.

Enfin, Singh *et al.* (2011) ont montré que certains extraits végétaux ont besoin de concentrations plus élevées (>1 mg/mL) pour exprimer une activité notable. Or, dans cette étude, les tests ont été réalisés à des concentrations très faibles (0,1 à 0,25 mg/mL), ce qui pourrait également expliquer l'amplitude limitée de l'effet observé.

II.6 Analyse microbiologique

Cinq échantillons de crème hydratante (codés A, B, C, D et E,) correspondant aux concentrations (80 %,65%,50%,40%,30%) ont été analysés conformément aux normes ISO pour la détection des principaux contaminants microbiens. Les résultats (voir Tableau VII) obtenus ont été comparés aux critères microbiologiques fixés par le **Journal Officiel Algérien** pour les produits cosmétiques.

Tableau VII : Résultats microbiologique des échantillons de crème hydratante :

Échantillon	A	B	C	E	Interprétation	Norme (UFC/g ou ml)
Germes Totaux (GAMT)	00UFC/g	00UFC/g	00UFC/g	30UFC/g	Conforme	$\leq 10^2$ (100UFC/g ou ml)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence	Absence	Absence	Absence	Conforme	Absence dans 1 g ou 1 ml
<i>E. coli</i>	Absence	Absence	Absence	Absence	Conforme	Absence dans 1 g ou 1 ml
<i>P. aeruginosa</i>	Absence	Absence	Absence	Absence	Conforme	Absence dans 1 g ou 1 ml

A : 80% ; B : 65% ; C : 50% ; D : 40% ; E :30%

Le tableau présente les résultats des analyses microbiologiques de cinq échantillons (codés de A à E) de crèmes hydratantes, portant sur : Les germes totaux aérobies mésophiles (GAMT), la présence de trois bactéries pathogènes : *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*.

- **Germes totaux aérobies mésophiles (GAMT)**

Les échantillons A, B, C et D présentent une absence totale de germes aérobies mésophiles (00 UFC/g), indiquant une excellente maîtrise de la contamination globale lors de la fabrication. L'échantillon E montre une très faible contamination (30 UFC/g), largement en dessous des seuils réglementaires (généralement <1000 UFC/g pour les produits cosmétiques, et <500 UFC/g pour les produits destinés aux enfants ou aux zones sensibles) (J O R A, 2020 ; Nursat et al., 2023).

- **Bactéries pathogènes recherchées**

Aucun des échantillons ne présente de contamination par *Staphylococcus aureus*, *E. coli* ou *Pseudomonas aeruginosa*. Selon la norme ISO 17516 : 2014 et la réglementation internationale, ces germes doivent être totalement absents dans 1 g ou 1 ml de produit fini. Leur

absence indique que les formulations sont sûres vis-à-vis de ces pathogènes majeurs (Nursat et al., 2023).

Les résultats sont conformes aux normes internationales (ISO 17516 :2014) qui exigent l'absence de ces pathogènes et limitent la charge microbienne totale (Nursat et al., 2023 ; Ghias et Fozouni, 2024). La littérature montre que la présence de ces bactéries dans les cosmétiques peut entraîner des risques d'infections cutanées, notamment chez les personnes immunodéprimées ou les enfants (Hwang et al., 2021 ; Ertl et Pacifici, 2025).

Plusieurs études rapportent la détection de *Staphylococcus aureus*, *E. coli*, *Pseudomonas spp.* et d'autres bactéries dans des crèmes commerciales, parfois à des niveaux préoccupants (Nursat et al., 2023 ; Ertl et Pacifici, 2025). L'absence de ces germes dans les échantillons analysés traduit une bonne maîtrise des conditions de fabrication et de la chaîne de production. Une étude menée par Alshehrei (2023), a montré que les cosmétiques de faible qualité étaient plus contaminés que ceux de haute qualité, avec des prévalences de *Staphylococcus aureus* et *E. coli* particulièrement élevées. Les champignons du genre *Aspergillus* étaient également fréquemment retrouvés dans les produits de basse qualité. Une autre étude portant sur 92 produits cosmétiques neufs a révélé que 29,3 % étaient contaminés par des bactéries et 21,7 % par des champignons, avec des charges microbiennes comprises entre 10^3 et 10^4 UFC/ml. *Staphylococcus aureus* et *Candida albicans* étaient les principaux contaminants identifiés. Les mascaras étaient les produits les plus contaminés (Shareef, 202)

En se référant à la réglementation algérienne, notamment à l'Arrêté interministériel du 21 octobre 2019 (JO N°16 du 29 Rajab 1441/24 mars 2020), les critères microbiologiques pour les produits cosmétiques et d'hygiène corporelle (autres que ceux destinés aux enfants de moins de trois ans, à la zone oculaire et aux muqueuses) sont énumérés dans le tableau en annexe 3.

II.7 Analyse sensorielle

Cette section est consacrée à l'évaluation sensorielle des 6 échantillons de crèmes hydratantes formulés.

II.7.1 Courbe de niveau et carte des préférences

La figure suivante définit la courbe des niveaux et la carte des préférences

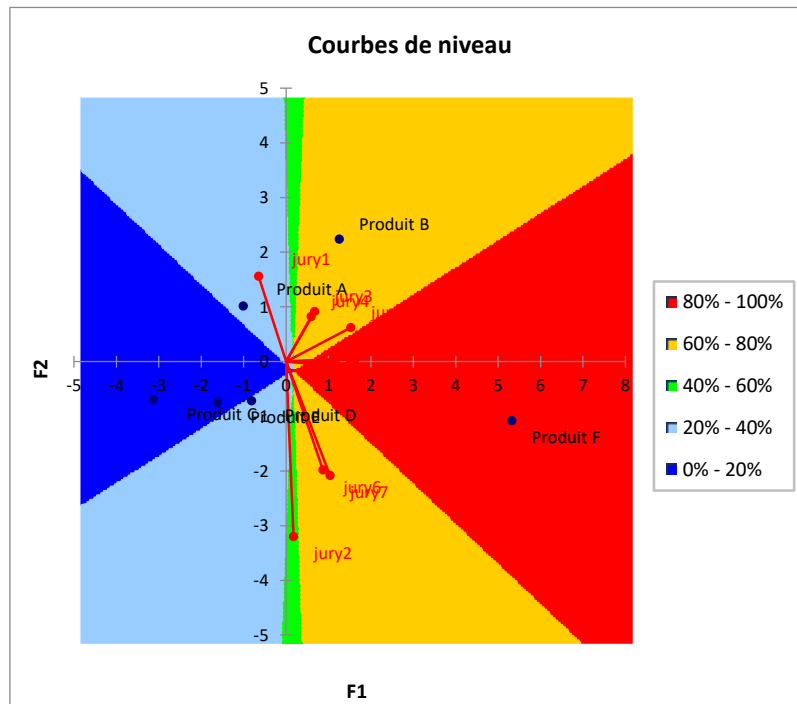


Figure 17: Courbe de niveau et carte des préférences

Cette carte permet de guider les choix de formulation ou de reformuler certains échantillons en s'orientant vers les caractéristiques sensorielles des produits les plus appréciés. Plus un échantillon est situé dans une zone chaude (jaune, orange, rouge), plus il est apprécié par les testeurs. À l'inverse, les zones bleues correspondent à des faibles niveaux de satisfaction.

