

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida 1**



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences Alimentaires**

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en

Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème :

**Valorisation des sous-produits du *Psidium guajava* (goyavier) :
Extraction, caractérisation et développement de produits
innovants dans le secteur agroalimentaire.**

Réalisé par

M^{lle} ELAIDAT Chaima

Devant le jury composé de :

Dr. LOUNI S.	MAA	Président	Université de Blida 1
Dr. REBZANI F.	MCB	Eaminatrice	Université de Blida 1
Dr. MEZIANE Z.	MCB	Promotrice	Université de Blida 1

Année universitaire 2024/202

Remerciements

*Avant toute chose, je rends grâce à **Dieu Le Tout-Puissant**, source de toute sagesse, de toute patience et de toute réussite.*

C'est grâce à Sa volonté, Sa lumière et Sa miséricorde que ce travail a pu voir le jour.

*J'adresse mes sincères remerciements à ma promotrice, **Dr MEZIANE Z.**, Maitre de Conférence B, Université de Blida 1 pour sa confiance, son encadrement attentif, sa rigueur scientifique et sa disponibilité constante.*

Sa guidance m'a été précieuse tout au long de ce projet.

Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail :

- **Monsieur LOUNI S. Maitre Assistant A**, Université de Blida 1, président du jury,
- **Dr REBZANI F.**, Maitre de Conférence B, Université de Blida 1 examinatrice.

Leur présence donne une dimension académique essentielle à ce mémoire.

*Mes remerciements vont aussi à **Mesdames Touati Souad et Ghaliaoui Nora**, au **CRAPC**, pour leur professionnalisme, leur disponibilité et leur accompagnement technique précieux dans le cadre des analyses expérimentales.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toute l'équipe du laboratoire de **contrôle qualité de Promasidor El Djazair**, pour leur accueil chaleureux et leur encadrement pratique durant mon stage.*

*Une mention particulière à **Madame Saoudi Ikram**, pour son appui technique, ses conseils avisés et sa bienveillance.*

*Je remercie également **Madame Sebti**, cheffe du département des sciences alimentaires, pour son implication et son accompagnement constant au service des étudiants.*

*Enfin, j'exprime toute ma gratitude à **l'ensemble des enseignants du département des sciences alimentaires** de l'Université Saad Dahlab- Blida 1.*

Leur dévouement, la qualité de leur enseignement et leur engagement pédagogique ont été essentiels à ma formation académique et humaine.

À toutes celles et ceux qui m'ont soutenue, accompagnée ou inspirée,

Recevez ici l'expression de ma reconnaissance la plus profonde.

Dédicace

À mes chers parents,

Vous êtes ma force tranquille, ma source d'amour inépuisable, le socle de tout ce que je suis aujourd'hui.

Vos prières m'ont protégée, vos sacrifices m'ont portée, et votre foi en moi m'a donné le courage d'aller au bout de ce chemin.

Ce mémoire est le fruit de votre patience, de votre amour et de votre lumière.

*À ma sœur bien-aimée, **Ahlem,***

Merci pour ton amour infini, ta présence à mes côtés dans les bons comme dans les moments les plus compliqués. Tu es ma boussole et mon équilibre.

*À mon frère, **Chems El Dine,***

Merci pour ton soutien discret mais profond, pour ta fierté silencieuse et pour ta présence rassurante dans ma vie.

*À sa merveilleuse épouse, **Imane,***

Merci pour ta douceur, ton attention, tes mots réconfortants et ton soutien constant, même dans l'ombre.

*À mes deux précieuses amies, **Khouloud et Youssra,***

Vous avez été là quand plus personne ne l'était.

Votre soutien, votre loyauté et votre présence indéfectible m'ont portée dans les jours les plus sombres.

Vous êtes plus que des amies, vous êtes ma famille choisie, mes sœurs de cœur, et une part essentielle de ma réussite.

*À mes collègues et amis **Youcef, Oussama et Ayoub,***

Merci pour votre soutien sincère, vos encouragements fraternels et votre esprit d'équipe.

Votre présence a donné à ce parcours académique une valeur humaine inestimable.

À tous mes collègues de la promotion SAAQ 2024-2025,

Merci pour les souvenirs partagés, l'entraide, les rires et la solidarité tout au long de cette aventure.

*À toutes les personnes qui m'ont aimée, soutenue, encouragée ou simplement cru en moi,
Je vous dédie humblement ce travail, avec amour, reconnaissance et émotion.*

Résumé :

La présente étude s'inscrit dans une démarche de valorisation durable d'un fruit tropical sous-exploité en Algérie : la goyave (*Psidium guajava L.*). Riche en vitamines et en composés bioactifs, ce fruit présente un fort potentiel nutritionnel et antioxydant. L'étude a porté sur la caractérisation physico-chimique et fonctionnelle de différentes fractions de la goyave (pulpe, feuilles, graines), ainsi que sur le développement de trois produits alimentaires : boules énergétiques, bonbons gélifiés et infusion fonctionnelle. Les résultats ont révélé une faible teneur en humidité de la pulpe (<9 %), une richesse en fibres (5,3 g/100 g) et une forte activité antioxydante (82,46 % d'inhibition DPPH à 100 µg/mL). L'évaluation sensorielle a montré une bonne acceptabilité des formulations, confirmant leur applicabilité et leur intérêt nutritionnel.

Mots-clés : *Psidium guajava L.* ; Goyave ; Valorisation ; Produits innovants ; Antioxydants

Abstract:

This study is part of a sustainable agri-food valorization approach of an underutilized tropical fruit in Algeria: guava (*Psidium guajava L.*). Rich in vitamins and bioactive compounds, this fruit shows strong nutritional and antioxidant potential. The research included physicochemical and functional characterization of guava fractions (pulp, leaves, seeds) and the development of three innovative food products: energy balls, jelly candies, and a functional herbal infusion. The pulp showed low moisture content (<9%), high fiber content (5.3 g/100 g), and strong antioxidant activity (82.46% DPPH inhibition at 100 µg/mL). Sensory evaluation confirmed good acceptability of the formulations, highlighting their applicability and nutritional value.

Keywords: *Psidium guajava L.*; Guava; Valorization; Innovative products; Antioxidant activity

ملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن إطار تثمين غذائي مستدام لفاكهة استوائية غير مستغلة بشكل كافٍ في الجزائر: الجوافة. تتميز هذه الفاكهة بغناها بالفيتامينات والمركبات الحيوية النشطة وبامتلاكها إمكانات غذائية. (*Psidium guajava L.*) ومضادة للأكسدة عالية. شملت الدراسة توصيفاً فيزيائياً-كيميائياً ووظيفياً لأجزاء مختلفة من الجوافة (اللب، الأوراق، البذور)، إضافةً إلى تطوير ثلاثة منتجات غذائية مبتكرة: كرات طاقة، حلوى جيلاتينية، وشاي عشبي وظيفي. أظهرت نتائج اللب نسبة رطوبة منخفضة (<9%)، محتوى مرتفع من الألياف (5.3 غ/100غ)، ونشاطاً قوياً مضاداً للجذور الحرة

وأكد التقييم الحسي قبولاً جيداً للمنتجات المطورة، مما يبرز إمكانية تطبيقها وقيمتها الغذائية. (عند 100 ميكروغرام/مل DPPH 82.46%)

الكلمات المفتاحية

للأكسدة المضاد النشاط مبتكرة؛ منتجات الغذائي؛ التثمين الجوافة؛

Liste des figures

Figure 01 : L'arbre du fruit de la goyave.	5
Figure 02 : Caractéristiques botanique de <i>Psidium guajava</i> L.	6
Figure 03 : Description botanique de la goyave (A : les feuilles ; B : les fleurs ; C : le fruit) (photo originale).	6
Figure 04 : Production de la goyave dans le monde	9
Figure 05 : Carte de répartition mondiale de <i>Psidium guajava</i> .	10
Figure 06 : Différentes parties du fruit de la goyave	16
Figure 07 : Produits alimentaires à base de fruit de la goyave	20
Figure 08 : Barre énergétique à base de fruits	22
Figure 09 : Composition nutritionnelle d'une barre énergétique	23
Figure 10 : Exemple d'ingrédients pour Formulation de barres énergétiques	26
Figure 11 : Fruit de la goyave rouge (<i>Psidium guajava</i> L, photo originale)	32
Figure 12 : Fruit de la goyave rouge murs et feuilles (photo originale).	33
Figure 13 : Humidificateurs et graines de la goyave séchées	33
Figure 14 : Préparation de la poudre de la pulpe	34
Figure 15 : Feuilles de goyave séchées et broyées.	35
Figure 16 : Protocole du taux de cendres A : pesée du matériels végétal B : four à moufle.	36
Figure 17 : Instruments pour la détermination du taux d'humidité A : Etuve B : Dessiccateur.	37
Figure 18 : Appareil de détermination de l'activité de l'eau (Novasina).	38
Figure 19 : Étape de minéralisation des échantillons	40
Figure 20 : Etape expérimentale de la distillation	40
Figure 21 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Molyneux, 2004)	44
Figure 22 : Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) utilisée.	46
Figure 23: Diagramme de fabrication des boules énergétiques	49
Figure 24 : Ingrédients de formulation des boules énergétique.	50
Figure 25 : Etapes de fabrication des bonbons	53
Figure 26 : Broyage et tamisage des feuilles de goyave.	54
Figure 27 : Taux d'humidité (%) des échantillons poudres de la goyave	58
Figure 28 : Taux de cendres (%) échantillons de poudres de la goyave.	59
Figure 29 : Activité de l'eau des échantillons de la goyave	61
Figure 30 : Teneur en lipide dans la poudre du fruit de la goyave.	62
Figure 31 : Teneur en protéines des poudres de goyave.	63
Figure 32 : Teneur en sucres totaux des poudres de goyave	64
Figure 33 : Teneur en fibres des poudres de la goyave	66
Figure 34 : Teneur en polyphénols totaux des poudres de la goyave	67
Figure 35 : Teneur en flavonoïdes des poudres de la goyave.	69
Figure 36 : Pourcentages d'inhibition du radical libre de DPPH des échantillons et du standard.	71
Figure 37 : IC 50 des échantillons de goyave et du standard	72
Figure 38 : Profils phénoliques des poudres des feuilles de goyave.	75
Figure 39 : Profils phénoliques des poudres des graines de goyave.	76

Figure 40 : Profils phénoliques des poudres de la pulpe de goyave.	77
Figure 41 : Produits alimentaire à base de goyave	78
Figure 42 : pourcentages des appréciations sensorielles bonbons à base de purée de goyave.	79
Figure 45 : Pourcentage d'appréciation du goût	82
Figure 44 : % d'appréciation d'odeur	82
Figure 45 : Pourcentage d'appréciation de texture	82
Figure 46 : % Appréciation Masticabilité	82
Figure 47 : Pourcentage d'appréciation de goût fruité	82
Figure 48 : % d'appréciation global	82

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeur nutritionnelle pour 100 g de goyave	13
Tableau 2 : Composition de du fruit de la goyave en vitamines et en minéraux	14
Tableau 3 : Composition chimique de la goyave	16
Tableau 4 : Conditions chromatographiques HPLC pour l'analyse des polyphénols.	46
Tableau 5 : Ingrédients de la formulation des barres énergétiques	48
Tableau 6 : Ingrédients de la formulation des bonbons	51
Tableau 7 : Ingrédients et quantités pour 100 g de produit fini (thé)	54
Tableau 8 : principaux composés identifiés et leur temps de rétention (TR).	74

Liste d'abréviations

%MS : Pourcentage en Masse Sèche

Aw : Activité de l'eau

°C : Degré Celsius

DO : Densité optique

DPPH : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

HCL : Acide chlorhydrique

HPLC : Chromatographie liquide à haute performance

IC₅₀ : Concentration inhibitrice à 50 %

Mg : Milligramme

MF : Matière fraîche

mL : Millilitre

NaOH : Hydroxyde de sodium

RDT : Rendement

TPC : Total Polyphenol Content (teneur en polyphénols totaux)

UV : Ultra-violet

UV-Vis : Spectroscopie Ultra-Violet – Visible

µg : Microgramme

Table des matières

Remerciements	1
Dédicace	2
Résumé	3
Abstract	4
ملخص	5
Liste d'abréviations	9
Introduction	14
Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (<i>Psidium guajava</i> L)	5
1.1. Présentation de l'espèce <i>Psidium guajava</i>	5
1.2. Description botanique	5
1.3. Conditions écologiques	7
1.4. Taxonomie	7
1.5. Variété et espèces	8
1.6. Facteurs influençant la qualité des fruits	8
1.7. Production mondiale et en Algérie de la goyave	9
1.7.1. Dans le monde	9
1.7.2. En Algérie	10
1.8. Importance économique de la goyave et de ses produits dérivés	10
Chapitre II :Composition nutritionnelle et composés bioactifs du fruit de la Goyave	13
2.1. Principaux constituants	13
2.2. Composés bioactifs et propriétés fonctionnelles	15
2.3. Composition chimique des différentes parties de la goyave.....	15
2.4. Propriétés fonctionnelles de la goyave	17
2.5. Bienfaits des goyaves pour la santé	17
de la Goyave	19
Chapitre III : Valorisation Agroalimentaire de la pulpe de la Goyave	20
3.1. Utilisation de la pulpe de goyave dans l'industrie agroalimentaire.....	20
Figure 7 : Produits alimentaires à base de fruit de la goyave	20
3.1.1. Jus et nectars	20
3.1.2. Confitures et purées	21
3.1.3. Desserts lactés (yaourts)	21

3.1.4. Barres énergétiques.....	21
3.1.4.1. Historique des barres énergétiques	22
3.1.4.2. Définition de barres énergétiques	22
3.1.4.3. Matières premières utilisées.....	22
3.1.4.4. Composition nutritionnelle	23
✧ Fibres alimentaires	24
✧ Vitamines et minéraux	24
3.1.4.5. Intérêt de la goyave dans la formulation des barres énergétiques.....	24
3.1.4.5. Formulation technologique de barres énergétiques à base de goyave	25
3.1.4.6. Propriétés gélifiantes de la pulpe de goyave liées à sa richesse en pectine ...	27
3.2. Processus de transformation de la goyave et ses dérivés.....	27
3.3. Tendances futures et opportunités de recherche.....	27
Chapitre IV : Matériels et méthodes.....	31
4.1. Objectif	31
4.2. Matériel.....	32
4.2.1. Matériel non biologique.....	32
4.2.2. Matériel végétal	32
4.2.3. Echantillonnage et préparation du matériel végétal.....	32
4.2.3.1. Echantillonnage.....	32
4.2.3.2. Préparation des poudres de feuilles, pulpes et des graines de goyave	33
4.4. Analyses physico-chimiques.....	35
4.4.1. Détermination du taux de cendres (JORA, 2012).....	35
4.4.2. Détermination du taux d'humidité NF V 03-707 (AFNOR, 2000)	36
4.4.3. Détermination de l'activité de l'eau (A _w) (AOAC 978.18 / ISO 21807 :2004).....	37
4.4. Caractérisation fonctionnelle des poudres	38
4.4.1. Détermination de la teneur en matières grasses (NF EN ISO 734-1).....	38
4.1.2. Dosage des protéines brutes (AACC.1995).....	39
4.1.3. Détermination de la teneur des sucres totaux (Méthode Dubois).....	41
4.1.5. Dosage des polyphénols totaux (TPC).....	43
4.1.6. Détermination de l'activité antioxydante : Pouvoir anti-radicalaire (DPPH).....	44
4.1.7 Analyse et identification des polyphénols par chromatographie liquide à haute performance (HPLC)	45
4.2. Formulation de boules énergétiques	47
4.2.1. Ingrédients et formulation expérimentale	47

4.2.1.1. Pâte de datte Sukkari	47
4.2.1.2. Poudre de pulpe de goyave.....	47
4.2.1.3. Poudre de caroube	47
4.2.1.4. Beurre de cacahuète.....	47
4.2.2. Protocole de fabrication	48
4.3. Formulation des bonbons gélifié	50
4.3.2. Protocole de fabrication.....	52
4.4.1. Ingrédients et proportions	53
4.4.2. Protocole de fabrication.....	54
4.4. Analyse sensorielle	55
Chapitre V: Résultats et discussion	57
4.1. Analyses physico-chimiques des poudres de la goyave	58
4.1.1. Taux en humidité	58
.....	58
4.1.2. Teneur en cendres	59
4.1.3. Teneur en activité de l'eau (aw)	60
4.1.4. Teneur en lipides.....	62
4.1.5. Teneur en protéines	63
4.1.6. Teneur en sucres totaux	64
4.1.7. Teneur en fibres alimentaires.....	66
Figure 33 : Teneur en fibres des poudres de la goyave.....	66
4.2. Teneur en composés phénoliques.....	67
4.2.1. Dosage spectrophotométrique.....	67
4.2.1. Teneur en polyphénols totaux	67
4.2.2. Teneur en flavonoïdes.....	68
4.3. Activités antioxydantes des poudres de goyave	70
4.3.1. Piégeage du radical libre DPPH	70
4.4. Composés phénoliques par HPLC	73
4.4.1. Profils phénoliques des poudres de feuilles.....	75
4.4.2. Profils phénoliques des poudres des graines.....	76
4.4.3. Profils phénoliques des poudres de la pulpe	77
4.4.4. Présentation des produits finis.....	78
4.4. Analyse sensorielle	79

4.4.1. Bonbon acidulé à base de purée de goyave	79
4.4.1.1. Goût	79
4.4.1.2. Texture et odeur	80
4.4.1.3. Goût fruité	80
4.4.1.4. Acidité	80
4.4.1.5. Appréciation globale	80
4.4.2. Boules énergétiques	81
Références bibliographiques	88
Références bibliographiques	89
Annexes	92
Fiche de dégustation sensorielle Bonbons	97
Fiche de dégustation sensorielle Barre énergétique	98

Introduction

Introduction

Les fruits sont une excellente source d'énergie, de minéraux, de vitamines, de composés bioactifs (polyphénols et vitamines) et de fibres. Ils constituent un besoin nutritionnel important pour l'être humain, car ils répondent non seulement à certains besoins quantitatifs, mais fournissent également des vitamines et des minéraux qui améliorent la qualité de l'alimentation et préservent la santé **(Bisen et Verma, 2020)**. Il est donc nécessaire de les rendre disponibles à la consommation tout au long de l'année, frais ou transformés/en conserve.