On remarque que le produit F, qui correspondant au produit de crème hydratante à 30% de phase aqueuse, est situé dans les zones rouges, ce qui indique qu'il est très apprécié (préférences supérieures à 60 %, voire jusqu'à 100 %) par les experts. Produit A (80%) est positionné à proximité du centre, dans une zone jaune pâle à bleue claire : il reçoit donc une préférence modérée à faible. Les zones extrêmes en bleu foncé (à gauche) indiquent des formulations clairement rejetées par les juges.

Conclusion

Conclusion et perspectives

En Algérie, bien que le caroubier soit un arbre largement répandu et traditionnellement exploité pour ses gousses sucrées dans l'alimentation, son potentiel dans le domaine cosmétique reste encore très peu exploré. La valorisation des sous-produits issus de la pulpe et des graines, notamment la gomme de caroube, représente une opportunité prometteuse à la fois pour le développement de produits naturels et pour l'économie locale. C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail, qui a visé à formuler, caractériser et évaluer une crème hydratante innovante à base de caroube.

Dans le premier volet, une caractérisation physico-chimique de la pulpe et la gomme de caroube a été réalisée. La pulpe s'est révélée riche en sucres solubles (7,17 °Brix) et en humidité (10,5 %), avec un pH acide (5,79), la rendant idéale pour des formulations hydratantes naturelles. Quant à la gomme de caroube extraite des graines, elle présente une humidité plus faible (8,32 %), un pH proche de la neutralité (6,67) et une faible teneur en matières sèches, confirmant son aptitude comme agent épaississant, filmogène et stabilisant.

Dans le deuxième volet, plusieurs formulations de crèmes hydratantes ont été élaborées, en variant les proportions de l'hydrolat de pulpe. Les échantillons ont été soumis à un ensemble de test à savoir, le suivi de stabilité du pH, la viscosité et des caractéristiques macroscopiques à l'instar la couleur, l'odeur, etc, mais également une évaluation de certaines activités biologiques microbiologiques et sensorielles pour évaluer leur stabilité, leur innocuité et leur acceptabilité.

Les résultats de l'étude de la stabilité physique ont démontré que toutes les formulations, en particulier celles riches en gommes (65 % et 80 %), ont maintenu un pH stable autour de 5,5 sur une période de 30 jours, sous différentes conditions de température (4 °C, 25 °C et 40 °C). Ces valeurs sont compatibles avec le pH physiologique de la peau, garantissant ainsi une bonne tolérance cutanée.

L'analyse macroscopique n'a révélé aucun signe de déphasage, ni altération de la couleur ou de l'odeur, traduisant une qualité d'émulsion satisfaisante. Par ailleurs, l'observation microscopique des gouttelettes a mis en évidence une structure homogène et une dispersion uniforme des phases, particulièrement marquées dans les échantillons à 65 %, ce qui vient corroborer les observations visuelles.

La viscosité, paramètre clé influençant la texture et l'acceptabilité d'un produit cosmétique, est restée stable pour les formulations les plus concentrées. En revanche, celles à faible teneur en pulpe et en gomme ont présenté des variations plus marquées. L'acidité titrable est demeurée dans des seuils acceptables, confirmant une bonne stabilité chimique.

Sur le plan biologique, l'activité antioxydante, évaluée par le test au radical DPPH, a montré un effet dose-dépendant, avec un pourcentage d'inhibition atteignant 68,8 % pour la crème contenant 65 % d'extrait, ce qui suggère la présence de composés phénoliques actifs. Le test de cytotoxicité réalisé sur les globules rouges a révélé un taux d'hémolyse très faible, inférieur aux seuils de cytotoxicité, même pour les concentrations les plus élevées, ce qui confirme l'innocuité des formulations. Ces résultats sont particulièrement encourageants pour un usage topique. En revanche, l'activité anti-inflammatoire observée reste modérée (15–20 %), ce qui pourrait être lié à la faible concentration des principes actifs libérés dans la matrice cosmétique.

L'étude microbiologique a confirmé la conformité des échantillons aux normes ISO 17516 : aucun germe pathogène (*Staphylococcus aureus*, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) n'a été détecté, et les charges microbiennes totales sont restées très faibles, même après 30 jours. Ces résultats valident les bonnes pratiques de formulation et la qualité hygiénique du procédé.

Le dernier volet, l'évaluation d'analyse sensorielle basée le test de préférence (Mapping des préférences), a révélé que la crème contenant une proportion de 30% a été largement préférée par les juges. Elle a été perçue comme plus agréables à appliquer, onctueuse, avec une odeur naturelle plaisante, confirmant ainsi leur potentiel sur le marché cosmétique naturel.

Au vu de l'ensemble de ces résultats, il apparaît que la pulpe et la gomme de caroube peuvent être intégrées avec succès dans des formulations cosmétiques, notamment dans les crèmes hydratantes. Elles confèrent au produit final des propriétés physico-chimiques stables, une bonne tolérance biologique, des activités antioxydantes intéressantes et une appréciation sensorielle favorable.

Cependant, cette étude constitue une ébauche dans un domaine encore peu exploré. Elle ouvre des perspectives intéressantes pour des recherches futures, notamment :

- La réalisation d'essais in vivo sur peau humaine afin d'évaluer la tolérance cutanée et l'efficacité réelle des formulations ;

- L'optimisation des procédés d'extraction de la gomme (solvants, température, rendement) par des plans d'expérience ;
- L'extension de l'étude à d'autres formes galéniques cosmétiques (lotions, gels, savons solides) intégrant les extraits de caroube ;
- La caractérisation approfondie des composés bioactifs par chromatographie et spectrométrie.

En somme, la caroube, longtemps considérée comme un simple fruit fourrager, se révèle être une ressource naturelle à fort potentiel dans la cosmétique moderne, conciliant efficacité, innocuité et durabilité.

Liste bibliographique

Liste bibliographique

A

- **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
- **Alam, M., Chauhan, L., & Gupta, S. (2020).** Creams: A Review on Classification, Preparation Methods, Evaluation and Applications. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, **10**(5-s), 281–289 .
- **Alshehrei, F. M. (2023).** Isolation and Identification of Microorganisms associated with high-quality and low-quality cosmetics from different brands in Mecca region-Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, **30**(12), 103852.
- **Ameer, K., Shahbaz, H. M., & Kwon, J. H. (2017).** Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, **16**(2), 295-315.
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
- **Anisworth,E.A,et Gillespie,K.M. (2007)** .Estimation of total phenolic content and other oxide.tion substance in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent.
- **AOAC. (2006).** *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists.

B

- **Barbar, A., Farooq, U., & Ali, S. (2023).** Rheological characterization and stability assessment of emulsified systems: Influence of natural polymers. *Journal of Dispersion Science and Technology*, **44**(1), 89–97.
- **Battle I., Tous J., (1997).** Carob tree *Ceratonia siliqua* L., Promoting the conservation
- **Battle, I. and J. Tous. (1997).** Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- **Battle, I. ; Tous, J. (1997).** Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). Promouvoir la conservation et l'utilisation des cultures sous-utilisées et négligées. 17. Institut de génétique végétale et de recherche sur les plantes cultivées, Gatersleben / Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie.

- **Batlle I. et Tous J. (1997).** Carobtree. *Ceratonia silique* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome. Italy 1-97.
- **Bouzouita, N., Khaldi, A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabouni M.M., Thonart, P. (2007).** The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia. *Food Chemistry*, 101 :1508–1515.
- **Benjamin Ertl ¹, Eunjoo Pacifici ¹ J Clin. (2025).** Evaluating global cosmetic regulatory frameworks using an adapted regulatory maturity benchmarking tool . *Transl Sci.* Apr 11;9 (Suppl 1):158–159. 544
- **Bernat Llompart ,Esperanza Dalmau, Monica Umaña et Antoni Femenia Gels (2025).** Physicochemical Characterization and Antioxidant Properties of Cellulose-Rich Extracts Obtained from Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Pulp for Preparation of Cellulose- Rich Gels. **11(2), 145**; <https://doi.org/10.3390/gels11020145>.
- **Bertrand, J. (2013).** Le caroubier : un arbre d'avenir pour les zones arides et semi-arides. *Options Méditerranéennes. Série A, Séminaires Méditerranéens*, 106, 129–134
- **Bielawski, J. (1990).** *Two types of haemolytic activity of detergents.* *Biochimica et Biophysica Acta*, **1035(2)**, 214–217.
- **Boublenza I, Ghezlaoui S, Mahdad M, Vasa'i F, Chemat F(2019).** Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. *Sci Horti-Amerstardam.*;256:108537.
- **Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, 28(1), 25–30.
- **Bravo, B., Penedo, L., Carvalho, R., Dal Vesco, C., Calomeni, M., Gapanowicz, D., ... & Renke, G. (2024).** Dermatological Changes during Menopause and HRT: What to Expect?. *Cosmetics*, 11(1), 9.

C

- Caja, G. (1985).** La Garrofa: Composición, procesado y usos agroindustriales. *Jornadas de la Garrofa. LLiria, Valencia-España.*
- **Chanchal, D. & Swarnlata, S. (2008).** *Novel approaches in herbal cosmetics.* **Journal of Cosmetic Dermatology**, 7(2), 89–95
 - **Chow, S. C., Pong, A., & Chow, S. S. (2024).** Novel Design and Analysis for Rare Disease Drug Development. *Mathematics*, 12(5), 631.

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. et al., (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.
- **Decodts, M., & Flamarion, J. (1985).** *Cosmétologie : connaissance et technologie des produits cosmétiques* (2e éd.). Paris : Éditions Lavoisier-Tec & Doc.
- **Diamantoglou, S., Kokkini, S., & Constantinidis, T. (1981).** *The cultivated olive tree and its wild relatives in Greece. Plant Systematics and Evolution*, 137(1–2), 63–76.
- **Djeddar, L., & Madadi, T. (2024).** *Caractérisation morphologique et physico-chimique de la caroube* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- **DAKIA, P. A., COMBO, M. M. A., YAPO, B. M., BROU, D. K., & PAQUOT, M. (2017).** Carob (*ceratonia siliqua* L) seed tegument separation and analysis: comparison with locust bean gum hot-water-insoluble residue monosaccharide's composition. *International Journal of New Technology and Research*, 3(11), 263203.
- **Dakia, P.A., Bleckerb, C., Roberta, C., Watheleta, B., Paquota, M. (2008)** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22 : 807–818.

E

- **El Batel, I., Zegzouti, Y., & El Midaoui, A. (2013).** Étude des propriétés physico-chimiques et fonctionnelles de la gomme de caroube du Maroc. **Journal of Materials and Environmental Science**, 4(4), 571–576.
- **El Batal, H., Hasib, A., Dehbi, F., Zaki, N., Ouattmane, A., & Boulli, A. (2016).** Assessment of nutritional composition of Carob pulp (*Ceratonia Siliqua* L.) collected from various locations in Morocco. *J. Mater. Environ. Sci*,
- **Evreinoff VA (1948)** Le cognassier. Dans : *Les fruits à pépins.* , vol. 3, n° 2, Paris, pp 215-232
- **Evreinoff, V. A. (1947).** Le Caroubier ou *Ceratonia siliqua* L. *Journal d'agriculture*.

F

- **Frederik, P. M., Deme, B., & Cullander, C. (2010).** Cryo-effects on semi-solid emulsions: Phase separation and microstructural changes induced by low temperature. **International Journal of Pharmaceutics**, 389(1–2), 109–115.

- **Farahnaky, A., Darabzadeh, N., Majzoobi, M., et Mesbahi, Gh. (2014).** Physicochemical Properties of Crude and Purified Locust Bean Gums Extracted from Iranian Carob Seeds. *Journal of Agricultural and Science and Technology*, 16: 125- 136
- **Fatima, N., Saadia, B. D., Meryem, B., & Amine, B. (2024).** Nutritional Approach of Carob Pulp Powder " *Ceratonia siliqua* L." from Algeria: Potential as Cocoa Substitute in Chocolate Formulations. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 43(4).

G

- **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
- **Ghasemi, F., Mohammadi, M., & Niknejad, H. (2020).** Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of different extracts of *Olea europaea* L. leaves. *Iranian Journal of Medical Sciences*, 45(6), 409–416
- **Ghias, M., & Fozouni, L. (2024).** Assessment of Microbial Contamination and Metabolite Exposure in Cosmetic Products Used in Women's Beauty Salons. *Iranian Journal of Public Health*, 53(5), 1175.
- **Gonçalves, G. M., Brianezi, G., & Miot, H. A. (2017).** The pH of the main Brazilian commercial moisturizers and liquid soaps: considerations on the repair of the skin barrier. *Anais brasileiros de dermatologia*, 92(5), 736-738.
- **Gonçalves, A. C., Soares, A. R., & Rodrigues, L. M. (2017).** Skin acidic pH and its role in the barrier function and wound healing. *International Journal of Dermatology*, 56(7), 778–785.
- **González Rodríguez, M. L., Rabasco Álvarez, A. M., & Fini, A. (2021).** Evaluation of viscosity behavior of natural and synthetic polymers used in topical formulations. *International Journal of Cosmetic Science*, 43(5), 497–506.
- **González-Rodríguez P., Zampese E., Stout K. A., Guzman J. N., Ilijic E., Yang B., Tkatch T., Stavarache M. A., Wokosin D. L., Gao L., Kaplitt M. G., López-Barneo J., Schumacker P. T., Surmeier D. J. (2021).** *Disruption of mitochondrial complex I induces progressive parkinsonism. Nature*, 599(7886), 650–656.
- **Goulas, V., Stylos, E., Chatziathanasiadou, T., Mavromoustakos, & Tzakos, A.G. (2016).** Functional Components of Carob Fruit: Linking the Chemical and Biological Space. *International Journal of Molecules Science*, 17: 1-20.
- **Gillet, S., Blecker, C., Paquot, M., Richel, A. (2014).** La relation structure chimique propriétés physiques des galactomannanes extraits de la caroube. *Comptes Rendus Chimie*. 17. 386–401.