La goyave (*Psidium guajava* L.), fruit tropical encore sous-exploité et souvent méconnu en Algérie, est l'une des principales cultures fruitières des régions tropicales et subtropicales de l'Inde **(Ritonga et al., 2018)**. *Psidium guajava* L., appartenant à la famille des Myrtacées, est originaire d'Amérique tropicale et cultivée principalement en Asie, Amérique du Sud et dans certaines zones du bassin méditerranéen (dont l'Algérie) **(Angulo-López et al., 2021)**.

La production mondiale de goyave, selon les données de la FAO, est dominée par l'Inde avec près de 44 %. D'autres pays producteurs incluent la Chine, l'Indonésie, le Pakistan et le Mexique, chacun atteignant entre 2 et 4 millions de tonnes par an **(FAOSTAT, 2022)**. Cette production, en forte croissance, répond à une demande croissante tant sur les marchés du fruit frais que pour la transformation (jus, purées, confiseries).

En Algérie, la goyave est particulièrement connue dans la région de Fouka, dans la wilaya de Tipasa, où les tentatives d'acclimatation menées depuis plusieurs décennies ont donné de meilleurs résultats. Localement, elle est appelée en dialecte algérien « جوافة » (*Jwafa*) « جوياب » (*Gouyab*).

La goyave se distingue par sa valeur nutritionnelle exceptionnelle et renferme jusqu'à 228 mg de vitamine C pour 100 g, soit près de quatre fois plus que l'orange **(Sato et al., 2010)**. Elle constitue également une source intéressante de fibres alimentaires, flavonoïdes, tanins et acides phénoliques, ce qui lui confère un potentiel antioxydant élevé **(Kamath et al., 2008 ; Gutierrez et al., 2008)**. Elle contient aussi des acides aminés essentiels qui renforcent sa valeur nutritionnelle.

De nombreuses études ont démontré les propriétés thérapeutiques et fonctionnelles de la goyave (*Psidium guajava*) **(Jiménez-Escrig et al., 2001 ; Díaz-de-Cerio et al., 2016)**. Pourtant, ce fruit reste peu valorisé dans l'industrie agroalimentaire algérienne, en particulier sous ses formes transformées.

Dans une perspective d'économie circulaire, l'intérêt se porte aujourd'hui sur la valorisation des sous-produits végétaux tels que les feuilles, les graines et la pulpe, pouvant être convertis en ingrédients à haute valeur ajoutée. Cette approche vise à réduire le gaspillage alimentaire tout en répondant à la demande croissante en produits locaux sains et innovants **(Nguyen et al., 2019)**.

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de valoriser les sous-produits de la goyave (pulpe et feuilles) à travers une série d'analyses physico-chimiques, fonctionnelles et antioxydantes, et de les intégrer dans la formulation de trois produits alimentaires fonctionnels : des boules énergétiques, des bonbons gélifiés et une infusion à base de feuilles séchées.

Enfin, ce mémoire se compose de deux grandes parties complémentaires. La première est une revue bibliographique qui présente les aspects botaniques et écologiques de la goyave, sa composition nutritionnelle et bioactive, ainsi que les perspectives de sa valorisation agroalimentaire. La seconde partie, expérimentale, décrit les matériaux, les protocoles analytiques, les procédés de formulation et les résultats obtenus, qui sont ensuite discutés et accompagnés de recommandations pour une éventuelle transposition industrielle.

Partie I: Synthèse bibliographique

Chapitre I



Généralités sur la Goyave **(*Psidium guajava L*)**



Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (*Psidium guajava* L)

La goyave (*Psidium guajava* L.), fruit tropical aux vertus nombreuses, est cultivée mondialement pour ses qualités nutritionnelles et économiques. Ce chapitre examine son origine, sa distribution, ses caractéristiques botaniques, et son importance économique, soulignant son potentiel sur les marchés mondiaux et algériens.

1.1. Présentation de l'espèce *Psidium guajava*

Le goyavier (*Psidium guajava* L.) est un petit arbre fruitier tropical appartenant à la famille des Myrtacées et considéré comme la « pomme du pauvre » (Ali, 2023). Il est largement répandu en zones tropicales et subtropicales. Il est largement cultivé pour ses fruits sous les tropiques. Il comprend environ 133 genres et plus de 3 800 espèces, mais *Psidium guajava* est le fruit de la goyave le plus important de ce genre (Arjun kafle et al.,2028).

Le fruit du goyavier, connu par la "goyave" est très appréciée pour sa richesse nutritionnelle, sa productivité et sa rentabilité, Il est consommé frais ou transformé, tout en offrant de bons rendements avec peu d'intrants (Gill, 2016).



Figure 1 : L'arbre du fruit de la goyave.(photo originale)

1.2. Description botanique

La goyave est le fruit tropical du goyavier est un petit arbre ou arbuste tropical atteignant 7 à 10 mètres de hauteur avec un tronc lisse dont l'écorce se détache en lamelles. Ses branches peuvent être ascendantes ou tombantes (Rodríguez et al., 2016), et ses feuilles opposées sont

Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (*Psidium guajava*)

ovales, nervurées, et couvertes de poils sur leur face inférieure. Les fleurs, blanches et solitaires, mesurent environ 2,5 cm de diamètre et possèdent de nombreuses étamines (Hussain et al., 2021).

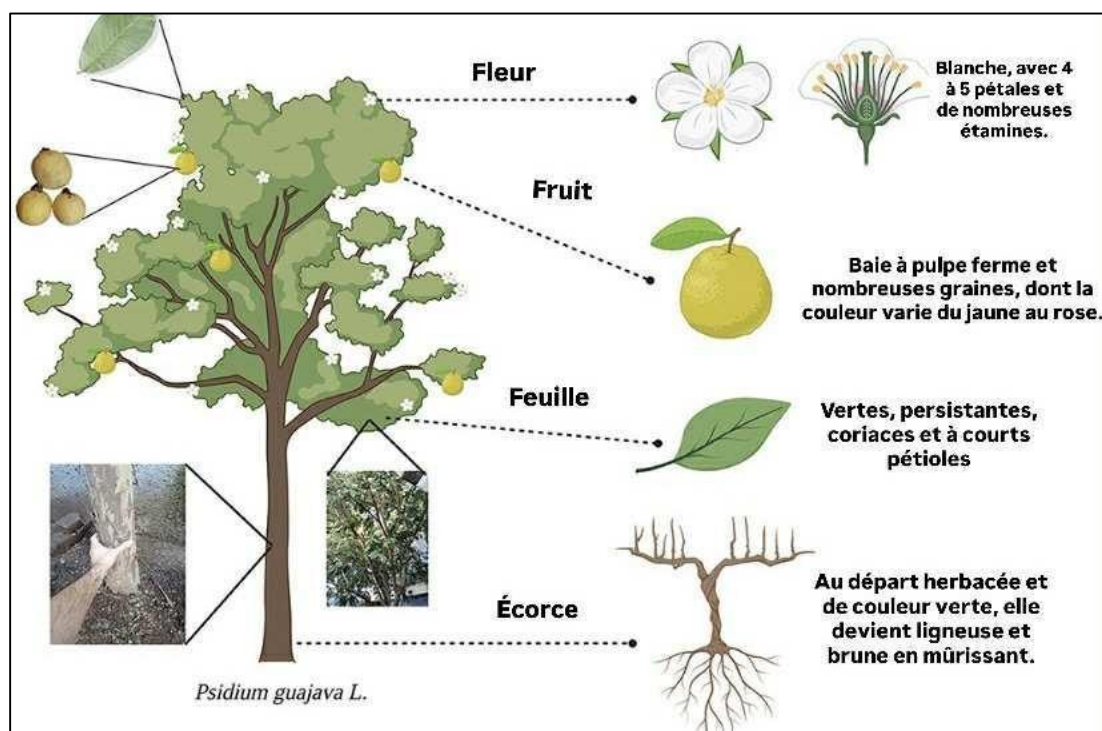


Figure 2 : Caractéristiques botanique de *Psidium guajava* L (Gutierrez-Montiel et al., 2023).

Le fruit de la goyave, en forme de poire, d'ovale ou de sphère, devient jaunâtre à maturité et contient une pulpe juteuse (rose, blanche ou jaune) remplie de graines jaunâtres. La plante du goyavier est appréciée pour sa rusticité, sa productivité et ses qualités ornementales et nutritionnelles (Prabhudesai et al., 2019).

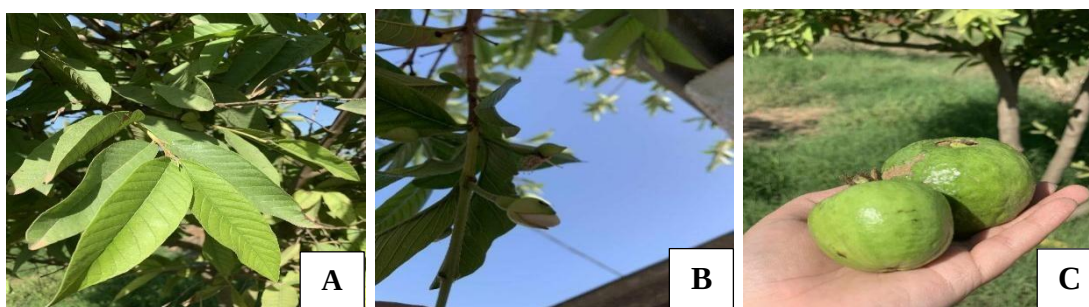


Figure 3 : Description botanique de la goyave (A : les feuilles ; B : les fleurs ; C : le fruit (photo originale).

Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (*Psidium guajava*)

1.3. Conditions écologiques

Le goyavier est une plante rustique qui peut survivre dans une grande variété de milieux. Elle peut pousser sur différents types de sols et se comportent bien en zones humides et sèches (Otuoma et al., 2020). Elle est cultivée avec succès dans les régions tropicales et subtropicales jusqu'à 1500 m d'altitude. Sa résilience lui a permis de se propager et de prospérer dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux du monde entier.

Psidium guajava L est une plante qui tolère une large gamme de sols (pH 4,5 à 8,2) et peut résister à une faible salinité et à un gel léger. Elle préfère un sol bien drainé, légèrement humide, et une exposition au plein soleil. Les pluies durant la récolte peuvent toutefois nuire à la qualité du fruit (Normand, 2002).

Les espèces de *P. guajava* peuvent survivre dans une grande variété de milieux. Elles peuvent pousser sur différents types de sols et se comportent bien en zones humides et sèches. Sa résilience lui a permis de se propager et de prospérer dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux du monde entier

1.4. Taxonomie

La goyave appartient à la famille des *myrtaceae* et au genre *Psidium*. Sa classification botanique selon Dakkapa et al (2013) est comme suit :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Myrtales

Famille : Myrtaceae

Genre : *Psidium*

Espèce : ***Psidium Guajava* L.**

La plante du goyavier est connue sous plusieurs noms, notamment « goiaba » et « goaiberira » en portugais, « guava » en anglais, « guayabo » en espagnol, « goyave goyavier » en français, « guyabaorgoeajab » en néerlandais, « gova » en télougou, « koyya » en tamoul, « jambu batu » en malayalam et « amrud » en hindi (Vanjarapu et al., 2024).

Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (*Psidium guajava*)

Parmi les quatre espèces comestibles du genre, *Psidium guajava* est la plus importante dans les régions tropicales. Une autre espèce notable est *Psidium cattleianum*, ou goyavier fraise, originaire du Brésil, connu pour ses fruits plus petits et sa résistance au froid (**Popenoe, 1974**).

1.5. Variété et espèces

De nombreux variétés de goyavier commun (*P. guajava*) sont disponibles, avec des fruits à chair rose, rouge et blanche, ainsi que des fruits de petite, moyenne et grande taille (**Shanthirasekaram et al., 2021**). Il existe une centaine de variétés de goyaves, dont les plus courantes sont :

- **La goyave en forme de poire (*Psidium pyrifera*)** : Appréciée pour sa chair rose et sucrée, souvent utilisée dans les confitures et les pâtes de fruits.
- **La goyave en forme de pomme (*Psidium pomiferum*)** : Elle possède une chair ferme et parfumée, utilisée principalement pour les compotes. Sa peau passe du vert au jaune à maturité.

1.6. Facteurs influençant la qualité des fruits

La qualité des goyaves est influencée par plusieurs facteurs, notamment les conditions de culture, la maturité du fruit au moment de la récolte, et les traitements post-récolte. Les conditions de culture, comme la qualité du sol et les pratiques d'irrigation, peuvent affecter la teneur en sucres et la saveur du fruit (**Hernandez et al., 2015**). Le stade de maturité est également un facteur clé, les goyaves récoltées trop tôt ayant une chair dure et peu de saveur, tandis que celles récoltées trop tard sont susceptibles de pourrir plus rapidement (**Jiménez-Escrig et al., 2001**). Enfin, des techniques de conservation optimales, telles que l'utilisation d'atmosphère contrôlée ou d'enrobages comestibles, permettent de prolonger la fraîcheur du fruit et de préserver ses qualités nutritionnelles et sensorielles (**Ali et al., 2019**).

Les goyaves, lorsqu'elles sont cultivées et récoltées dans des conditions idéales, peuvent offrir une qualité exceptionnelle, tant en termes de valeur nutritionnelle que de potentiel industriel.

Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (*Psidium guajava*)

1.7. Production mondiale et en Algérie de la goyave

La goyave, originaire d'Amérique centrale, est cultivée dans de nombreuses régions tropicales et subtropicales du monde. Elle s'adapte à une large gamme de sols et de conditions climatiques, ce qui favorise son implantation dans divers pays à forte vocation agricole.

1.7.1. Dans le monde

Les principaux pays producteurs se répartissent entre l'Amérique latine, l'Asie et certaines régions d'Afrique et du Moyen-Orient.

- **Amérique Latine et Caraïbes** : Le Mexique et le Brésil sont les plus grands producteurs, exportant principalement vers les États-Unis et l'Europe.
- **Asie** : La goyave est cultivée en Inde, Thaïlande, Vietnam et Chine, où elle est utilisée dans divers produits dérivés (Singh, 2011 ; Camarena-Tello et al., 2018).
- **Afrique et Moyen-Orient** : La culture de la goyave s'est intensifiée au Kenya, en Égypte et en Israël, en raison de la demande croissante sur les marchés internationaux (Sahu et Pandey, 2016).

En 2024, l'Inde était le premier producteur mondial de goyave, contribuant à environ 45 % du total mondial. Parmi les autres producteurs importants figurent la Chine, l'Indonésie et le Mexique (ALI,2023).

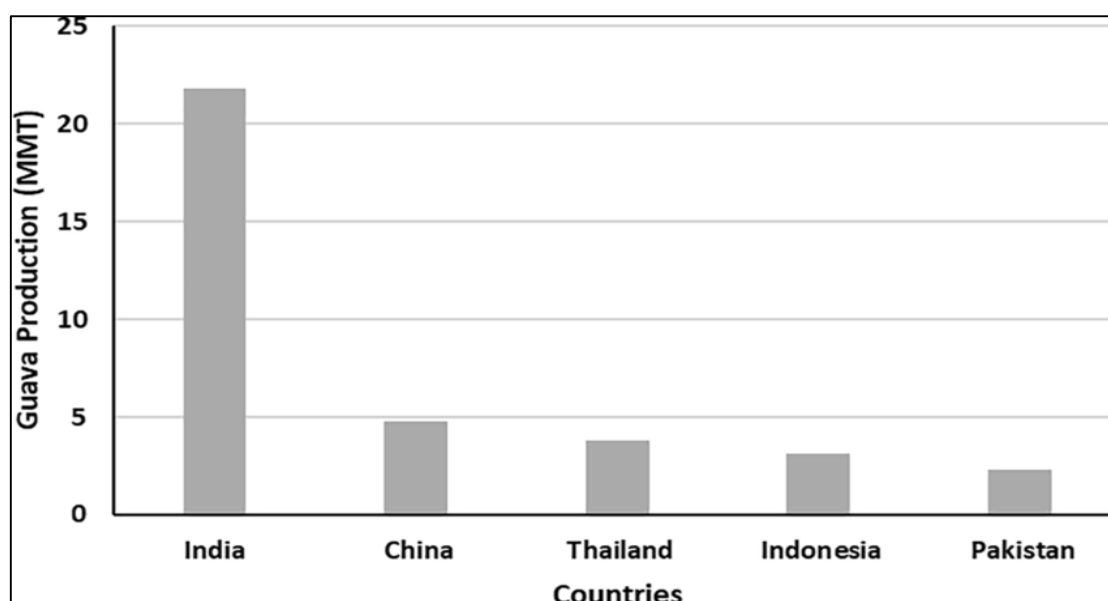


Figure 4 : Production de la goyave dans le monde (ALI,2023)

1.7.2. En Algérie

La goyave a été introduite en Algérie dans les années 1950 par les Français. Sa culture reste marginale, avec un verger expérimental à Fouka lancé dans les années 1970 et repris en 1991 par Hadj Hamada, qui récolte aujourd'hui près de 3 tonnes par an, principalement commercialisées localement (Souad L., 2009 et Bouchoukh, 2021).

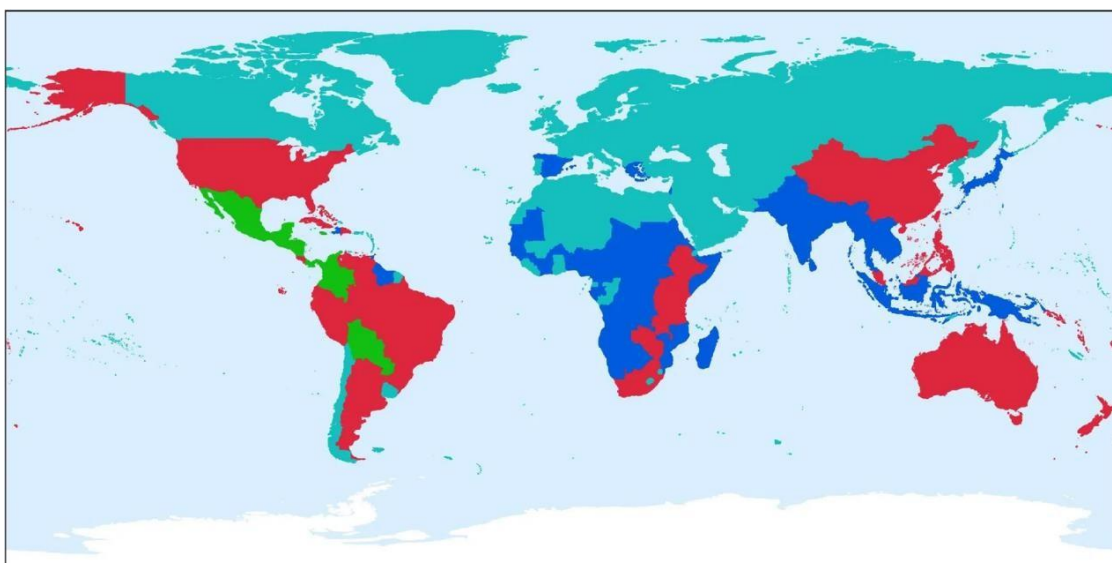


Figure 5 : Carte de répartition mondiale de *Psidium guajava* (Ugbogu, et al., 2022).

1.8. Importance économique de la goyave et de ses produits dérivés

La culture de la goyave revêt une grande importance économique dans de nombreux pays du monde, en raison de son rendement élevé et de la variété des produits dérivés de ses fruits.

Le fruit de la goyave est un produit agricole cultivée dans plus de 60 pays et sa production mondiale est estimée à environ 40 millions de tonnes (Irshad et al., 2020) notamment grâce à une augmentation des exportations, en particulier depuis l'Amérique du Sud (Anonyme, 2021).

Le marché mondial des barres énergétiques est largement diversifié et concurrencé, impliquant de nombreux acteurs tant internationaux que régionaux. Les principaux acteurs du marché mondial des barres énergétiques privilégient l'innovation produit parmi leurs stratégies. Ils investissent considérablement dans la recherche et le développement, intégrant des ingrédients biologiques et végétaliens afin de proposer des saveurs et des emballages novateurs.

Chapitre 1 : Généralités sur la Goyave (*Psidium guajava*)

L'Inde est le plus grand producteur mondial de goyave, suivie de la Chine et du Kenya, le Brésil et le Venezuela se distinguant également. En 2022, la valeur du marché mondial de la goyave était estimée à 2,5 milliards de dollars, avec des projections de croissance à 4,5 milliards de dollars d'ici 2030, à un taux annuel de 7,2 %. En 2024, la taille du marché des barres énergétiques a atteint 3,28 milliards de dollars (**Anonyme, 2024**).

Les opportunités d'exportation se multiplient, notamment dans des régions comme l'UEMOA (**Union économique et monétaire ouest-africaine**) où la diversification des exportations de fruits offre un potentiel important pour la goyave.

Cependant, des défis subsistent, notamment l'amélioration des techniques de culture et de conservation. Des projets de recherche visent à optimiser la résistance des variétés et augmenter les rendements. En conclusion, bien que le marché de la goyave soit en forte expansion, des investissements en innovation et en modernisation sont nécessaires pour exploiter pleinement son potentiel économique.

Ce chapitre a mis en lumière l'importance de la goyave dans le contexte économique et sa valorisation en tant que produit agricole stratégique. Le prochain chapitre se concentrera sur la composition nutritionnelle et les composés bioactifs du fruit, essentiels à sa valeur ajoutée.

Chapitre II



Composition nutritionnelle et composés bioactifs du fruit de la Goyave



Chapitre II :Composition nutritionnelle et composés bioactifs du fruit de la Goyave

Le fruit de la goyave (*Psidium guajava*) est reconnu pour sa richesse en nutriments essentiels et en composés bioactifs. Ce chapitre explore la composition nutritionnelle de la goyave, mettant en lumière ses vitamines, minéraux, fibres, ainsi que les molécules bioactives qui contribuent à ses bienfaits pour la santé.

2.1. Principaux constituants

La goyave, fruit souvent qualifié de superaliment, est extrêmement riche en nutriments. Elle est notamment une source exceptionnelle de vitamine C (**Hassimitto et Lajolo, 2005**), surpassant les agrumes comme l'orange, avec des concentrations pouvant atteindre jusqu'à 900 mg pour 100 g. Cette teneur est quatre à cinq fois supérieure à celle des agrumes, et deux à trois fois plus élevée que celle du kiwi. Le tableau 1 représente la composition nutritionnelle de la goyave :

Tableau 1 : Valeur nutritionnelle pour 100 g de goyave (Zubéria, 2021)

Nutriments	Teneur moyenne
Calories	68 kcals
Eau	83,5 g
Glucides	9,02 g
Protéines	1,59 g
Lipides	0,73 g
Fibres alimentaires	5,15 g
Vitamine C	228 mg
Vitamine A	31 mg
Potassium	308 mg

La goyave a acquis une popularité considérable grâce à sa haute valeur nutritive, son prix abordable et sa disponibilité à des prix modérés. Sa richesse en vitamine C et A vitamines jouent un rôle majeur dans la protection des cellules contre l'oxydation, la prévention des cancers et le renforcement du système immunitaire. Elle est également bénéfique pour la santé cardiovasculaire, en contribuant à améliorer les niveaux de cholestérol HDL. En plus de ses apports vitaminiques, elle contient des protéines végétales, des fibres alimentaires, et une bonne quantité de minéraux comme le calcium, le magnésium, et le fer. Avec une teneur en eau de 83%, la goyave est également un excellent fruit hydratant (**Dignan et al., 2004**).

Tableau 2 : Composition de du fruit de la goyave en vitamines et en minéraux (**Mdahoma ,2018**).

Composés	Fruit (mg/100g MF)
Calcium	18
Potassium	417
Sodium	2
Vit 'C'	228,3
Vit A	0,26
Vit B	1,20
Vit B2	0,040
Vit B1	0,067
Manganèse	0,15
Magnésium	22
Phosphore	40
Cuivre	0,23
Sélénium	0,60
Fer	0,26
Zinc	0,23

MF : Matière Fraîche

Grâce à sa composition, la goyave joue un rôle essentiel dans la prévention de nombreuses maladies, en particulier en favorisant la santé cognitive et cardiovasculaire. L'acide ascorbique et l'acide citrique sont les principaux ingrédients de la goyave, jouant un rôle important dans son activité antimutagène (**Naseer et al., 2018**).

2.2. Composés bioactifs et propriétés fonctionnelles

La goyave est une source riche en métabolites primaires comme les glucides, les protéines, les lipides, les acides aminés et les acides organiques — qui sont essentiels à sa croissance et à son bon fonctionnement. Ces composés jouent un rôle dans les fonctions vitales telles que la respiration, la photosynthèse et la biosynthèse cellulaire (**Bruneton, 2009**).

Les métabolites secondaires, y compris les polyphénols, les flavonoïdes et les caroténoïdes contribuent de leurs parts à ses propriétés médicinales. Ces composés sont responsables de nombreuses actions bénéfiques pour la santé, telles que la protection contre les maladies cardiaques, le cancer, et l'inflammation. Les polyphénols, notamment les flavonoïdes, ont des effets antioxydants, anti-inflammatoires et anticancéreux. La goyave est également une source de caroténoïdes comme le bêta-carotène, un puissant antioxydant, qui joue un rôle crucial dans la prévention des maladies liées à l'oxydation cellulaire (**Fiedor et al., 2014**). Ces antioxydants agissent physiologiquement pour prévenir les dommages cellulaires causés par les radicaux libres.

D'autres métabolites secondaires de la goyave, tels que les saponines, les acides phénoliques, et les anthocyanes, sont également reconnus pour leurs bienfaits sur la santé. Ces composés aident à prévenir les maladies chroniques, à améliorer la digestion, et à renforcer le système immunitaire.

2.3. Composition chimique des différentes parties de la goyave

Chaque partie de la goyave présente une richesse biochimique spécifique.



Figure 6 : Différentes parties du fruit de la goyave.

Son fruit est une source majeure de vitamine C, de flavonoïdes et d'acides organiques. La peau de la goyave contient des composés volatils et aromatiques ; les feuilles sont riches en huiles essentielles et terpènes.

Les graines de la goyave, quant à elles, sont riches en huile, protéines et composés phénoliques à potentiel pharmacologique. La composition chimique et la concentration de ces composants varient considérablement selon l'espèce ou la variété, la maturité du fruit, les conditions de culture, le type de sol, l'environnement et les pratiques agricoles.

En raison de tous ces composés présents non seulement dans le fruit que dans les sous-produits, la goyave est considérée comme l'un des médicaments ethno-pharmaceutiques, traditionnellement utilisés pour traiter la diarrhée, les inflammations de la gorge et pour leur forte activité antibactérienne contre *Salmonella*, *Serratia* et *Staphylococcus* (Irshad et al., 2020). Le tableau 3 présente la composition chimique des différentes parties du fruit de la goyave.

Tableau 3 : Composition chimique de la goyave (Gutiérrez et al, 2008 et Nasser et al, 2018)

Partie de la goyave	Composés principaux	Propriétés ou intérêts
Fruit	Vitamines A, C ; acides ascorbique, citrique ; flavonoïdes (quercétine, guaijavarine)	Antioxydants, antimutagènes, nutritionnels
Peau	Acide ascorbique, composés carbonylés, terpènes, flavonoïdes, esters, alcools, hydrocarbures	Arôme, relaxation, activité antioxydante
Feuilles	Limonène, caryophyllène, α/β -pinène, menthol, acide oléanolique	Activité antimicrobienne, anti-inflammatoire

Écorce	Tanins (jusqu'à 30 %), polyphénols, oxalates	Propriétés astringentes, pharmacologiques
Racines	Leucocyanidines, acide gallique, stérols, glucides, acide tannique	Intérêt médical, activité antioxydante
Graines	Huile (14 %), protéines (15 %), amidon (13 %), quercétine dérivée	Potentiel pharmacologique, nutrition

2.4. Propriétés fonctionnelles de la goyave

La goyave possède des propriétés fonctionnelles qui la rendent particulièrement intéressante pour l'industrie agroalimentaire (**Souza et al., 2018**). Sa texture est influencée par sa teneur en pectines, qui sont des polysaccharides responsables de la fermeté du fruit. Les pectines de la goyave sont utilisées dans la fabrication de confitures et de gelées grâce à leurs propriétés gélifiantes (**Ramírez et al., 2019**).

En termes d'arôme, la goyave est caractérisée par des composés volatils comme les esters et les terpènes, qui varient selon la variété et le stade de maturité du fruit. Les goyaves rouges, par exemple, sont plus sucrées et aromatiques que les variétés blanches (**Mercadante et al., 2009**).

Les pectines extraites de la goyave sont également utilisées dans des produits laitiers et des formulations pharmaceutiques en raison de leur capacité à former des gels stables et leur apport en fibres et antioxydants (**Thakur et al., 2017**).

Le fruit de la goyave est dans son ensemble non seulement bénéfique d'un point de vue nutritionnel, mais également d'un point de vue industriel, grâce à ses applications dans divers secteurs.

2.5. Bienfaits des goyaves pour la santé

Les feuilles et l'écorce du goyavier sont largement utilisées dans le traitement de diverses maladies. Ils se distinguent par une large gamme d'activités biologiques liées à leur richesse en composés bioactifs.

Les feuilles de *P. guajava* L. présentent une teneur totale en composés phénoliques élevée, comprise entre 7,5 et 483 mg/g de poids sec. Les composés phénoliques présents dans les feuilles de *P. guajava* L. appartiennent aux familles des flavanols (76 %), des flavan-3-ols (45 %), des dérivés des acides gallique et ellagique (35 %) et des flavanones (1 %). Les feuilles de la goyave sont également riches en proanthocyanidines, qui pourraient être utilisées dans des formulations nutraceutiques (**Díaz-de-Cerio et al., 2017**).

Les extraits de feuilles de goyave ont montré une activité antimicrobienne appréciable contre certaines bactéries pathogènes (*Staphylococcus aureus*, *Proteus* et *Shigella*)

(**Chah et al., 2006**), ainsi qu'un effet antidiabétique attribué à la présence de flavonoïdes, glycosides et autres métabolites secondaires (**Lincy et al., 2016**).

Selon **Rojas-Garbanzo et al. (2017)**, les composés phénoliques présents dans la pulpe et la peau de *P. guajava* L. appartiennent à la famille des ellagitannins, des flavones, des flavonols, des pro-anthocyanidines, des dihydrochalcones et des anthocyanidines, ainsi qu'à des composés non flavonoïdes tels que les dérivés d'acides phénoliques, les stilbènes, etc.

La goyave est également reconnue pour ses propriétés antioxydantes et antitumorales, notamment grâce à sa teneur élevée en vitamine C, en quercétine et en lycopène (**Mishra et al., 2017**). Elle possède des effets antidiarrhéiques (**Pousset, 1992 ; Taylor, 2007**) et anti-inflammatoires (**Sherweit et al., 2013**), en particulier via les tanins et les flavonoïdes qu'elle contient. En outre, sa consommation contribue à la régulation de la pression artérielle et à l'amélioration du profil lipidique, jouant ainsi un rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires (**Mishra et al., 2017**). Enfin, son faible niveau en métaux toxiques confirme son innocuité, renforçant son potentiel en tant qu'agent thérapeutique naturel (**Prance, 2003**).

La goyave est un fruit exceptionnel grâce à sa composition nutritionnelle diversifiée, riche en vitamines, minéraux et fibres, ainsi que ses composés bioactifs aux propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Cette richesse en éléments bénéfiques pour la santé renforce son intérêt tant dans le domaine de la nutrition que pour les applications thérapeutiques. La connaissance approfondie de sa composition constitue un socle essentiel pour exploiter pleinement le potentiel de la goyave dans l'industrie agroalimentaire et les domaines médicaux.

Chapitre III



Valorisation Agroalimentaire de la pulpe de la Goyave



Chapitre III : Valorisation Agroalimentaire de la pulpe de la Goyave

Le goyave (*Psidium guajava* L), fruit tropical largement est cultivé dans les climats chauds, se distingue par sa valeur nutritionnelle et ses nombreux composés bioactifs. Source importante de vitamines, de minéraux, de fibres alimentaires et d'antioxydants, lui confère une valeur nutritionnelle élevée et des vertus bénéfiques pour la santé.

La pulpe de la goyave se distingue par son abondance de composés bioactifs, ce qui explique son intérêt croissant dans l'industrie agroalimentaire, ainsi que dans les domaines pharmaceutique et médical.

3.1. Utilisation de la pulpe de goyave dans l'industrie agroalimentaire

La pulpe de goyave, appréciée pour sa saveur sucrée et son arôme caractéristique, trouve de nombreuses applications dans l'industrie agroalimentaire. Elle peut être transformée en jus, nectar, gelée, confiture, tranches au sirop, purée de goyave en conserve, yaourt, barre de fruits, boisson prête à servir, produits déshydratés, agent aromatisant pour bonbons, gâteaux, biscuits et barres chocolatées, et peut également être utilisée comme additif à d'autres jus ou pulpes de fruits (Angulo-López et al., 2012)

Sa composition naturelle, notamment sa forte teneur en pectine, en fait un ingrédient polyvalent qui répond à la fois aux exigences nutritionnelles et technologiques des produits alimentaires modernes.



Figure 7 : Produits alimentaires à base de fruit de la goyave

3.1.1. Jus et nectars

La goyave est largement utilisée dans la fabrication de jus et de nectars en raison de sa richesse en vitamines, notamment la vitamine C, ainsi que de son goût sucré et parfumé. Le jus peut être obtenu à partir de la pulpe en la diluant avec de l'eau et en la filtrant ou mélangé à d'autres jus

de fruits comme la poire, la pomme, la mangue, afin d'améliorer ses qualités sensorielles et nutritionnelles (Kumari et *al.*, 2017). Les procédés industriels incluent l'extraction de la pulpe, la pasteurisation et, parfois, l'ajout de stabilisants pour prolonger la durée de conservation.