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

H

- **Hamadi, A., & Barbar, Z. (2024).** New records of mites (Acari: Mesostigmata, Sarcoptiformes, Trombidiformes) from Hama Province, Syria. *Acarologia*, 64(3), 907-918.
- **Higazy, A. M., Abd El-Aziz, M. E., & El-Kholy, W. M. (2018).** Utilization of Egyptian carob gum as a natural thickening agent in food products. **Journal of Food and Dairy Sciences**, 9(6), 263–269.
- **Hillcoat, D., Lewis, G., & Verdcourt, B. (1980).** A new species of *Ceratonia* (Leguminosae:Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew Bulletin*, 261-271.
- **Hussen, S., & Endalew, W. (2023).** Antioxidant activity of medicinal plants evaluated by DPPH assay: A systematic review. **Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy**, 15(2), 29–39.
- **Hwang, B. K., Lee, S., Myoung, J., Hwang, S. J., Lim, J. M., Jeong, E. T., ... & Youn, S. H. (2021).** Effect of the skincare product on facial skin microbial structure and biophysical parameters: A pilot study. *Microbiologyopen*, 10(5), e1236.
- **Haddarah, A. (2013).** L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la caroube Libanaise. Thèse de Doctorat de Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. L'Université Libanaise (Ecole Doctorale des Sciences et Technologie) Et l'Université de Lorraine (France).

I

- **Ikram, A., Khalid, W., Wajeelha Zafar, K. U., Ali, A., Afzal, M. F., Aziz, A., ... & Koraqi, H. (2023).** Nutritional, biochemical, and clinical applications of carob: A review. *Food Science & Nutrition*, 11(7), 3641-3654.
- **ISO 750:1981 Produits dérivés des fruits et légumes — Détermination de l'acidité titrable**
- **ISO. (1981).** **ISO 750:1981 – Fruits and vegetable products – Determination of titratable acidity**. International Organization for Standardization.

J

- **Jain, P., Sharma, A., & Jain, V. (2015).** *Development and evaluation of topical gel of Boswellia serrata for anti-inflammatory activity.* Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 8(4), 54–57.
- **Janssens-Böcker C, Doberenz C, Monteiro M, de Oliveira Ferreira M (2025).** Influence of Cosmetic Skincare Products with pH < 5 on the Skin Microbiome: A Randomized Clinical Evaluation. *Dermatol Ther (Heidelb)*. 2025 Jan;15(1):141-159. doi: 10.1007/s13555-024-01321-x. Epub 2024 Dec 21. PMID: 39709312; PMCID: PMC11785879.

K

- **Kıvrak, N. E., Aşkın, B., & Küçüköner, E. (2015).** Comparison of some physicochemical properties of locust bean seeds gum extracted by acid and water pre-treatments. *Food & Nutrition Sciences*, 6(2), 278–286.

L

- **Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., ... & Zommers, Z. (2023).** *Climate change 2023: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* The Australian National University.
- **Liompart, M., Rodríguez-Solana, R., Sánchez-Rabaneda, F., & García-Salas, P. (2025).** Comparative evaluation of bioactive compound content in different Spanish carob (*Ceratonia siliqua* L.) pulps: Influence of variety and geographic origin. **Journal of Food Composition and Analysis**, 118, 105431.
- **Liphschitz, N. (1987).** *Ceratonia siliqua* in Israel: an ancient element or a newcomer?. *Journal of Botany*, 36(4), 191-197.
- **Lodén, M., Maibach, H. I., & Voegeli, R. (2021).** Towards optimal pH of the skin and topical formulations. *Cosmetics*, 8(4), 99.

M

- **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.
- **Mahdad, B., & Guaour, K. (2016).** Propriétés nutritionnelles et applications potentielles des graines de caroube. *Journal Algérien de Recherche en Sciences Alimentaires*, 5(2), 33–40.
- **Malki, F., Touati, A., & Moulay, S. (2017).** Comparative study of antioxidant activity of some amides. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*, 5(3).

- **Maramaldi, G., Togni, S., Pagin, I., Giacomelli, L., Cattaneo, R., Eggenhöffner, R., & Burastero, S. E. (2016).** Soothing and anti-itch effect of quercetin phytosome in human subjects: a single-blind study. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*, 55-62.
- **Maru, S., Lahoti, S., & More, K. (2012).** Formulation and evaluation of moisturizing cream containing sunflower wax and stearic acid. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, **10**(11), 54–59. Cette étude développe des émulsions huile-dans-eau à base de triéthanolamine, cire de tournesol et acide stéarique.
- **Medronho, B., Boutoub, O., Duarte, H., Aliaño-González, M. J., Guerra, R., Brázio, A., ... & Romano, A. (2025).** On the Optimization of Carob Seed Peel Extraction Using Aqueous-Based Acidic Systems. *Molecules*, **30**(7), 1397.
- **Mekhoukhe, A., Mohellebi, N., Mohellebi, T., Deflaoui-Abdelfettah, L., Medouni-Adrar, S., Boulekbache-Makhlouf, L., & Madani, K. (2021).** Jam processing: Effect of pectin replacement by locust bean gum on its characteristics. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, **14**, 13–24.
- **Mekhoukhe, A., Mohellebi, N., Mohellebi, T., Deflaoui-Abdelfettah, L., Medouni-Adrar, S., Boulekbache-Makhlouf, L., & Madani, K. (2021).** Jam processing: Effect of pectin replacement by locust bean gum on its characteristics. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, **14**, 13–24.
- **Mekhoukhe A, Deflaoui – Abdelfettah L, Madani K. (2025).** Valorisation de la caroube : Impact économique et perspectives Une ressource naturelle au service du développement durable. Edition Universitaires Européennes Indian Ocean LTD. Pp 85
- **Melgarejo, P., & Salazar, D.M., (2003).** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- **Mizushima, Y., & Kobayashi, M. (1968).** Interaction of anti-inflammatory drugs with serum proteins, especially with some biologically active proteins. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **20**(3), 169–173.

N

- **Najwan Sadeq Shareef. (2021).** Unexpected contamination of brand new (non-used) cosmetic products by pathogenic microorganisms Volume – 7; Issue - 3; Year –; Page: 2163 – 2170 DOI: 10.22192/lsa.2021.7.3.4.
- **Nusrat, N., Ahmad Zahra, M., Ahmed, A., & Haque, F. (2023).** Assessment of potential pathogenic bacterial load and multidrug resistance in locally manufactured cosmetics commonly used in Dhaka metropolis. *Scientific Reports*, **13**(1), 7787.
- **NF V 05-108, 1970.** Qualités de produit. Détermination de Ph

O

- **Olajuyigbe, A. A., Olajuyigbe, O. O., & Cooposamy, R. M. (2020).** Interaction of *Ziziphus mucronata* subsp. *mucronata* Methanol Extract and First-Line Antibiotics is Synergistic In Vitro through Production of Reactive Oxygen Species. *Journal of Tropical Medicine*, 2020(1), 4087394.
- **Onuki, T., Ueda, S., Yamaoka, M., Sekiya, Y., Yamada, H., Kawakami, N., Araki, Y., Wakai, Y., Saito, K., Inagaki, M., & Matsumiya, N. (2017).** *Primary and secondary spontaneous pneumothorax: Prevalence, clinical features, and in-hospital mortality. Canadian Respiratory Journal*, 2017, Article 6014967.
- **Ossama Dimassi 1* , Rima Khalife1 , Raymond Akiki2 , Mohammed Rached3** *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB) Vol-4, Issue-3, May-Jun- 2019*

P

- Papaefstathiou, E., Agapiou, A., Giannopoulos, S., & Kokkinofa, R. (2018).** Nutritional characterization of carobs and traditional carob products. *Food science & nutrition*, 6(8), 2151-2161.
- **Patel, S., Shah, D., & Patel, N. (2020).** *Formulation and in-vitro anti-inflammatory evaluation of polyherbal gel using BSA denaturation assay. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 2904–2910
 - **Pawar, S. T., & Bhagat, V. P. (2023).** *Formulation and evaluation of moisturizing cream. International Research Journal of Modernization in Engineering, Technology and Science*, 5(5), 2582–5208. Auteur mentionné : Shubham Tukaram Pawar & Vishal Popat Bhagat.
 - **Pawar, S. T., Bhagat, V. P., Jadhav, V. A., & Rode, A. R. (2023).** *Formulation and evaluation of moisturizing cream. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5(5), 2582–5208.
 - **Petri, D. F. S., & Isasa, I. (2022).** Environmental and harvesting factors affecting the properties of carob gum: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, 209, 1232–1243.
polyphenols extraction by deep eutectic solvent from broccoli stem and characterization of their composition and antioxidative effects. *Scientific Reports*, 15(1), 1-12.
 - **Pradal, D., Vauchel, P., Decossin, S., Dhulster, P., & Dimitrov, K. (2016).** Kinetics of ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenols from food by-products: Extraction and energy consumption optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 137-146.

Q

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

R

- **Rafique, T., Khan, M. I., Ahmad, N., & Akhtar, N. (2023)**. Evaluation of cytotoxic and hemolytic activity of plant extracts using in vitro assays. **Biotechnology Reports**, 39, e00754.
- **Rahman, H., et al. (2015)**. Evaluation of anti-inflammatory activity using protein denaturation method. *J. Appl. Pharmaceut. Sci.*
- **Rahman, M. A., et al. (2015)**. *In vitro evaluation of anti-inflammatory activity of herbal extracts using protein denaturation method*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(5), 2259–2263.
- **Reiner, F., Brandt, M., Tong, X., Skole, D., Kariyaa, A., Ciais, P., Davies, A., Hiernaux, P., Chave, J., Mugabowindekwe, M., Igel, C., Oehmcke, S., Gieseke, F., Li, S., Liu, S., Saatchi, S., Boucher, P., Singh, J., Taugourdeau, S Dendoncker, M., Song, X.-P., Mertz, O., Tucker, C. J., & Fensholt, R. (2023)**. More than one quarter of Africa's tree cover is found outside areas previously classified as forest. *Nature Communications*, 14(1), 2258.
- **Rejeb, M. N., et al. (1995)**. Nutritional value of carob pod husks (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(2), 209-215.
- **Riner, A., Delgado, L., & Costa, J. (2023)**. Impact of storage temperature on the rheological behavior and physical stability of thick cosmetic formulations. **Journal of Cosmetic Science**, 74(2), 145–153.
- **Rodríguez-Solana, R., Rocha, C. M. R., Figueiredo, A., & Bronze, M. R. (2021)**. Influence of geographical origin, harvesting time, and genotype on the composition and quality of carob (*Ceratonia siliqua* L.) pods and seeds. **Food Research International**, 145, 110391.

S

- **Sæbø, I. P., Bjørås, M., Franzyk, H., Helgesen, E., & Booth, J. A. (2023)**. *Optimization of the hemolysis assay for the assessment of cytotoxicity*. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2914.
- **Sakat, S.S., Juvekar, A.R., Gambhire, M.N. (2010)**. In vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of methanol extract of *Oxalis corniculata* Linn. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 146–155."
- **Shahidi, F., & Zhong, Y. (2015)**. Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, 757–781.

- **Shepperd, WD (2008).** *Ceratonia siliqua* L. Caroube. Manuel d'agriculture USDA FS 727 - The Woody Plant Seed Manual, un manuel sur les semences d'arbres et d'arbustes.
- **Singh, R., Kaur, N., Kishore, L., & Gupta, G. K. (2011).** *Evaluation of in vitro anti-inflammatory activity of various extracts of Morus alba Linn. leaves using BSA denaturation method.* **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, 4(3), 89–91.
- **Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999).** *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent.* *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- **Smati,I., BettaiebRebey,I., Hammami,M., Hamdaoui,G., SaidaiTounsi, M. (2017).** Variation de la qualité du jus de citron (*Citrus limon* L.) au cours de la maturation fruit. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 43(1) : 2334-2343.
- **Song, H. S., Bae, J. K., & Park, I. (2013).** Effect of heating on DPPH radical scavenging activity of meat substitute. *Preventive nutrition and food science*, 18(1), 80.
- **Souto, E. B., & Müller, R. H. (2008).** Cosmetic features and applications of lipid nanoparticles (SLN®, NLC®). *International journal of cosmetic science*, 30(3), 157-165.

T

- **Togni, S., Maramaldi, G., Meneghin, M., et al. (2016).** *Soothing and anti-itch effect of quercetin phytosome in human subjects.* *Esperienze Dermatologiche – Dermatological Experiences*, 18(2),70-75.

W

- **Wang, B., Chen, P., Zhang, H., Chen, Y., & Chen, L. (2025).** Optimization of
- **Waqas, M. K., Ahmed, T., & Khan, R. (2013).** *Temperature sensitivity of water-rich cosmetic formulations: A viscosity study.* **Journal of Cosmetic Formulation and Stability**, 9(1), 45–54.

Y

- **Yang, S. C., Kim, W., & Kim, Y. J. (2004).** Radical scavenging activity and antioxidant activity of various plant extracts measured by DPPH assay. **Journal of Food Science and Nutrition**, 9(3), 215–220.

Z

- **Zillich,O.V.,Scheigger-Weiz.,U.,Eisner,P., et Kescher,M.(2015).** Polyphenols as active ingredients for cosmetic produits international journal of cosmetic37(5),455-464
- **Zohary, D. (2002).** Domestication of the carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Israel Journal of Plant Sciences*, 50(sup1), 141-145.