3.1.2. Confitures et purées

Une autre méthode populaire de valorisation de la goyave consiste à transformer sa pulpe en purées ou en confitures. Grâce à sa forte teneur en pectine naturelle, il possède un fort pouvoir gélifiant qui permet d'obtenir des textures stables et homogènes sans nécessiter d'épaississants excessifs. Ce procédé est notamment utilisé pour la fabrication de pâtes de fruits et de garnitures pâtisseries (Terre, 2021).

3.1.3. Desserts lactés (yaourts)

La pulpe de goyave est de plus en plus utilisée dans la création de desserts au lactose, comme

Les yaourts brassés. Son abondance en fibres, antioxydants, composés phénoliques et vitamine C lui permet d'améliorer la valeur nutritionnelle et la fonctionnalité de ces produits (Blassy & Hamed, 2020 ; Madhu & Singh, 2021). L'enrichissement du yaourt avec de la pulpe de goyave augmente la viscosité, la stabilité, et la couleur et favorise la croissance des bactéries lactiques (Mohammed et *al.*, 2019).

Les yaourts enrichis avec de la pulpe de la goyave permettent d'apporter une nouvelle saveur exotique très appréciée des consommateurs. La pulpe de goyave influe non seulement la texture des yaourts, mais aussi améliore leur potentiel oxydatif, participant ainsi à une alimentation plus saine. Ce type d'approche d'enrichissement des produits laitiers est très prometteuse pour le développement de desserts fonctionnels.

3.1.4. Barres énergétiques

La demande du consommateurs pour des options de collations et saines à emporter est le principal facteur déterminant des ventes de barres énergétiques cette dernière décennie à l'échelle mondiale. Grâce à leur petit emballage et leurs teneurs énergétiques, ils constituent la solution idéale pour les jeunes et sportifs qui ont besoin de résultats instantanés. Ils contiennent des des protéines , d'autres nutriments et des micronutriments selon les besoins. Ainsi, ils proposent une alimentation équilibrée en petite quantité.



Figure 8 : Barre énergétique à base de fruits

3.1.4.1. Historique des barres énergétiques

En 1959, les forces américaines ont sollicité Pillsbury pour développer de la nourriture destinée aux astronautes. La société agroalimentaire s'est alors engagée dans la création d'une gamme variée de produits, dont les space food sticks ; une sorte de nourriture d'urgence conçue pour être utilisée si les astronautes devaient rester confinés dans leurs combinaisons pressurisées suite à un événement accidenté (Angell, 2020).

Dix ans plus tard, les Space Food Sticks ont été introduits dans les magasins et commercialisés au tant qu'aliment équilibré et nutritif.

A nos jours, il existe une grande variété des barres énergétiques sur le marché chacune proposant des ingrédients et des saveurs différentes afin de répondre aux besoins et aux préférences individuelles (Rey, 2019)

Les barres énergétiques sont des aliments très appréciés, par les sportifs et les enfants. Elles constituent une source d'énergie rapide et présentent une valeur nutritionnelle très intéressante. Riche en glucides naturels, fibres, vitamines (notamment C) et composés antioxydants, la pulpe de goyave présente un potentiel remarquable pour cette utilisation (Thaipong et al., 2006).

3.1.4.2. Définition de barres énergétiques

Les barres énergétiques sont connues sous le nom de barres suppléments, elles aident à fournir des nutriments essentiels au corps et aussi à soutenir l'effort physique, ils sont considérés comme une source d'énergie grâce aux nutriments et les aliments qu'ils contiennent. Les sportifs, les adolescents et les écoliers sont les premiers consommateurs de ces produits (Jabeen et al, 2021).

3.1.4.3. Matières premières utilisées

Les dattes, les oranges, les céréales et les feuilles de stevia ainsi que le beurre de cacao et diverses noix comme les cacahuètes et les amandes et autres noix des fruits secs sont utilisés dans la préparation de ce produit pour le rendre plus attrayant et plus savoureux. Les

barres énergétiques peuvent être préparées aussi avec de l'ovine ; du lait concentré ; de la cardamome moulue aussi des raisins secs. Le fromage cheddar et l'isolat de protéine de lactosérum ont été utilisés pour améliorer les propriétés fonctionnelles des barres énergétiques développées pour les athlètes (Jabeen et al, 2021). Les matières premières utilisées pour la formulation de barres énergétiques à base de pulpe de goyave incluent :

➤ **Pulpe de goyave** : riche en fibres, en pectine, en vitamine C et en antioxydants tels que les polyphénols et le lycopène. Elle est généralement incorporée à hauteur de 10 à 15 % dans les formulations, ce qui permet d'enrichir la valeur nutritionnelle et sensorielle du produit (Jahanzeb & Atif, 2016).

➤ Autres purées de fruits sont utilisées telles que la pomme, la mangue ou l'aonla (groseille indienne), souvent combinées à la goyave pour équilibrer la texture, la douceur et les caractéristiques sensorielles globales (Mahawar et al., 2018).

3.1.4.4. Composition nutritionnelle

Les barres énergétiques contiennent plusieurs nutriments :

✧ **Les glucides** : constituent leur principale source d'énergie. Les flocons d'avoine, du riz soufflé, du sirop de glucose, du miel ou encore de la pâte de dattes sont généralement utilisés et fournissent de l'énergie disponible, essentielle pour les sportifs ou lors d'efforts prolongés (USDA, 2019).

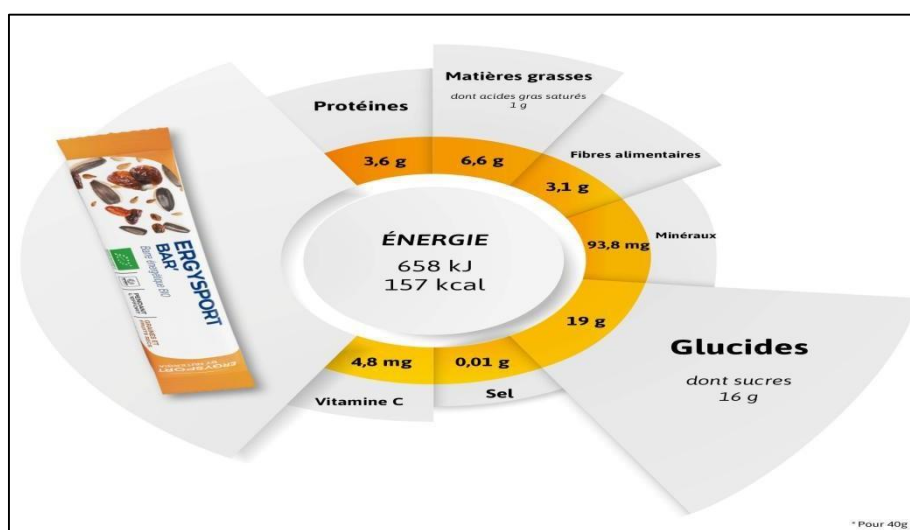


Figure 9: Composition nutritionnelle d'une barre énergétique

✧ Les protéines :

Les protéines sont ajoutées pour favoriser la récupération musculaire et augmenter la sensation de satiété. Elles proviennent généralement du lait (protéines de lactosérum ou *whey*), du soja, des pois, ou des œufs. Les barres riches en protéines sont particulièrement populaires chez les sportifs ou dans les régimes hyper-protéinés.

✧ Lipides :

Les graisses sont apportées par des ingrédients comme les amandes, les noix, le beurre de cacahuète ou des huiles végétales. Elles augmentent la densité énergétique de la barre, améliorent la texture et renforcent la saveur. De plus, certains acides gras apportés sont essentiels à la santé (oméga-3, acides gras mono-insaturés).

✧ Fibres alimentaires

Les fibres, issues du son d'avoine, de l'inuline, ou de pulpes de fruits comme la goyave, aident à réguler la digestion, prolongent la sensation de satiété et limitent les pics glycémiques. Elles sont aussi valorisées dans les barres à visée "santé digestive » (**Jiménez-Escrigv et al., 2001**).

✧ Vitamines et minéraux

Les barres énergétiques sont souvent enrichies en vitamines (notamment B, C, E) et en minéraux (calcium, fer, magnésium) pour compenser les pertes liées à l'effort ou compléter les apports nutritionnels. La présence naturelle de vitamine C et d'antioxydants dans certains fruits (ex. goyave, datte, raisin) est également mise à profit (**Barbalho et al., 2012**).

✧ Liants et texture

Pour assurer la cohésion des ingrédients, on utilise des liants comme la glycérine, la pectine, la gomme arabique ou la gélatine. Ces composants donnent à la barre sa texture moelleuse ou croquante selon la formulation, tout en prolongeant sa conservation.

3.1.4.5. Intérêt de la goyave dans la formulation des barres énergétiques

La goyave est également utilisée dans la formulation de barres énergétiques, combinée à d'autres fruits secs et céréales. Sa richesse en fibres et en sucres naturels en fait un ingrédient

idéal pour les en-cas destinés aux sportifs ou aux personnes recherchant une source d'énergie rapide et saine (Sohasan , 2016).

A. Intérêt nutritionnel

La goyave est un fruit riche, les sucres simples (glucose, fructose), fournit beaucoup énergie. Des fibres alimentaires, essentielles à la régulation du transit intestinal et à la satiété. Sa teneur élevée en vitamine C, supérieure à celle des agrumes traditionnels, en lycopène et autres antioxydants, en fait un ingrédient précieux pour les en-cas « santé » (Blassy et Hamed, 2020). Des minéraux comme le potassium, le calcium et le magnésium contribuent également à maintenir l'équilibre électrolytique de l'organisme.

B. Propriétés technologiques et sensorielles

Sur le plan sensoriel, sa chair tendre, sa couleur attrayante (variant du rose au rouge ou blanc selon les variétés) et son goût sucré et parfumé en font un ingrédient de choix dans une grande diversité de produits alimentaires. Elle est particulièrement appréciée pour sa capacité à rehausser la saveur et la valeur nutritionnelle des jus, desserts, confitures ou yaourts. De plus, sa pulpe riche en pectine lui confère de bonnes propriétés gélifiantes, facilitant sa transformation dans l'industrie agroalimentaire (Codeart, 1995). Cette combinaison de qualités nutritionnelles et organoleptiques renforce son attrait pour les consommateurs soucieux de leur santé tout en recherchant des produits naturels et savoureux.

3.1.4.5. Formulation technologique de barres énergétiques à base de goyave

La barre énergétique formulée à base de pulpe de goyave associe des ingrédients naturels riches en nutriments : glucides, fibres, vitamines (notamment C) et antioxydants. La goyave est complétée par des flocons d'avoine, de la pâte de dattes, des amandes et des graines de chia, pour un apport équilibré en énergie, protéines végétales et lipides sains. Sans cuisson, cette formulation préserve les qualités nutritionnelles sensibles, tout en offrant une texture agréable et une haute valeur fonctionnelle. Elle constitue une collation saine, adaptée aux besoins des sportifs, des enfants et des consommateurs soucieux de leur santé.



Figure 10 : Exemple d'ingrédients pour Formulation de barres énergétiques

a. Barre céréalière enrichie en pulpe de goyave

Jahanzeb et Atif (2016) ont mis au point une barre céréalière contenant 10 % de pulpe de goyave (variété **Gola**), associée à des flocons de céréales et des graines de chia. Cette formulation s'est révélée sensoriellement acceptable et équilibrée sur le plan nutritionnel, avec une teneur en protéines de 4,6 % et une teneur en fibres d'environ 3,8 %. En revanche, lorsque la proportion de pulpe a été portée à 15 %, la texture est devenue trop pâteuse, ce qui a entraîné une baisse de l'acceptabilité globale du produit.

b. Barre à base de pulpes de goyave et d'aonla

Mahawar et al. (2018) ont développé une barre nutritionnelle composée de 60 % de pulpe de goyave et 40 % de pulpe d'aonla, avec l'ajout de 0,02 % de pectine comme agent texturant. La formulation, séchée à 56 °C, a conservé une teneur élevée en vitamine C (164 mg/100 g), reflet du fort potentiel antioxydant des deux fruits. Les analyses sensorielles ont indiqué une excellente acceptabilité, avec un score moyen de 7,9/9, soulignant l'équilibre entre saveur, texture et aspect visuel.

c. Barre mixte goyave-papaye

Verma et Bisen (2020) ont conçu une barre énergétique à base de pulpe de goyave et de pulpe de papaye en proportions égales. Les résultats des tests sensoriels ont montré des notes très élevées : goût (8,96), couleur (8,86), texture (8,03) et acceptabilité globale (8,90) sur une

échelle hédonique de 9 points. En plus de ses qualités organoleptiques, cette barre a présenté une bonne stabilité au stockage, conservant ses propriétés jusqu'à 100 jours.

3.1.4.6. Propriétés gélifiantes de la pulpe de goyave liées à sa richesse en pectine

Les pectines extraites de la goyave sont largement utilisées comme agent gélifiant dans l'industrie alimentaire. Leur forte capacité à former des gels est exploitée dans la production de confitures, de produits laitiers et même dans les formulations pharmaceutiques. L'ajout de la pectine de la goyave améliore également la stabilité des boissons riches en fibres et antioxydants (Thakur *et al.*, 2017).

3.2. Processus de transformation de la goyave et ses dérivés

La transformation de la goyave suit une série d'étapes visant à valoriser ses qualités nutritionnelles et sensorielles tout en assurant sa conservation. Le processus débute par le lavage, l'épluchage et l'extraction mécanique de la pulpe, permettant de séparer efficacement

les graines. Cette pulpe est ensuite filtrée pour obtenir une texture homogène, prête à être utilisée dans divers produits agroalimentaires.

Selon l'usage prévu, la pulpe peut être concentrée par évaporation sous vide afin de réduire son volume tout en conservant ses propriétés, ou mélangée à d'autres ingrédients (édulcorants naturels, arômes, stabilisants) pour répondre aux exigences gustatives et nutritionnelles des consommateurs.

Enfin, différentes méthodes de conservation sont appliquées : la pasteurisation assure une meilleure durée de vie microbiologique, tandis que la congélation préserve efficacement les vitamines et antioxydants. Le séchage (notamment sous forme de poudre) représente aussi une solution pratique pour la formulation de produits instantanés ou à longue conservation.

3.3. Tendances futures et opportunités de recherche

La goyave est un produit aux multiples applications grâce à ses composés fonctionnels et à ses utilisations traditionnelles, déjà évoquées, bénéfiques pour la santé. Toujours guidée par la demande des systèmes humains pour le développement d'économies circulaires, la présence de composés végétaux potentiellement intéressants pour l'homme constitue un champ d'étude intéressant.

La création de produits ou de procédés à valeur ajoutée utilisant des sources de biomasse sous-exploitées est un enjeu majeur dans divers domaines, contribuant à la résolution de divers problèmes nutritionnels, cosmétiques, alimentaires et environnementaux.

L'exploration des différentes voies de transformation de la goyave dans l'industrie agroalimentaire a permis de mettre en lumière ses applications variées, son intérêt nutritionnel et sensoriel, ainsi que les procédés technologiques qui favorisent sa valorisation optimale. Ce chapitre vise à approfondir ces aspects afin de mieux comprendre le potentiel de la goyave dans le domaine alimentaire.

Cette revue bibliographique rassemble les travaux scientifiques consacrés à *Psidium guajava*. Elle offre une synthèse des connaissances disponibles sur sa composition, ses propriétés biologiques et ses multiples applications industrielles, fournissant ainsi un cadre solide pour les nos études sur son utilisation dans le secteur agroalimentaire.

Partie II: Etude expérimentale



Chapitre IV

Matériels et méthodes

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Au sein de ce chapitre, nous présenterons les méthodes analytiques et expérimentales employées dans notre étude. Nous détaillerons d'abord les protocoles de dosage des différents paramètres physico-chimiques, puis nous décrirons le processus de formulation des barres énergétiques et des confiseries et d'une infusion fonctionnelle (thé) à base de feuilles de goyave élaborées à partir des sous-produits de la goyave.

4.1. Objectif:

L'objectif principal de cette étude de valoriser les sous-produits de la goyave (poudre de feuilles et poudre de pulpe) en les intégrant dans la formulation de deux types de produits : des boules énergétiques (« sticks ») et des confiseries et d'un thé fonctionnel à base de poudre de feuilles de goyave.

Afin d'atteindre l'objectif général de valorisation des co-produits de goyave, nos objectifs spécifiques se résument par

- **Caractérisation physico-chimique** des poudres de feuilles et de pulpe de goyave (pH, activité de l'eau, humidité, cendres, lipides, protéines).
- **Quantification des composés phénoliques** (dosage total par Folin-Ciocalteu et identification par HPLC).
- **Évaluation de l'activité antioxydante** des extraits (test DPPH).
- **Formulation et évaluation sensorielle** de barres énergétiques et de bonbons à base de ces poudres, incluant acceptabilité, texture, couleur et stabilité au stockage.

· Les travaux expérimentaux de notre étude ont été réalisés dans le cadre de notre stage de fin d'études, au sein de plusieurs structures techniques, industrielles à savoir :

- **Centre de Recherche en Analyses Physico-Chimiques (CRAPC), Bou Ismaïl :**
 - Dosage des polyphénols totaux par chromatographie liquide à haute performance (HPLC).
- **Laboratoire d'essai et d'analyse de la qualité, Bou Ismaïl (privé) :**
 - Dosage des sucres totaux.
 - Détermination de la teneur en fibres alimentaires.