- **Zohary, D., & Spiegel-Roy, P. (1959).** Beginnings of fruit growing in the Old World. *Science*, 130(3372), 219–220.
- **Zohary, J. (1973).** L'origine du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et son importance dans le bassin méditerranéen. Actes de la Conférence Méditerranéenne sur les Plantes Endémiques, 7(1), 21–28 .
- **Zugazua-Ganado, M., Bordagaray, A., Ezenarro, J., Garcia-Arrona, R., Ostra, M., Vidal, M. (2024).** Adaptation of the Folin-Ciocalteu and Fast Blue BB spectrophotometric methods to digital image analysis for the determination of total phenolic content: Reduction of reaction time, interferences and sample analysis. *LWT – Food Science and Technology*, 193, 115756. DOI:10.1016/j.lwt.2024.115756

Annexes

[illegible]

Annexe 3:

Tableau : Critères microbiologiques pour les produits cosmétiques et d'hygiène corporelle
(J.O.R.A, 2020)

Paramètre	Limite réglementaire (UFC/g ou ml)
Micro-organismes aérobies mésophiles totaux	$\leq 10^2$ (100 UFC/g ou ml)
Levures et moisissures	$\leq 2 \times 10^2$ (200 UFC/g ou ml)
<i>Escherichia coli</i>	Absence dans 1 g ou 1 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absence dans 1 g ou 1 ml
<i>Staphylococcus aureus</i>	Absence dans 1 g ou 1 ml

Annexe4 :



Figure 2: Etapes de préparation des échantillons de crèmes hydratantes

Annexe 5 :

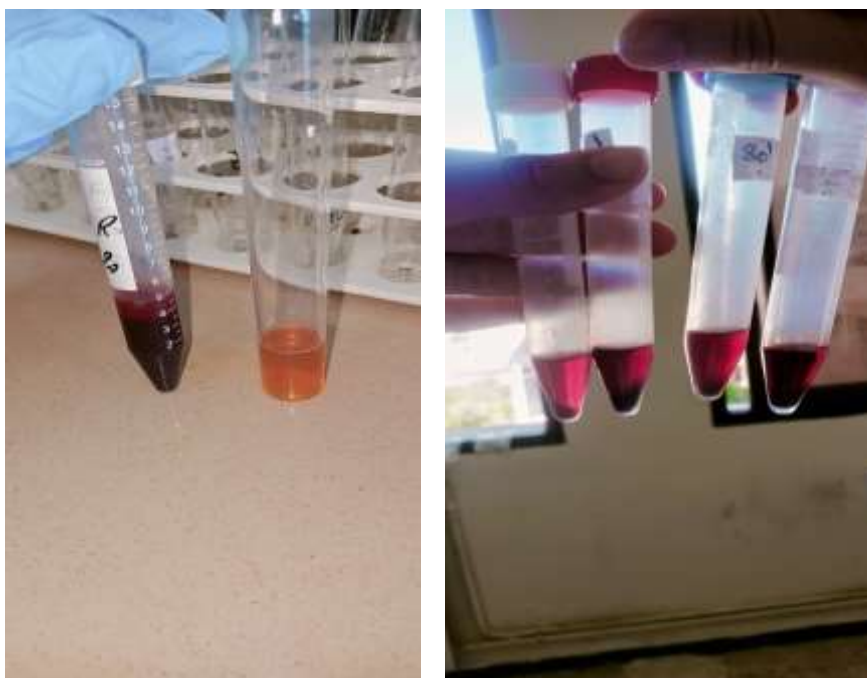


Figure 3 : Préparation du globule rouge et la solution des GR pour le test de cytotoxicité

Lavage des globules rouges

Annexe 6 Courbes d'étalonnages

a)

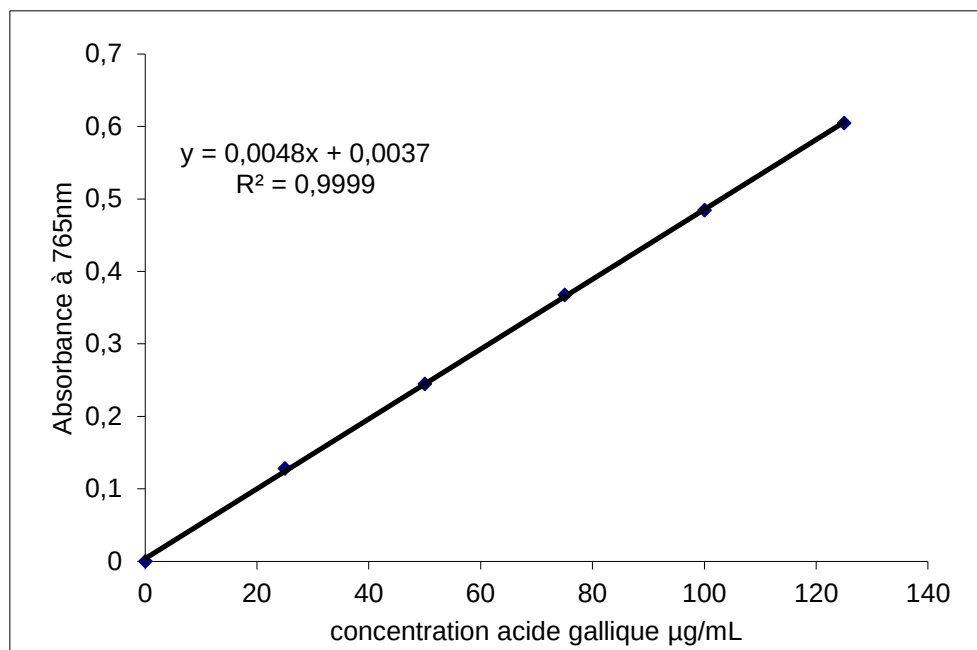


Figure 4 : Courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique (mg EAG/g MS)

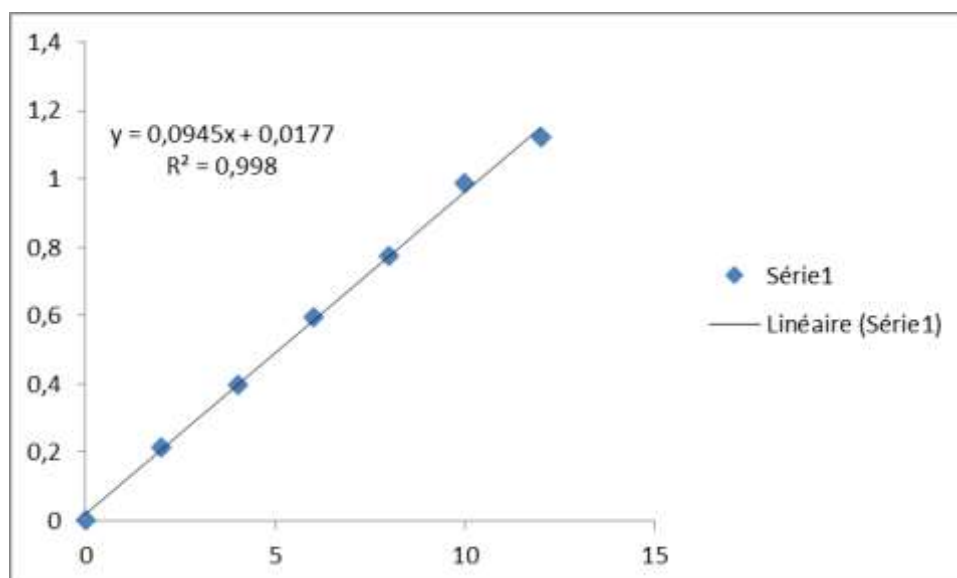


Figure 5 : courbe d'étalonnage établie avec du glucose

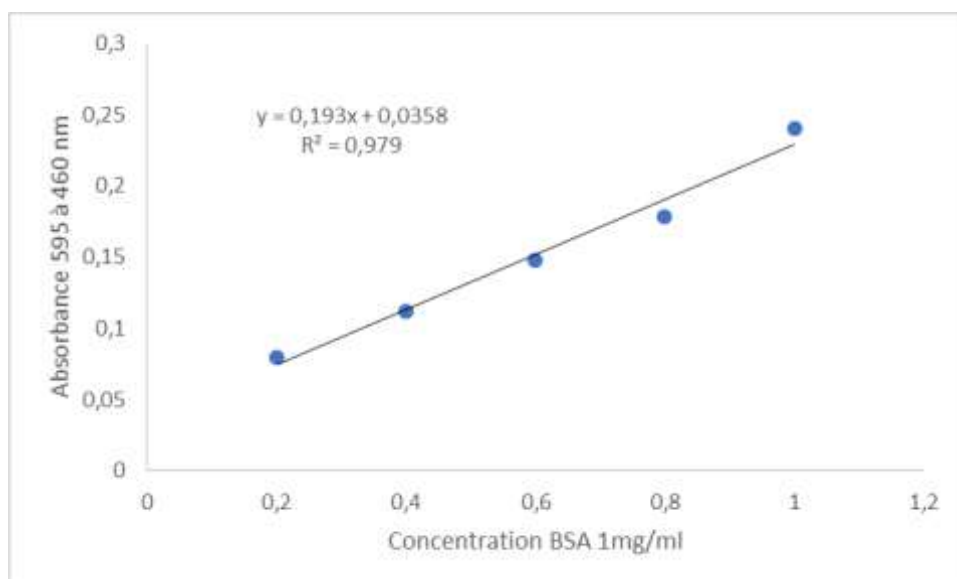


Figure 6 : courbe d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de BSA (1mg/mL)

Annexe 7 :



Figure 7 : Préparation de paille pour l'analyse microbiologique

Annexe 8 :

- Matériels et Protocol de l'analyse microbiologique

1.Matériel utiliser :

- Flacon stérile (250 mL)
- Balance de précision ($\pm 0,01$ g)
- Pipettes stériles graduées
- Vortex ou agitateur magnétique

- Bain-marie ou incubateur à température ambiante
- Diluant TAT stérile
- Échantillon de crème hydratante
- La haute
- Bec bunsen

1-2 Préparation du diluant TAT :

Le diluant TAT (Tryptone–Azolectine–Tween 20), utilisé pour neutraliser les agents conservateurs présents dans le produit cosmétique, est préparé selon la composition suivante (schéma annexe) :

- Tryptone : 5 g
- Azolectine (lécithine de soja) : 0,1 g
- Tween 20 : 1 mL
- NaCl : 8,5 g

Le pH est ajusté à $7,0 \pm 0,2$ avant stérilisation à l'autoclave (121 °C, 15 minutes).

Protocol :

Préparation des échantillons : Une quantité de crème hydratante a été prélevée de manière aseptique, puis introduite dans un flacon stérile de 250mL.

Préparation de la dilution initiale : 90ml de diluant TAT stérile ont été ajoutés au flacon, afin d'obtenir une dilution au 1/10 (10^{-1}). Le mélange a ensuite été homogénéisé par agitation manuelle ou vortex. jusqu'à dispersion complète.

La solution ainsi obtenue a été laissée au repos à température ambiante (20–25 °C) pendant 30 minutes. Cette étape permet : La neutralisation efficace des conservateurs antimicrobiens, et aussi la libération progressive des micro-organismes éventuellement présents.

Réalisation des dilutions décimales : À partir de la solution mère (dilution 10^{-1}), une série de dilutions décimales successives a été préparée (10^{-2} , 10^{-3} , etc.), en transférant 1ml de dilution précédente dans 9 mL de diluant TAT stérile, à l'aide de tubes et de pipettes stériles. **(Figure 8).**

Analyse microbiologique spécifique :

Chaque micro-organisme a été recherché selon les protocoles normatifs suivants :

a. Germes aérobies mésophiles totaux (ISO 21149)

- **Milieu** : PCA (Plate Count Agar)
- **Ensemencement** : 1 mL en inclusion ou en surface
- **Incubation** : 30 °C pendant 72 heures
- **Résultats exprimés** : UFC/g (unités formant colonie par gramme)

b . *Staphylococcus aureus* (ISO 22718)

- **Milieu** : enrichissement sur milieu Gioloti contoni
- **Ensemencement** : a partir du milieu GC positif (noircirent du milieu du a réduction de tilurite de potassium en tellure)
- **Isolement** : sur chapmane
- **Incubation** : 37 °C, 24 à 48 heures
- **Colonies** : jaune citron et virage du milieu au jaune

Confirmation : test de la coagulase ou identification biochimique

c. *Pseudomonas aeruginosa* (ISO 22717)

- **Milieu** : Cetrimide agar
- **Ensemencement** : en surface, à partir de la solution mère ou des dilutions
- **Incubation** : 37 °C, 24 à 48 heures
- **Colonies typiques** : vert-bleu avec une odeur caractéristique
- **Confirmation** : test oxydase (+), mobilité, production de pigments

d. *Escherichia coli* (ISO 21150)

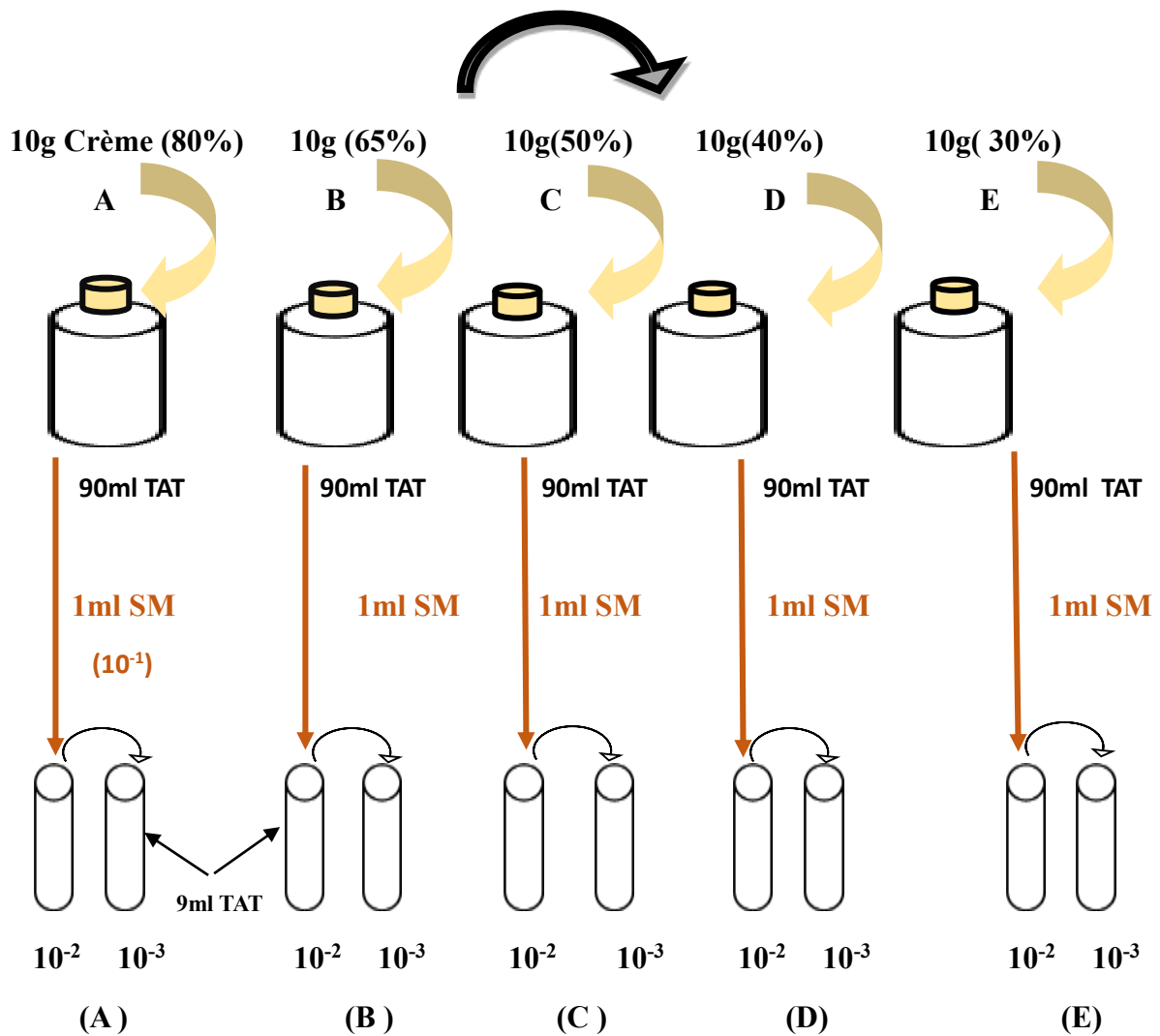
- **Milieus** : VRBL agar
- **Ensemencement** : en surface ou en inclusion
- **Incubation** : 37 °C, 24 heures
- **Colonies** : rouges avec halo
- **Confirmation** : production d'indole, fermentation du lactose