- **Entreprise Promasidor Algérie:**
 - Détermination de l'humidité, du taux de cendres et de l'activité de l'eau (A_w).
- **Université Saad Dahlab de Blida (Laboratoire d'Agronomie) :**
 - Dosage des protéines par méthode de Kjeldahl.
- **Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA), Blida :**
 - Détermination de la teneur en lipides par extraction selon la méthode de Soxhlet.
- **Complexe pharmaceutique SAIDAL (Laboratoire de recherche et développement)**
 - Évaluation de l'activité antioxydante (méthode DPPH).

4.2. Matériel :

4.2.1. Matériel non biologique

L'ensemble des ressources matérielles mobilisées au niveau des différentes institutions sont représentés dans l'annexe .

4.2.2. Matériel végétal :

Des fruits de la goyave rouge mûrs (*Psidium guajava* L.) ont été récoltés dans commune de Fouka, wilaya de Tipaza au mois d'Octobre 2024. Ces fruits présentant une forme de poire.



Figure 11 : Fruit de la goyave rouge (*Psidium guajava* L, photo originale)

4.2.3. Echantillonnage et préparation du matériel végétal

4.2.3.1. Echantillonnage

Une quantité de 10kg de fruits de goyaves sains, de taille uniforme, à chair rouge, exempts de dommages mécaniques, de meurtrissures et d'attaques fongiques, ont été récoltés de notre ferme au mois d'Octobre 2024. Après un lavage soigneux à l'eau du robinet, suivi d'un rinçage à l'eau distillée pour éliminer toute trace de poussière. Par ailleurs, des feuilles

du goyavier ont été également prélevées et lavées selon le même protocole, en vue d'utilisations ultérieurs.



Figure 12 : Fruit de la goyave rouge murs et feuilles (photo originale).

4.3.2.2. Préparation des poudres de feuilles, pulpes et des graines de goyave

Les fruits de la goyave séchés sont découpés en deux afin de séparer les graines de la pulpe. Un épépinage manuel a été réalisé et les graines de goyave ont été récupérés (Farhan, 2024).

❖ Préparation de la poudre de graines

Les graines de *Psidium guajava* ont été soigneusement nettoyées pour éliminer toutes les impuretés, puis lavées successivement à l'eau du robinet et à l'eau distillée. Elles ont ensuite été séchées à l'aide d'un déshydrateur automatique, à l'abri de la lumière, jusqu'à élimination complète de l'humidité. Une fois séchées, les graines ont été réduites en fine poudre dans un broyeur électrique selon la méthode décrite par **Maurya et al. (2016)** jusqu'à obtention d'une poudre fine, laquelle a été conservée dans un flacon hermétiquement fermé à température ambiante.



Figure 13 : Humidificateurs et graines de la goyave séchées

❖ Préparation de la poudre de pulpe

Après avoir été lavés soigneusement, les fruits de goyave rouge ont été découpés en petits morceaux, puis conditionnés dans des emballages alimentaires avant d'être stockés au congélateur (-18°C).

Après congélation, les échantillons ont été transférés dans un lyophilisateur (modèle Christ (LSC Plus) et séchés à $25 \pm 0,5$ °C pendant 48 h et à une pression de 10 mbar Hg (**Mahendran**, 2011). La poudre a été obtenue par broyage du produit séché dans un mélangeur et conservée dans des récipients hermétiques en verre foncé à 20 ± 1 °C jusqu'à la réalisation des analyses.

La lyophilisation, ou cryodessiccation, est une méthode de séchage douce qui permet d'extraire l'eau sous forme de vapeur sans altérer les liaisons moléculaires, ce qui garantit la préservation des propriétés physico-chimiques et nutritionnelles du produit.

Une fois le processus terminé, la pulpe lyophilisée a été broyée à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à obtention d'une poudre fine.

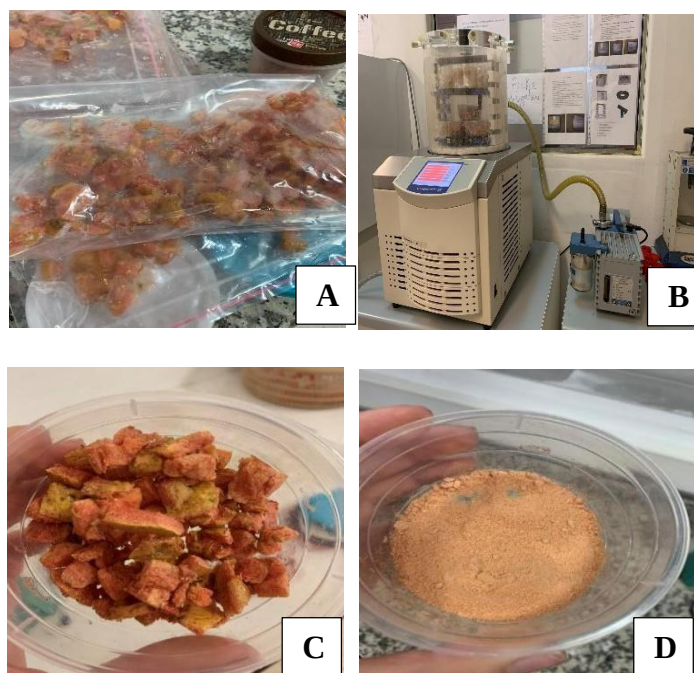


Figure 14 : Préparation de la poudre de la pulpe

A : congélation des morceaux du fruits **B :** lyophilisation
C : Résultats après lyophilisation **D :** Broyage de la pulpe

❖ Préparation de la poudre des feuilles

Les feuilles de goyave rouge ont été récoltées manuellement, puis soigneusement lavées à l'eau du robinet afin d'éliminer les impuretés et les particules de poussière. Elles ont ensuite été mises à sécher à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant une durée de 48 heures. Une fois complètement séchées, les feuilles ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine selon la méthode d'**El-Gazzar et al., 2018**. La poudre obtenue a été ensuite conservée dans un flacon sombre hermétiquement fermé pour une utilisation ultérieure.



Figure 15 : Feuilles de goyave séchées et broyées.

4.4. Analyses physico-chimiques

Des analyses sont nécessaires pour caractériser les différentes compositions chimiques des sous-produits du fruit de la variété *Psidium* et des feuilles. Les sous-produits du fruit de la goyave ont été réalisés à partir des poudres des graines et des pulpes des goyaves.

4.4.1. Détermination du taux de cendres (JORA, 2012).

L'analyse du taux de cendres a été réalisée conformément à l'instruction technique appliquée aux produits céréaliers. Cette méthode repose sur l'incinération à 550 °C de l'échantillon, jusqu'à combustion complète de la matière organique.

❖ Principe

Le taux de cendres représente la fraction inorganique (résidu incombustible) restante après incinération de l'échantillon à température élevée.

❖ Mode opératoire

- . Nettoyage des capsules d'incinération, les sécher puis les peser (m_1).
- . Introduire environ 3g de chaque échantillon homogène.
- . Répartir sans tasser, introduire dans un four à moufle à 550 °C pendant 4 heures.

. Refroidissement dans un dessiccateur puis peser la capsule + cendres (m_2).



Figure 16: Protocole du taux de cendres
A : pesée du matériel végétal **B :** four à moufle.

❖ Expression des résultats

Calcule du taux de cendres :

$$\text{Taux de cendres \%} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_0} \times 100$$

Avec :

m_0 : masse du creuset vide en gramme.

m_1 : masse du creuset + prise d'essai en gramme.

m_2 : masse du creuset + cendres en gramme.

4.4.2. Détermination du taux d'humidité NF V 03-707 (AFNOR, 2000)

❖ Principe

La teneur en humidité correspond à la quantité d'eau contenue dans un produit. Elle est déterminée par un dessinateur, c'est-à-dire par la perte de masse subie après chauffage à une température constante (généralement 105°C pendant 5mn). Cette perte de masse est attribuée à l'évaporation de l'eau.

❖ Mode opératoire

- . Tarer une boîte en aluminium propre et sèche.
- . Introduire environ 3 g de chaque échantillon à analyser.

- . Sécher à 105 ± 2 °C pendant 5 heures.
- . Refroidir dans un dessiccateur puis peser.

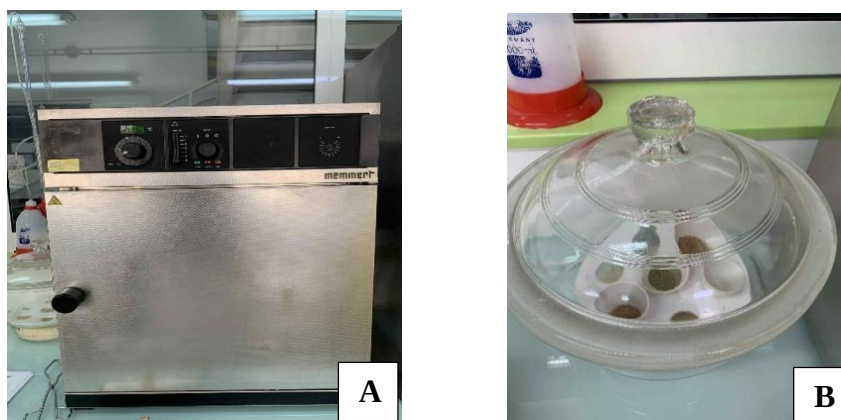


Figure 17 : Instruments pour la détermination du taux d'humidité
A : Etuve **B :** Dessiccateur.

❖ Expression des résultats

Calcule du taux d'humidité :

$$\text{Humidité (\%)} = (\text{Poids initial} - \text{Poids sec}) / \text{Poids initial} \times 100$$

4.4.3. Détermination de l'activité de l'eau (A_w) (AOAC 978.18 / ISO 21807 :2004)

❖ Principe

L'activité de l'eau (a_w) est un indicateur de la quantité d'eau libre dans un aliment, c'est-à-dire la fraction non liée aux constituants matriciels (protéines, sucres, sels, etc.). Elle est mesurée à l'aide de l'appareil Novasina, afin d'évaluer la disponibilité de l'eau libre. Elle se définit comme le rapport entre la pression de vapeur d'eau au-dessus de l'échantillon et la pression de vapeur d'eau au-dessus d'une surface d'eau pure à la même température (

❖ Mode opératoire

- . Prélever 2 à 3 g de l'échantillon et placer dans la capsule.
- . Introduire la capsule dans l'appareil Novasina.
- . Laisser stabiliser et lire la valeur affichée.
- . La mesure est effectuée à température ambiante (~ 25 °C).



Figure 18 : Appareil de détermination de l'activité de l'eau (Novasina).

4.4. Caractérisation fonctionnelle des poudres

Afin d'optimiser l'intégration des poudres de fruit de la goyave dans nos formulations de barres énergétiques et de confiseries, thé d'infusion des propriétés fonctionnels essentiels ont été déterminées.

4.4.1. Détermination de la teneur en matières grasses (NF EN ISO 734-1) :

❖ Principe :

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraites à partir des fruits par des solvants organique non polaires au moyen de l'appareil Soxhlet.

❖ Mode opératoire :

Sécher le ballon de 500 ml à l'étuve à 105 °C pendant une heure.

- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30 min.
- Peser le ballon a la précision de 0.001 g.
- Broyer 25 g de pulpe de datte fraiche dans un mortier.
- Peser 10 g environ de broyat.
- Introduire le broyat dans la cartouche de papier filtre.
- Placer la cartouche avec la prise d'essai à l'intérieur de l'appareil Soxhlet.
- Verser 300 ml de l'éther de pétrole dans le ballon et 50 ml dans l'extracteur.
- Chauffer le ballon sur la chauffe ballon pendant 4 heures (20siphonages par heure).

Jusqu'à l'épuisement de la matière grasse :

- Après éliminer le solvant du ballon par distillation.
- Sécher le résidu de ballon dans une étuve à 70-80°C.
- Refroidir le ballon au dessiccateur pendant 30min.

- Peser le ballon avec l'huile à la précision de 0.001 g.
- Répéter l'opération de séchage jusqu'à l'obtention d'un poids constant du ballon.

❖ Expression des résultats

La teneur en matière grasse est déterminée selon la formule suivante :

$$MG \% = \frac{(P2-P1)}{P3} \times 100$$

Soit :

P2 : poids du ballon avec l'huile extraite (g).

P1 : poids du ballon vide (g).

P3 : poids de la prise d'essai (g).

4.1.2. Dosage des protéines brutes (AACC.1995)

❖ Principe

La teneur en protéines totaux a été déterminée par la méthode de Kjeldahl (1995) qui repose sur le calcul de l'azote total. Le taux en protéines a été calculé en utilisant un facteur de conversion de l'azote de 6.25. Les données ont été exprimées en pourcentage du poids sec. Cette technique se résume en trois étapes, la minéralisation, la distillation et le titrage.

❖ Mode opératoire

✧ Minéralisation

- Peser 2 g d'échantillon.
- Introduire la prise d'essai dans un matras de 250 ml, ajouter 2g de catalyseur (composé de sulfate de potassium pur K_2SO_4 et de sulfate de cuivre pur $CuSO_4$) et 20 ml d'acide sulfurique (densité = 1,84).
- Porter le matras sur le support et chauffer pendant environ trois heures jusqu'à limpidité de la solution (le produit obtenu est appelé « minéralisât »).



Figure 19 : Étape de minéralisation des échantillons

✧ Distillation

- Transvaser le minéralisât après refroidissement dans une fiole de 100 ml puis diluer avec l'eau distillée et agiter.
- Prélever 20 ml de cette solution, mettre dans un matras (contenant deux billes) ajouter 40 ml d'hydroxyde de soude à 33% et 80 ml d'eau distillée puis placer le matras dans l'enceinte de distillation.

Dans un bêcher destinier à recueillir le distillat, introduire 20 ml de l'indicateur composé de :

- 20 g d'acide borique.
- 200 ml d'éthanol absolu.
- 10 ml d'indicateur contenant : $\frac{1}{4}$ (2.5 ml) de rouge de méthyle à 0.2% (0.2 g dans 100 ml) dans l'alcool à 95° et $\frac{3}{4}$ (7.5 ml) de vert de bromocrésol à 0.1% (0.1 g dans 100 ml) dans l'alcool à 95°



Figure 20 : Etape expérimentale de la distillation.

✧ Titrage

- Verser lentement dans le matras de l'appareil distillateur, 50ml de lessive de soude ($d = 1.33$) (330 g de soude dans 1 litre d'eau distillée),

- Mettre en marche l'appareil, laisser l'attaque se faire jusqu'à l'obtention d'un volume de distillat de 100 ml au moins,
 - Titrer en retour par de l'acide sulfurique N/20 (50 ml H₂SO₄ 1N + 950 ml d'eau distillée) ou N/50 (20 ml H₂SO₄ 1N + 980 ml d'eau distillée) jusqu'à l'obtention à nouveau de la couleur initiale de l'indicateur.
- 1ml d'H₂ SO₄ (1N) = 0.014g d'N.
- 1ml d'H₂ SO₄ (N/20) = 0.0007g d'N.
- ❖ **Expression des résultats**

La teneur en azote est exprimée par la formule ci - dessous :

$$Ng = X. 0,0007. 100/Y. 200/A$$

Avec :

X : descente de la burette (ml)

Y : poids de l'échantillon de départ.

A : volume de la prise d'essai.

La teneur en protéines exprimée en pourcentage en masse rapporté à la matière sèche :

$$\text{Teneur en MAT (\% MS)} = N \text{ g} \times 6.25$$

4.1.3. Détermination de la teneur des sucres totaux (Méthode Dubois)

❖ Principe

La méthode repose sur la réaction des sucres avec l'acide phénol-sulfurique, produisant un composé coloré (jaune - orange) mesurable par spectrophotométrie à une densité optique de 488 nm.

❖ Mode opératoire

❖ Extraction des glucides

- Peser 10 g de l'échantillon dans un bécher de 500 ml.
- Additionner 400 ml d'eau distillée et 3g de carbonate de sodium pour neutraliser l'acidité.
- Porter à ébullition tout en agitant pendant 30 minutes.
- Transvaser la solution dans une fiole de 1L.

❖ Clarification

- Additionner à l'extrait des petites quantités d'acétate de plomb à 10%.
- Agiter jusqu'à l'apparition d'un précipité au fond de la fiole.

- Ajouter l'eau distillée dans la fiole jusqu'au trait de jauge.
- Procéder à la filtration.

❖ **Élimination de l'acétate de plomb**

- Additionner au filtrat une petite quantité d'oxalate de potassium ou le carbonate de sodium déshydraté pour la précipitation de l'acétate de plomb.
- Additionner 03 cuillères de charbon pour la décoloration.
- Filtrer la solution pour éliminer le plomb précipité.
- Pour vérifier la présence de plomb dans la solution, on ajoute une petite quantité d'oxalate de potassium dans un tube à essai jusqu'à disparition de tous les ions de plomb.

❖ **Dosage**

- Préparer une solution de 10% de cet échantillon à doser et ajouter 50 ml d'eau distillé dans 5 ml de filtrat.
- Introduire dans un tube à essai 1 ml de la solution de 10%.
- Ensuite ajouter 1ml de solution de phénol à 5% et agiter soigneusement p.
- Puis ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré.
- La température atteint environ 110°C.
- Agiter rapidement à l'aide d'un Vortex.
- Laisser refroidir à obscurité pendant 30 minutes.

❖ **Expression de résultats**

- Lire la densité optique (DO) à une longueur d'onde de 488 nm.

❖ **Principe**

La teneur en fibres brutes des échantillons a été déterminée selon la méthode de **Weende**, qui repose sur une double hydrolyse acide et basique permettant d'estimer la fraction insoluble des parois végétales, principalement la cellulose et la lignine (**Henneberg & Stohmann, 1860**). Cette méthode est également décrite dans les protocoles analytiques standards de l'AOAC (méthode officielle 962.09).

❖ **Mode opératoire**

❖ **Préparation de l'échantillon**

La teneur en fibres total et déterminée après broyage de l'échantillon en une poudre fine d'une taille inférieure à 0,5 mm, réaliser à l'aide d'un broyeur.

- Sécher à 40 degrés pendant 24 heures les échantillons pour les exprimer en MS
- Préparation de prise d'essai :

- Prélever une prise d'essai de $4 \pm 0,1$ mg à partir de chaque échantillon homogénéisé, en utilisant une balance précise à 0,1 mg, introduire la prise d'essai dans une ballon d'extraction et la répartir uniformément sans la tasser.

❖ Extraction

- Une prise de 4 g de chaque échantillon sont mis en digestion dans 200 ml d'acide chlorhydrique (HCL) à 5 % pendant une durée de 30 minutes,
- Le mélange est ensuite filtré et rincé à l'eau chaude. Le résidu obtenu est soumis à une nouvelle digestion dans 200 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 5% (solution aqueuse 1,25 N) sous reflux pendant 30 minutes.
- Filtrer et laver à l'eau jusqu'à neutraliser du PH.
- Le résidu est ensuite lavée avec 20 ml d'éthanol et 20 ml d'éther éthylique.
- Sécher à l'étuve à 100°C pendant 2 heures, la masse restante après séchage et considéré comme la fraction fibreuse de l'échantillon.

❖ Expression de résultats

La teneur en fibre est exprimée en % et calculer à l'aide de la formule suivant :

$$\text{Teneur en fibres brutes (\%)} = \frac{M1 \times 100}{M2}$$

Avec :

M1 : masse du résidu sec.

M2 : masse de l'échantillon initial.

4.1.5. Dosage des polyphénols totaux (TPC)

❖ Principe

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode de Folin-Ciocalteu réactif de folin-ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}E_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). La méthode de folin-ciocalteu est basée sur l'oxydation des cycles phénoliques, couplée à la réduction de l'acide phosphomolybdique (Ashraf et al., 2016).

❖ Mode opératoire

- 8 tubes à essais ont été préparé comme suit :

- 2 tubes témoins contenant 0.1ml uniquement de l'eau distillé.
- 3 tubes contenant l'échantillon dilué, préparés en mélangeant 0.1ml de l'échantillon

Avec 0.9ml d'eau distillé (et prélevé 0.1ml de cette solution)

- 3 tubes contenant l'échantillon non dilué, dans lesquels 0.1ml d'échantillon a été

Directement ajouté.

La procédure suivie était la suivante :

- L'ajout de 1.6ml de réactif de Folin dans chaque tube, suivi d'une nouvelle agitation.
- L'ajout de 0.2ml de Na₂CO₃, suivi d'une agitation, puis une incubation dans

L'obscurité pendant 30mins.

❖ Expression de résultats

- Lecture de l'absorbance à 760nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis, les

4.1.6. Détermination de l'activité antioxydante : Pouvoir anti-radicalaire (DPPH)

❖ Principe

Le Diphényle picryl-hydrazyle (DPPH) est un radical libre stable, violet en solution et

Présentant une absorbance caractéristique à 517 nm. Cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényle picryl-hydrazine par un composé à propriété anti radicalaire, entraînant ainsi une décoloration (l'intensité de la coloration est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons) (Sanchez-Moreno, 2002). La réaction se fait selon le schéma ci-dessous :

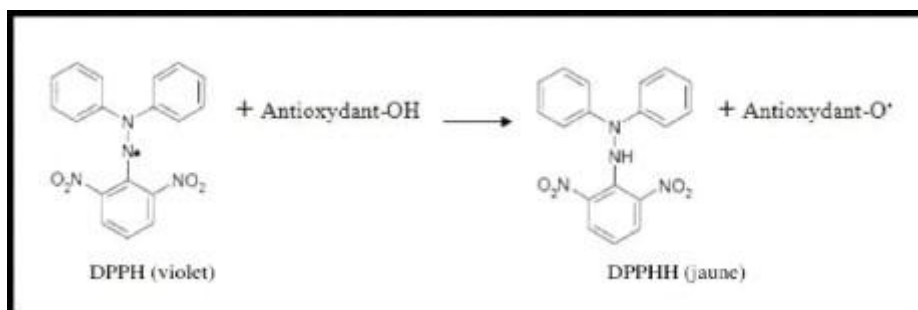


Figure 21 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Molyneux, 2004)

❖ Mode opératoire

❖ Préparation des solutions

- 1ml de DPPH avec 950µL de solution DPPH.
- 50µL d'échantillon ont été ajoutés dans le tube.

❖ Mesures spectrophotométriques :

La lecture de l'absorbance à $T_0 = 734\text{nm}$. Après incubation dans l'obscurité pendant 30mins, aucune lecture n'a été effectuée en raison d'une concentration très élevée de la solution.

Une nouvelle analyse sera réalisée en diluant l'échantillon à 1/40 afin d'obtenir des résultats exploitables.

4.1.7 Analyse et identification des polyphénols par chromatographie liquide à haute performance (HPLC)

L'analyse chromatographique des extraits a été réalisée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC), à l'aide d'un appareil de marque AGILENT 1100 équipé d'un détecteur UV, et contrôlé par le logiciel CHEMSTATION.

❖ Principe de la méthode

Les composés à analyser, appelés solutés, sont tout d'abord dissous dans un solvant, puis introduits dans la phase mobile liquide (éluant). La séparation repose sur la répartition sélective des solutés entre la phase mobile et la phase stationnaire. Chaque soluté est soumis à deux forces opposées : une force de rétention exercée par la phase stationnaire et une force de déplacement imposée par la phase mobile. Selon leur nature chimique, les molécules interagissent différemment avec la phase stationnaire, qui est contenue dans une colonne chromatographique.

La phase mobile, propulsée à haute pression par une pompe, traverse l'ensemble du système chromatographique. L'échantillon est injecté, puis transporté au travers de la colonne où les composés se séparent en fonction de leur affinité respective avec chaque phase. À la sortie de la colonne, un détecteur enregistre les composés sous forme de pics distincts. L'ensemble de ces signaux constitue un chromatogramme (Jean-Louis, 2001).



Figure 22 : Chromatographie liquide à haute performance (HPLC) utilisée.

Les conditions chromatographiques HPLC des composés phénoliques utilisés sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Conditions chromatographiques HPLC pour l'analyse des polyphénols.

Colonne	Type C18 KNAUER Longueur × diamètre = 250mm × 4.6mm Taille des particules = 10μ
Température	Ambiante
Phase mobile A	Eau à 1% Acide Acétique
Phase mobile B	Méthanol grade HPLC
Débit	1ml/min
Boucle d'injection	20 μl
Longueurs d'onde de détection UV	254nm

4.2. Formulation de boules énergétiques

4.2.1. Ingrédients et formulation expérimentale

La formulation de nos boules énergétiques s'est inspirée des travaux d'**Alsuhebani et al., 2025**) et repose sur une sélection d'ingrédients apportant à la fois valeur nutritionnelle, fonctionnalité technologique et potentiel antioxydant.

4.2.1.1. Pâte de dattes Sukkari

La pâte de dattes "Sukkari", obtenue à partir de dattes fraîches finement broyées, sert de base sucrée naturelle et apporte une texture collante essentielle au façonnage des boules. Riche

en fibres (≈ 7 g/100 g) et en minéraux (potassium, magnésium, fer), elle fournit une énergie rapidement disponible sous forme de glucides simples tout en contribuant à la sensation de satiété.

4.2.1.2. Poudre de pulpe de goyave

Issue du séchage puis de la pulpe de goyave, cette poudre est concentrée en vitamine C (≈ 228 mg/100 g), en fibres (≈ 5 g/100 g) et les composés phénoliques antioxydants. Elle renforce le profil fonctionnel du produit en apportant un pouvoir antioxydant élevé et participe à la cohésion de la matrice grâce à ses propriétés gélifiantes naturelles.

4.2.1.3. Poudre de caroube

La poudre de caroube provient de la fève de caroube grillée puis broyée. Elle joue un rôle structurant et liant en raison de sa forte teneur en gommes naturelles (galactomannanes) et enrichit la préparation en polyphénols et fibres solubles. Elle aide à maintenir la forme des boules et apporte une légère saveur chocolatée.

4.2.1.4. Beurre de cacahuète

Fabriqué à partir d'arachides broyées sans ajout d'huile, le beurre de cacahuète apporte des lipides insaturés (oméga-6), des protéines végétales (≈ 25 g/100 g) et une onctuosité qui améliore la texture. Ses propriétés émulsifiantes contribuent également à l'homogénéité du mélange et à la liaison des particules sèches entre elles.

4.2.1.5. Noix concassées

Les noix (amandes ou noisettes) sont légèrement torréfiées puis concassées pour offrir un contraste croquant. Elles fournissent des acides gras mono-insaturés, des protéines (≈ 15 g/100 g) et des minéraux (calcium, magnésium). Leur inclusion diversifie la texture et enrichit l'apport nutritionnel global en apportant vitamines et antioxydants supplémentaires.

4.2.2. Protocole de fabrication

La composition détaillée de la formulation des boules énergétiques est présentée dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Ingrédients de la formulation des barres énergétiques

Ingrédient	Quantité (g/100 g de produit)
Pâte de dattes Sukkari	60
Poudre de goyave	15
Poudre de caroube	10
Beurre de cacahuète	10
Noix concassées	5
Total	100

❖ Préparation de la pâte de base

Dans un robot culinaire, mixer les dattes Sukkari jusqu'à obtention d'une pâte lisse et homogène (1–2 min). Cette opération assure l'hydratation optimale de la matrice et la consistance collante nécessaire au façonnage.

1. Incorporation des poudres

Tamiser les poudres de goyave et de caroube avant de les ajouter progressivement à la pâte. Mélanger à vitesse lente au pétrin (ou manuellement à la spatule) pour garantir une dispersion uniforme sans chauffer la préparation.

2. Ajout du beurre de cacahuète et des inclusions

En fin de pétrissage, incorporer le beurre de cacahuète pour lier la pâte, puis ajouter les noix concassées. Cette étape renforce la structure et confère une texture agréable en bouche.

3. Façonnage des boules

Peser des portions de 20 g et modeler chaque portion à la main en boule régulière, en exerçant une pression modérée pour éviter les fissures de surface.

4. Refroidissement

Disposer les boules sur une plaque recouverte de papier cuisson, puis réfrigérer pendant 30 minutes à 4 °C. Ce refroidissement permet au produit de raffermir avant conditionnement et évaluation sensorielle.



Figure 23: Diagramme de fabrication des boules énergétiques



Figure 24 : Ingrédients de formulation des boules énergétique.

4.3. Formulation des bonbons gélifié

Afin de répondre à la demande croissante des consommateurs en quête de produits sains, naturels et fonctionnels, une formulation expérimentale de bonbons gélifiés à base de goyave a été développée. Ce produit vise particulièrement un public soucieux de sa santé, notamment les enfants, adolescents et adultes actifs, recherchant des alternatives plus nutritives aux confiseries

industrielles classiques. La présente section décrit les ingrédients sélectionnés et leurs proportions.

1. Ingrédients et formulation expérimentale

La formulation des bonbons gélifiés a été développée en s'appuyant sur plusieurs études récentes consacrées à la valorisation de la goyave dans des produits gélifiés fonctionnels (Nugraheni et al., 2021 ; Suparmi et al., 2022 ; Taufiq et al., 2022). Ces travaux ont permis de définir les grandes lignes d'une recette équilibrée, combinant purée ou jus de goyave, agents gélifiants, sucre, acidifiants et parfois des extraits végétaux, en optimisant à la fois les propriétés sensorielles, nutritionnelles et technologiques.

Les références consultées at avec quelque modification et plusieurs essais, nous nous sommes arrivés à établir notre formulation de base sur les produits gélifiés à base de goyave

Les modifications apportées incluent le remplacement du jus par de la purée de goyave locale, plus riche en fibres, l'ajustement de la teneur en sucre, et l'emploi de la gélatine comme agent gélifiant principal.

La formulation retenue vise à offrir un bonbon gélifié sain, naturellement fruité, et à la texture élastique, tout en conservant une haute valeur nutritionnelle. Le tableau 6 illustre les différents ingrédients utilisés dans cette formulation :

Tableau 6 : Ingrédients de la formulation des bonbons.

Ingrédient	Quantité (g)	Rôle technologique et nutritionnel
Purée de goyave	50	Base fruitée riche en vitamine C, fibres et antioxydants
Sucre	30	Pouvoir sucrant, agent de conservation naturel, structure
Acide citrique	2	Donne le goût acidulé, stabilise le pH, prolonge la conservation
Gélatine (ou pectine)	5	Gélifiant naturel, assure la texture élastique et la structure
Eau	13	Solvant, ajuste la texture, facilite la dispersion des ingrédients
Total	100	

4.3.2. Protocole de fabrication

Le processus de fabrication a été adapté aux contraintes de production artisanale, tout en garantissant une bonne conservation des composés bioactifs de la goyave.

1. Préparation de la purée de goyave

La purée est obtenue à partir de goyaves congelées (congélation domestique ou industrielle à -18 °C). Après décongélation à 4 °C pendant 6 à 12 heures, les fruits sont mixés jusqu'à obtention d'une purée homogène.

Selon Barros *et al.* (2020), cette méthode permet de préserver une grande partie des composés bioactifs, notamment la vitamine C. De plus, Santos *et al.* (2017) ont rapporté que la pulpe de goyave conserve plus de 85 % de son activité antioxydante après décongélation, justifiant son utilisation dans les formulations fonctionnelles.

2. Préparation de la solution sucrée

Le sucre, l'acide citrique et l'eau sont portés à ébullition douce (90 °C) jusqu'à dissolution complète, sous agitation modérée.

3. Incorporation du gélifiant

La gélatine, préalablement hydratée dans de l'eau froide pendant 5 à 10 minutes, est incorporée hors feu lorsque la température redescend à 60–70 °C, en mélangeant doucement pour éviter la formation de bulles.

4. Ajout de la purée de goyave

La purée est ensuite ajoutée au mélange encore chaud. Le tout est homogénéisé lentement pour garantir une distribution uniforme des solides et éviter l'incorporation d'air.

5. Coulage en moules

La préparation est versée dans des moules en silicone légèrement huilés ou recouverts de film alimentaire, pour faciliter le démoulage.

6. Refroidissement et démoulage

Les moules sont laissés à température ambiante pendant 1 heure, puis placés au réfrigérateur à 4 °C pendant 12 heures. Le démoulage est réalisé une fois la texture bien prise.

La mise en œuvre de cette stratégie de valorisation des sous-produits de la goyave à travers des analyses approfondies et le développement de produits fonctionnels. Les formulations de barres énergétiques et de bonbons gélifiés illustrent le potentiel nutritionnel et technologique de ces matières premières locales. Ce travail contribue ainsi à une approche innovante et durable de transformation agroalimentaire.



Figure 25 : Ingrédients et matériels de formulation des bonbons

4.4. Formulation du thé fonctionnel à base de feuilles de goyave

Afin de diversifier les applications fonctionnelles des sous-produits du *Psidium guajava*, une infusion à base de feuilles de goyave a été formulée. Ce produit vise à exploiter les propriétés antioxydantes et médicinales reconnues des feuilles, notamment leur richesse en composés phénoliques et en flavonoïdes, documentées dans plusieurs études (Jaiarj et al., 1999 ; Gutiérrez et al., 2008).

4.4.1. Ingrédients et proportions

L'infusion est formulée à partir d'un seul ingrédient principal : la poudre de feuilles de goyave obtenue après séchage naturel et broyage fin. Aucun additif, arôme ou conservateur n'a été ajouté, dans le but de maintenir un produit 100 % naturel.

Tableau 7 : Ingrédients et quantités pour 100 g de produit fini.

Ingrédient	Quantité (g/100 g de produit)	Rôle fonctionnel
Poudre de feuilles de goyave	100	Base végétale riche en polyphénols et antioxydants

4.4.2. Protocole de fabrication

1. Récolte et séchage

Les feuilles de goyave rouges ont été cueillies à maturité, lavées à l'eau potable puis à l'eau distillée, et séchées à l'air libre à température ambiante pendant 48 h, à l'abri de la lumière directe.

2. Broyage

Les feuilles totalement séchées ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à obtention d'une poudre fine.

3. Tamisage

La poudre a été tamisée à l'aide d'un tamis de maille 0,5 mm pour assurer une granulométrie homogène.

4. Conditionnement

La poudre obtenue a été immédiatement conditionnée dans des sachets hermétiques en papier kraft alimentaire, conservés à l'abri de l'humidité et de la lumière.

Ce produit final est destiné à être utilisé en infusion, à raison d'une cuillère à café (≈ 1 g) pour 200 ml d'eau chaude. Il peut être évalué pour ses propriétés organoleptiques et antioxydantes.



Figure 26 : Broyage et tamisage des feuilles de goyave.

4.4. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle des bonbons acidulés à base de purée de goyave et des boules énergétiques formulés a été réalisée afin d'évaluer leur acceptabilité auprès d'un panel de consommateurs.