e. Levures et moisissures (ISO 16212)

- **Milieu** : Sabouraud agar supplémenté en chloramphénicol
- **Ensemencement** : en surface
- **Incubation** : 25 °C pendant 5 à 7 jours
- **Résultats** :
 - Levures : colonies crémeuses
 - Moisissures : colonies duveteuses

Les résultats obtenus ont été interprétés selon les critères microbiologiques définis pour les produits cosmétiques et d'hygiène corporelle, conformément à la réglementation en vigueur en Algérie (**Journal Officiel**).

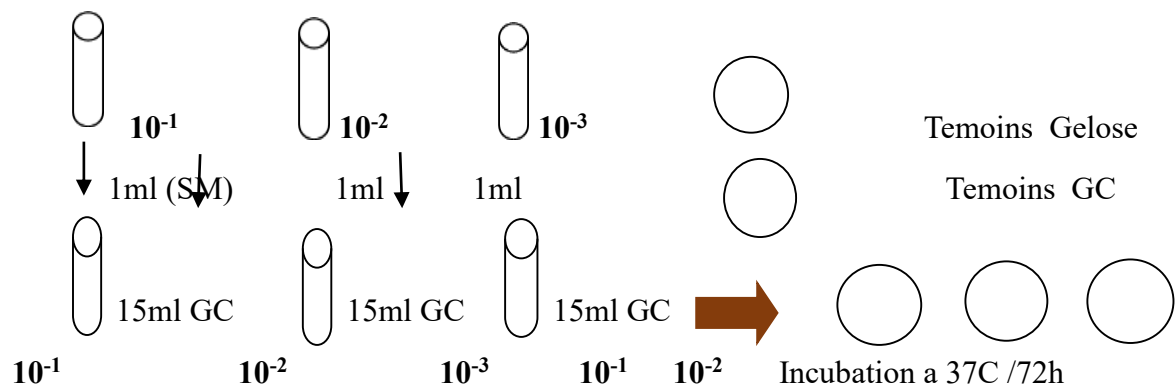
Solution mères : { 90ml TAT + 10g de crème hydratante }



Dilutions (A) : pour staphylococcus aureus :

Enrichement sur Giolitti contonie :

Isolement sur Chapman :



**Schéma 8 : Etape de préparation de la solution mère et ensemencement de
staphylococcus aureus.**

Résumé

Dans une démarche de valorisation durable, des sous-produits de caroube (pulpe et gomme) ont été utilisés pour formuler des crèmes hydratantes naturelles. Après une caractérisation physicochimique des matières premières, plusieurs formulations contenant différentes proportions de caroube (30 à 80 %) ont été élaborées. Leur stabilité physicochimique (pH, viscosité, séparation de phase), leurs propriétés biologiques (activités antioxydante, anti-inflammatoire, cytotoxique) et leur acceptabilité sensorielle ont été rigoureusement évaluées. Les résultats montrent que les formulations riches en caroube (65 % et 80 %) présentent de meilleures performances en termes de stabilité, de texture et d'activités biologiques, tout en limitant l'usage d'additifs de synthèse. Cette étude met en évidence le potentiel des ingrédients locaux dans le développement de cosmétiques naturels et durables.

Mot clés : Caroube ; antioxydants ; crèmes hydratantes ; analyse sensorielle ; analyse microbiologique

Abstract

As part of a sustainable valorization approach, carob by-products (pulp and gum) were used to formulate natural moisturizing creams. After a physicochemical characterization of the raw materials, several formulations containing different proportions of carob (30% to 80%) were developed. Their physicochemical stability (pH, viscosity, phase separation), biological activities (antioxidant, anti-inflammatory, cytotoxic), and sensory acceptability were rigorously evaluated. The results showed that formulations rich in carob (65% and 80%) exhibited better performance in terms of stability, texture, and biological activity, while reducing the use of synthetic additives. This study highlights the potential of local ingredients in the development of natural and sustainable cosmetics.

Key words: Carob; antioxidants; moisturizing creams; A sensory analysis; microbiological assessment.

ملخص

في إطار نهج قائم على التثمين المستدام، تم استخدام المنتجات الثانوية لنبات الخروب (اللب والصمغ) في تركيب كريمات مرطبة طبيعية. وبعد إجراء توصيف فيزيائي-كيميائي للمواد الأولية، تم تحضير عدة تركيبات تحتوي على نسب مختلفة من الخروب (من 30% إلى 80%). وقد تم تقييم ثبات هذه التركيبات من حيث الخصائص الفيزيائية-الكيميائية (درجة الحموضة، اللزوجة، انفصال الطور)، والخصائص البيولوجية (النشاط المضاد للأكسدة، المضاد للالتهاب، والسمية الخلوية)، بالإضافة إلى التقبل الحسي. أظهرت النتائج أن التركيبات الغنية بالخروب (65% و 80%) تقدم أداءً أفضل من حيث الثبات، القوام، والنشاطات البيولوجية، مع تقليل الاعتماد على المضافات الاصطناعية. وتبرز هذه الدراسة الإمكانيات الكبيرة للمكونات المحلية في تطوير مستحضرات تجميل طبيعية ومستدامة.

الكلمات المفتاحية: الخروب؛ مضادات الأكسدة؛ كريمات مرطبة؛ تحليل حسي؛ تقييم ميكروبيولوجي