Pour cela, des dégustations ont été réalisées auprès de consommateurs dans le supermarché Grand Top Shop à Blida pour les bonbons acidulés, et dans une salle de sport à Blida pour les boules énergétiques. Les participants ont noté le produit selon les critères ci-dessous. Les participants ont noté le produit selon les critères ci-dessous.

❖ Panel de dégustateurs

Un total de 20 dégustateurs volontaires, non entraînés mais familiers des produits sucrés, ont participé à l'évaluation. Le panel était composé d'adultes âgés de 18 à 40 ans, recrutés sur la base de leur disponibilité et de l'absence d'allergies connues aux ingrédients utilisés.

❖ Méthode de dégustation

Les dégustateurs ont été invités à évaluer le bonbon selon six critères sensoriels :

- Goût
- Odeur
- Texture
- Arôme fruité
- Acidité
- Appréciation globale

Et la boule énergétique selon les six critères sensoriels suivants :

- Goût
- Odeur
- Texture
- Mastication
- Goût fruité
- Appréciation globale

Une boule témoin (B1) a été mis à la disposition des dégustateurs de boules énergétique.

Chaque critère a été noté sur une échelle hédonique de 1 à 5, où :

- 1 = très mauvais,

-
- 2 = mauvais,
 - 3 = passable,
 - 4 = bon,
 - 5 = excellent.

❖ Conditions de dégustation

Les dégustations ont été effectuées dans un espace réservé à l'intérieur du supermarché pour les bonbons, et dans une salle de sport à Blida pour les boules énergétiques, dans des conditions assurant une lumière suffisante et un environnement neutre. Les bonbons et les boules énergétiques ont été présentés dans des contenants anonymisés, codés de manière aléatoire, pour éviter toute influence liée à l'apparence ou à l'étiquetage. De l'eau a été mise à disposition pour permettre un rinçage de bouche entre les échantillons.

❖ Analyse des résultats

Les deux fiches de dégustations (voir annexe) ont été collectées, et les notes ont été saisies dans deux tableaux de traitement. Pour chaque critère, un pourcentage d'appréciation selon l'échelle hédonique a été calculée. L'ensemble des résultats a permis de déterminer le profil sensoriel de chacun des produits ainsi que leurs taux d'acceptabilité globale.

Chapitre V: Résultats et discussion

Chapitre V: Résultats et discussion

Ce chapitre présente les principaux résultats issus de l'analyse des poudres du fruit *Psidium guajava* (feuilles, pulpe et graines) ainsi que leur potentiel d'exploitation dans le secteur agroalimentaire.

Les résultats obtenus portent sur la composition physico-chimique de ces poudres, ainsi que sur leurs propriétés fonctionnelles et bioactives. L'interprétation des résultats met en évidence les possibilités de transformer ces différentes matrices en ingrédients à forte valeur ajoutée, tout en discutant des contraintes technologiques, économiques et réglementaires liées à leur utilisation à échelle industrielle.

4.1. Analyses physico-chimiques des poudres de la goyave

4.1.1. Taux en humidité

La teneur en humidité des poudres de la goyave est un critère déterminant pour évaluer leur stabilité, leur aptitude à la conservation et leur qualité finale. Elle influence également les propriétés fonctionnelles et la durée de vie du produit. La figure 24 présente le **taux d'humidité (%)** mesuré dans ces différentes matrices du fruit de la goyave après séchage et broyage :

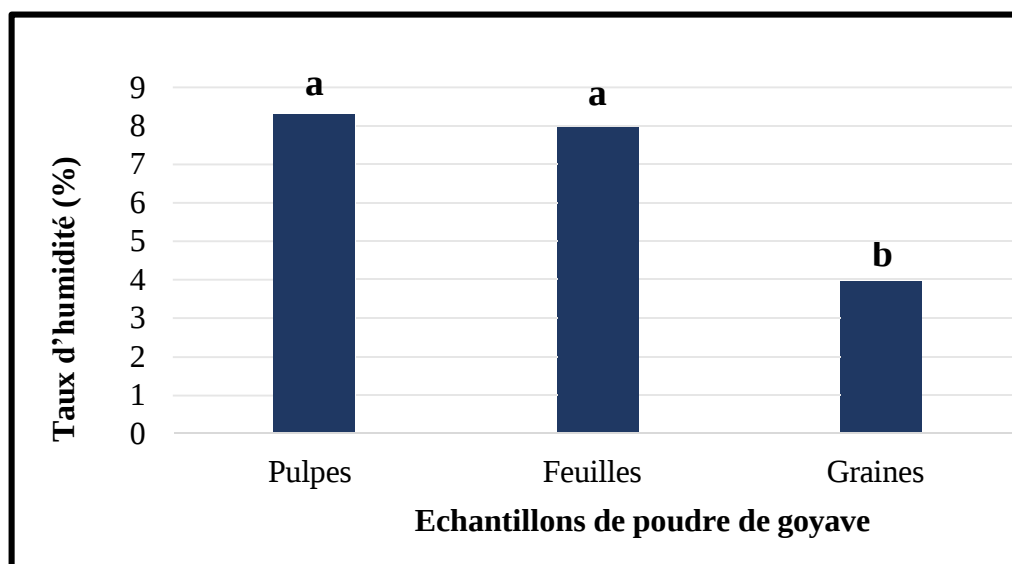


Figure 27 : Taux d'humidité (%) des échantillons poudres de la goyave

Les résultats de la figure 27 montrent que le taux d'humidité varie significativement selon la partie du fruit de la goyave utilisé. La pulpe (8,3 %) et les feuilles (8 %) présentent des valeurs similaires, sans différence statistiquement significative entre elles ($p < 0,05$). En revanche, la **graine** affiche un taux d'humidité significativement plus faible (3,88 %), indiquant une différence hautement significative ($p \leq 0,05$).

Résultats et discussion

Cette variation s'explique par la nature anatomique et biochimique des tissus. La pulpe et les feuilles, riches en eau et en composants hydrophiles, retiennent plus d'humidité même après séchage. À l'inverse, les graines, généralement plus riches en lipides et en structures denses, retiennent moins d'eau. Ce faible taux d'humidité dans la poudre des graines constitue un avantage en termes de stabilité et de conservation, réduisant les risques de dégradation microbiologique et enzymatique (Pawar *et al.*, 2024).

Les teneurs en humidités de la poudre de pulpe et de graines sont plus faibles comparativement à ceux trouvés par Miaina Zo, (2023) (11,86 % pour la pulpe et 7,37 % pour les graines).

Ces résultats sont en accord également avec ceux rapportés dans la littérature, où des teneurs en humidité inférieures à 10 % sont généralement considérées comme satisfaisantes pour assurer une bonne conservation des poudres alimentaires (Goula et Adamopoulos, 2008).

4.1.2. Teneur en cendres

La teneur en cendres représente la fraction minérale résiduelle après incinération de la matière organique. Elle permet d'évaluer la richesse en éléments minéraux d'un échantillon végétal, un paramètre important pour juger de sa valeur nutritionnelle et de sa stabilité. Les résultats des poudres élaborés des différents échantillons de la goyave sont illustrés dans la figure 28.

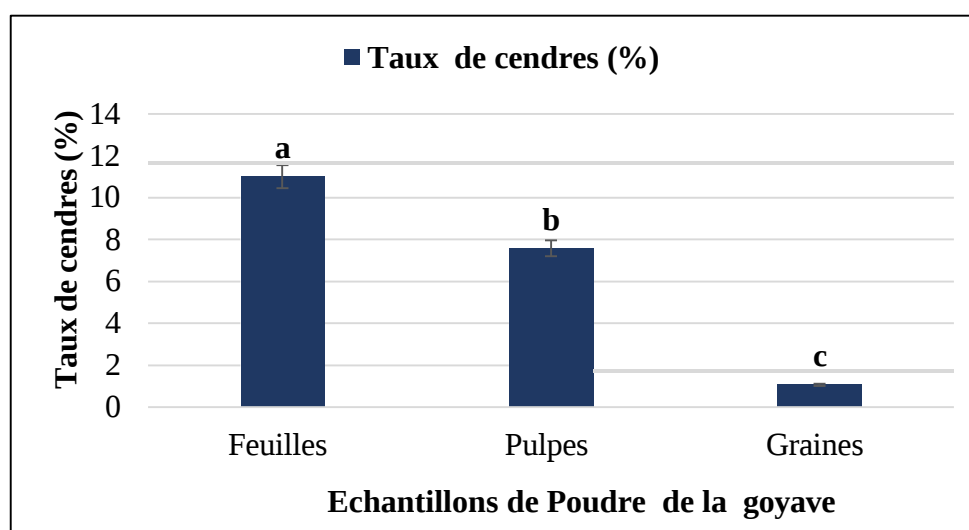


Figure 28 : Taux de cendres (%) échantillons de poudres de la goyave.

Les résultats de la figure 28 relèvent qu'une différence hautement significative ($p < 0,05$) est observée entre les différentes parties de la goyave. Les feuilles présentent la teneur

Résultats et discussion

en cendres la plus élevée (11 %) ; suivie par celle de la pulpe (7,58 %) ", tandis que les graines affichent la valeur la plus faible (1,06 %).

Cette variation peut être attribuée à la fonction physiologique de chaque organe. Les feuilles, sièges d'activité métabolique intense (photosynthèse, transpiration), sont naturellement riches en éléments minéraux (comme Ca, Mg, K) (**Morton, 1987**). La pulpe, qui constitue le tissu nourricier du fruit, contient également une quantité importante de minéraux. En revanche, les graines, essentiellement destinées à la reproduction et riches en réserves lipidiques et glucidiques, renferment peu de matière minérale (**Akinmoladun et al., 2007**).

Pour les graines, cette valeur est proche de celle trouvée par d'autres auteurs, tels que **Martínez et al., (2012)**, qui ont obtenu une teneur en cendres de $2,4 \pm 0,10$ g/100 g, **McCook-Russell et al. (2012)**, comparant la composition nutritionnelle des fruits de la Jamaïque.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de **Morton (1987)**, qui rapporte une concentration plus élevée en minéraux dans les feuilles de goyave. De plus, selon **Akinmoladun et al. (2007)**, des teneurs élevées en cendres dans les feuilles peuvent refléter un potentiel thérapeutique ou nutritionnel intéressantes. Les résultats obtenus des poudres de feuilles sont inférieurs à ceux obtenus par **Pawar et al., (2024)** avec 20,84 %.

Nos résultats sont supérieurs à ceux obtenus par **Miaina Zo, (2023)** qui a enregistré 3,518 % pour la pulpe et 0,489 pour les graines ainsi que celles rapportées par **Oliveira et al. (2016)**, qui ont mesuré environ 10,5–12 % de cendres dans des extraits secs de feuilles de goyave. La pulpe présente également une composition minérale significative, en accord avec les résultats de **Basha et al. (2013)**, tandis que les graines, plus pauvres, montrent une contribution minérale réduite, ce qui est courant dans les tissus lignifiés.

La forte teneur observée dans les feuilles indique une concentration élevée en éléments minéraux tels que le calcium, le magnésium ou encore le potassium, ce qui peut être bénéfique sur le plan nutritionnel. À l'inverse, la faible teneur en cendres des graines suggère une densité minérale relativement faible.

4.1.3. Teneur en activité de l'eau (*aw*)

L'activité de l'eau (*aw*) est un paramètre fondamental pour évaluer la stabilité microbiologique et chimique d'un produit alimentaire. Elle ne mesure pas toute l'eau présente, mais seulement celle qui est disponible pour les micro-organismes. La figure 26

Résultats et discussion

illustre les teneurs en activité de l'eau des poudres élaborées des différentes parties de fruit de la goyave :

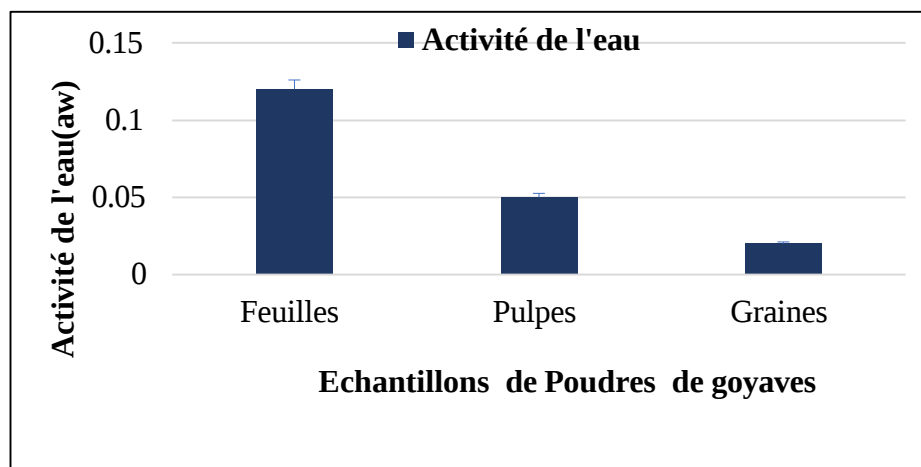


Figure 29 : Activité de l'eau des échantillons de la goyave

A travers les résultats affichés par la figure 29 on constate une différence hautement significative entre les différentes parties de la goyave. Les feuilles présentent l'activité de l'eau (a_w) la plus élevée (0,12 – a), suivies de la pulpe (0,05 – b), tandis que les graines enregistrent la valeur la plus faible (0,02 – c). Ces valeurs, toutes inférieures au seuil critique de 0,6, indiquent que le développement microbien est pratiquement impossible, ce qui confère aux poudres une excellente stabilité à la conservation.

La plus faible activité de l'eau dans les graines pourrait être liée à leur structure compacte et leur teneur élevée en lipides, qui retiennent peu d'eau libre. À l'inverse, les feuilles conservent davantage d'humidité résiduelle, ce qui explique leur a_w légèrement plus élevée.

Ces résultats concordent avec ceux rapportés par **Nguyen et al. (2019)**, qui ont montré que les produits à base de goyave séchée présentent une activité de l'eau inférieure à 0,5, garantissant ainsi une stabilité microbiologique durant le stockage. Par ailleurs, une telle faible valeur d'activité de l'eau est généralement obtenue grâce à un séchage performant ou à la lyophilisation, deux méthodes couramment utilisées pour la conservation des matrices végétales (**Berk, 2018**).

Bien que toutes ces valeurs restent bien en dessous du seuil critique de 0,6 (en dessous duquel aucun développement microbien n'est possible), cette variation peut s'expliquer par la structure et la composition chimique des tissus : les graines, très denses et riches en lipides, contiennent peu d'eau libre ; les feuilles, en revanche, ont une structure plus poreuse et retiennent davantage d'humidité résiduelle (**Fontana, 2000**).

Résultats et discussion

Tous les échantillons présentaient des valeurs d'activité de l'eau inférieures ou proches de 0,3, indiquant une stabilité microbiologique (**Labuza, 1980 ; Rahman, 2007**)

Ces données confirment l'intérêt de ces poudres, notamment celles issues de la graine et de la pulpe, pour des formulations alimentaires stables, avec un risque minimal de dégradation microbienne ou enzymatique.

D'autres études sur les tomates, les mangues et les purées de papaye, ont rapporté des résultats similaires en termes d'activité de l'eau pour les poudres obtenues (**Caparino et al., 2012 ; Castoldi et al., 2015 ; Zotarelli et al., 2017**).

La durée de conservation des poudres alimentaires peut être réduite par des modifications physiques et des réactions chimiques pendant le stockage. Pour ces aliments, ces deux modifications sont contrôlées par l'état de l'eau dans l'aliment (humidité de l'eau et activité de l'eau) (**Bhandari et al., 2013**). Les très faibles activités de l'eau observées dans les poudres de goyave produites favorisent leur stabilité.

4. 1. 4. Teneur en lipides

La teneur en lipides est un paramètre clé dans l'évaluation de la valeur nutritionnelle des matières premières végétales, en particulier pour leur potentiel énergétique et fonctionnel dans les formulations alimentaires. La figure 30 montre les teneurs en lipides dans les poudres de la goyave :

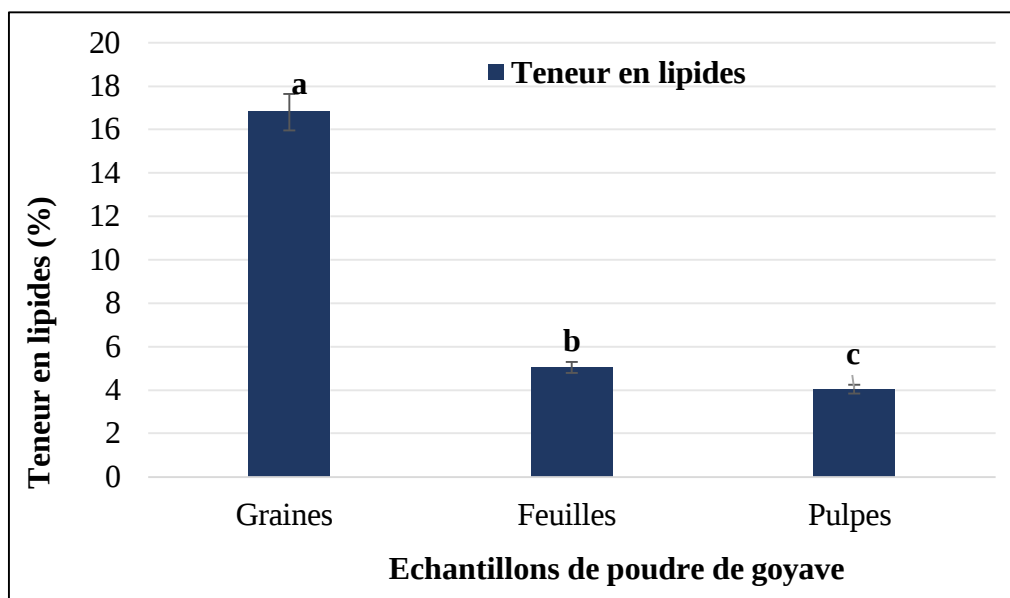


Figure 30 : Teneur en lipide dans la poudre du fruit de la goyave.

Résultats et discussion

Dans notre étude, une différence significative ($p < 0,05$) est observée entre les différents échantillons de goyave. Les graines présentent une teneur en lipides très élevée (16,8 %), nettement supérieure à celle des feuilles (5,05 %) et de la pulpe (4,05 %).

Cette richesse lipidique des graines est bien documentée dans la littérature et s'explique par leur rôle biologique : elles constituent un organe de réserve destiné à la germination, stockant des lipides sous forme de triglycérides, qui fournissent l'énergie nécessaire à l'embryon (**Bewley & Black, 1994**). En comparaison, les feuilles et la pulpe, dont les fonctions sont respectivement métaboliques et nutritionnelles, contiennent des quantités moindres de lipides, principalement des composants membranaires (phospholipides, glycolipides).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Jiménez-Escrig et al. (2001)**, qui ont également montré une teneur lipidique élevée dans les graines de goyave, soulignant leur potentiel pour des applications dans les produits nutritionnels enrichis. Par ailleurs nos résultats sont plus élevés pour la pulpe (3,713 %), très élevés pour les graines (13,44%) par rapport aux résultats trouvés par **Miaina Zo, (2023)** et en concordance avec les travaux de qui ont marqué une valeur proche de 5.05 %.

4.1.5. Teneur en protéines

La teneur en protéines reflète la valeur nutritionnelle des poudres végétales, notamment leur potentiel comme ingrédient enrichi en acides aminés essentiels. La figure 31 illustre les teneurs en protéines des différents échantillons de goyave :

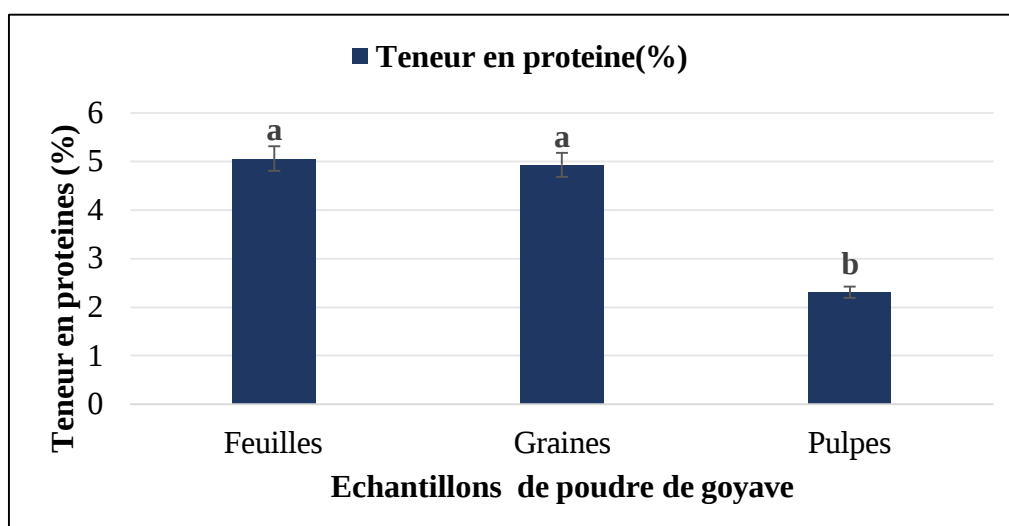


Figure 31 : Teneur en protéines des poudres de goyave.

Résultats et discussion

Les résultats obtenus relèvent des différences significatives ($p < 0,05$) entre nos différents échantillons. Les feuilles (5,06 %) et les graines (4,93 %) présentent des taux élevés, sans différence statistiquement significative entre elles, contrairement à la pulpe (2,31 %), significativement plus pauvre en protéines.

La richesse des feuilles en protéines s'explique par leur forte activité métabolique : elles contiennent des protéines enzymatiques et structurales (ex. : rubisco, enzymes du métabolisme photosynthétique) (Dreyfus et Cornic, 2018). Les graines, quant à elles, stockent des protéines de réserve (globulines, albumines) utilisées lors de la germination, ce qui justifie leur haute valeur protéique.

La pulpe est principalement composée d'eau, de sucres simples et de fibres solubles, ce qui explique sa teneur plus faible en protéines. Néanmoins, cette teneur reste non négligeable pour un tissu de type parenchymateux.

Ces observations rejoignent les résultats publiés par Jiménez-Escrig et al. ;(2001) et El-Sharawy et al., (2016), qui soulignent le potentiel nutritionnel des feuilles et graines de goyave comme source alternative de protéines végétales.

4.1.6. Teneur en sucres totaux

La teneur en sucres totaux représente la quantité de glucides solubles, principalement des sucres simples (glucose, fructose, saccharose), présents dans les poudres végétales. Ce paramètre influence à la fois la valeur énergétique du produit et ses propriétés organoleptiques (goût sucré, pouvoir hydro scopique). La figure 32 montre les résultats des sucres totaux obtenus des poudres de la goyave :

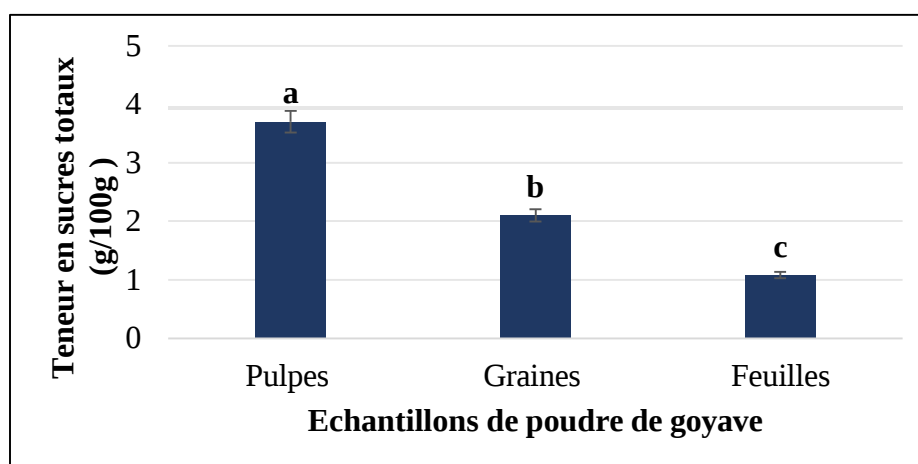


Figure 32 : Teneur en sucres totaux des poudres de goyave

Résultats et discussion

Dans cette étude, une différence significative ($p < 0,05$) est observée entre les trois types de poudres. La poudre de pulpe présente la teneur en sucres la plus élevée (3,70 g/100g), ce qui est attendu, car la pulpe est le principal tissu de stockage des glucides solubles dans les fruits mûrs.

En revanche, la poudre des graines affiche une teneur modérée (2,10 g/100g), elles contiennent aussi une forte proportion de protéines de réserve (globulines, albumines), utilisées lors de la germination pour nourrir l'embryon. Les sucres présents dans les graines (saccharose, raffinose) contribuent à la stabilité des membranes et à la protection contre la dessiccation.

Les feuilles présentent la plus faible teneur en sucres (1,08 g/100 g), cela s'explique, ce qui reflète leur faible implication dans le stockage glucidique et s'explique par leur rôle principalement métabolique plutôt que de réserve.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Jiménez-Escrig et al. (2001)**, qui montrent que la pulpe de goyave est particulièrement riche en sucres simples, contribuant à sa douceur naturelle. La faible teneur en sucres dans les graines et les feuilles suggère qu'elles pourraient être intégrées à des formulations à faible index glycémique, ou pour des produits destinés à un public diabétique ou en régime contrôlé.

Cette hiérarchie de la répartition des teneurs en sucre dans les différentes parties de la goyave est conforme aux observations de **Djerroud et al. (2015)**, qui ont rapporté une richesse en glucides dans les pulpes de caroube, pouvant atteindre 50 g/100g MS. La forte teneur en sucres de la pulpe s'explique par son rôle de réserve énergétique et d'attraction des frugivores pour assurer la dissémination des graines.

Par ailleurs, la teneur modérée observée dans les graines de goyave collabore avec les résultats de **Ali et al. (2012)** sur les graines de dattes Medjool (5,9 g/100g MS), indiquant une présence secondaire de glucides, ceux-ci étant surtout associés à des fonctions de protection contre la dessiccation et à un rôle osmotique.

En revanche, les feuilles présentent la teneur la plus faible, ce qui est en accord avec les travaux de **Lee et al. (2018)** sur les feuilles de *Asimina triloba*, où les sucres ne dépassaient pas 1,2 g/100g MS. Cette faible teneur est liée à leur fonction principalement photosynthétique : les sucres produits sont exportés vers d'autres organes et peu stockés localement.

4.1.7. Teneur en fibres alimentaires

La teneur en fibres alimentaires est un critère nutritionnel essentiel, car elle influe sur la digestibilité, le transit intestinal, ainsi que la capacité de rétention d'eau et de gonflement des produits végétaux transformés. Les résultats des fibres des poudres de la goyave sont illustrés par la figure 33 :

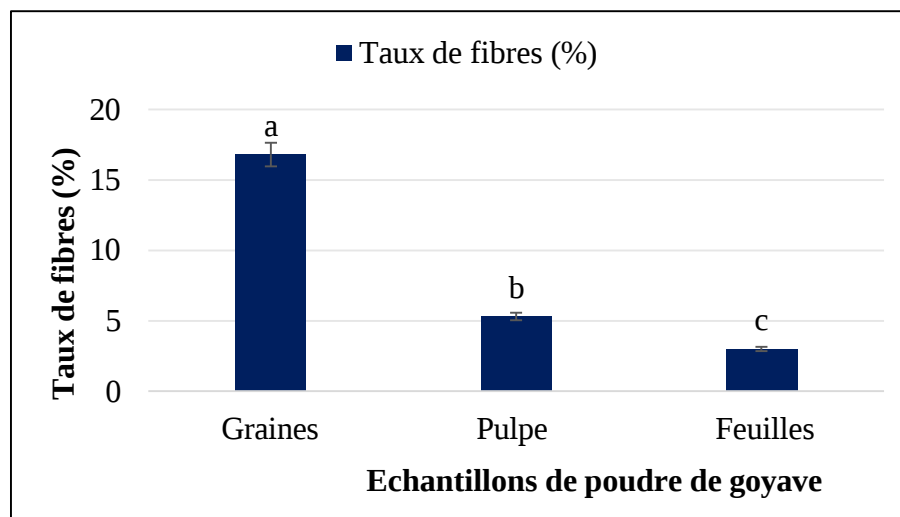


Figure 33 : Teneur en fibres des poudres de la goyave

Les résultats de la figure 33 montrent une différence significative ($p < 0,05$) entre les différents échantillons de la goyave. Les graines se distinguent par une teneur en fibres nettement plus élevée (16,80 g/100g) par rapport aux feuilles (5,05 g/100g) et à la pulpe (4,05g/100g).

Cette forte teneur en fibres des graines est cohérente avec leur structure cellulaire rigide, composée de téguments épais riches en cellulose, hémicellulose et lignine. Les fibres insolubles y dominent, ce qui en fait un ingrédient intéressant pour les formulations visant à améliorer le transit intestinal ou pour des produits à faible densité énergétique.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Jiménez-Escrig et al. (2001)**, qui ont mis en évidence la richesse en fibres alimentaires du fruit de la goyave, en particulier dans ses graines, proposant leur utilisation comme ingrédient fonctionnel.

Les feuilles présentent également une quantité appréciable de fibres, liées à leur composition foliaire (parois cellulaires épaisses, structures vasculaires). Quant à la pulpe, elle contient majoritairement des fibres solubles, comme la pectine, mais en quantité plus faible, ce qui est typique des tissus parenchymateux mous. Ce résultat est en concordance avec celui obtenu par **Pawar et al., (2024)** qui a enregistré une teneur en fibre de 5.05 ± 0.015 g/100g.

Résultats et discussion

La pulpe contient 5,3 g de fibres alimentaires, contre 3,01 g pour les feuilles. Ces résultats indiquent que les deux matrices sont de bonnes sources de fibres, avec une teneur particulièrement intéressante dans la pulpe. Les fibres alimentaires sont essentielles pour la santé digestive, la régulation du transit intestinal et la prévention de certaines pathologies métaboliques.

4.2. Teneur en composés phénoliques

4.2.1. Dosage spectrophotométrique

Le dosage des composés phénoliques a été réalisé par méthode spectrophotométrique, utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Cette méthode colorimétrique repose sur la capacité des phénols à réduire un complexe phosphomolybdotungstique en milieu alcalin, générant une coloration bleue mesurable à 765 nm. Elle permet une estimation globale, exprimée en équivalents d'acide gallique (mg EAG/g de matière sèche).

4.2.1. Teneur en polyphénols totaux

Les polyphénols sont des composés antioxydants majeurs largement présents dans les plantes. Leur teneur varie considérablement selon la nature des tissus végétaux, leur fonction biologique, et leur degré de maturité. Les résultats des teneurs de polyphénols totaux trouvés dans les différents types de poudre de goyave sont illustrés dans la figure 34 :

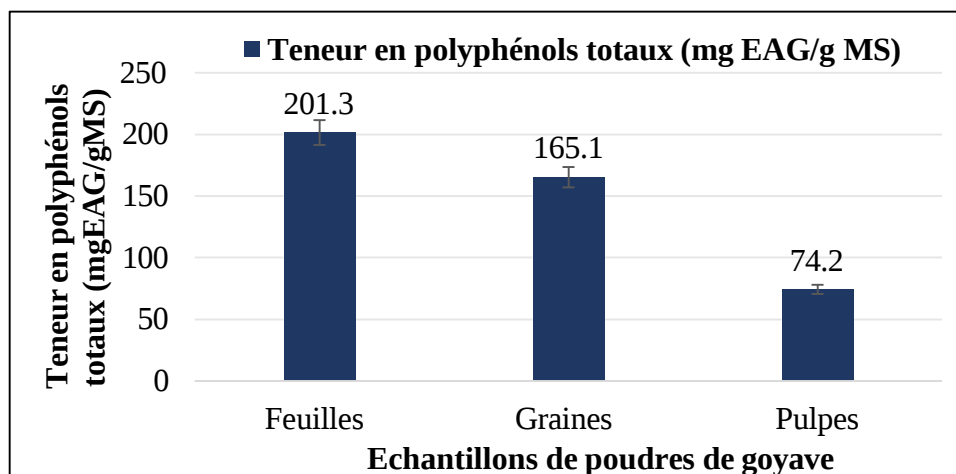


Figure 34 : Teneur en polyphénols totaux des poudres de la goyave

Les résultats illustrés par la figure 34 révèlent une variation hautement significative ($p < 0,05$) des teneurs en polyphénols totaux entre les différents échantillons de goyave. La poudre de feuilles se distingue par une concentration exceptionnellement élevée (201,3 mg EAG/g

Résultats et discussion

MS), suivie des graines (65,10 mg EAG/g MS), et enfin celle de la pulpe, qui présente la teneur la plus faible (74,20 mg EAG/g MS).

La teneur en polyphénols des fruits peut être influencée par de nombreux facteurs tels que la variété, la culture, l'espèce, la zone, la maturité, la période de récolte, les conditions climatiques, la durée de stockage et l'environnement (**Wang et al., 2020**) et **Iqbal, et Bhanger, 2006**). Par ailleurs, la concentration en polyphénols est également influencée par le degré de maturité du fruit (**Kondakova et al., 2009**).

Cette richesse en composés phénoliques dans les feuilles s'explique par leur rôle physiologique dans la défense contre les agressions environnementales (UV, pathogènes, herbivores). Ces résultats corroborent ceux de **García et al. (2023)**, qui ont mis en évidence la grande concentration en antioxydants dans les extraits hydroalcooliques de feuilles de *Psidium guajava*.

La pulpe, bien que moins concentrée, contient une quantité appréciable de polyphénols, typique des fruits mûrs tropicaux. Ces composés contribuent à ses propriétés fonctionnelles, notamment en termes de pouvoir antioxydant et de conservation.

Les graines, quant à elles, renferment une quantité modérée de polyphénols. Cette différence s'explique par leur rôle principal comme organe de réserve énergétique, riche en lipides, avec peu de métabolites secondaires solubles comme les polyphénols.

Ces données confirment que la feuille de goyave représente la source la plus riche en polyphénols parmi les trois matrices étudiées, ce qui la rend particulièrement intéressante pour des applications nutraceutiques ou comme ingrédient fonctionnel dans les formulations alimentaires. La pulpe joue de sa part un rôle nutritionnel. Bien que sa teneur soit bien inférieure à celle des feuilles, elle demeure significative. Ces composés participent à la saveur, la couleur et la stabilité oxydative du fruit, et contribuent à ses propriétés fonctionnelles (antioxydantes, anti-inflammatoires).

Les graines ont une structure plus dense et une fonction de réserve énergétique pour la germination, d'où une moyenne teneur en polyphénols. Elles contiennent davantage de lipides que de composés phénoliques, ce qui explique leur valeur antioxydante limitée.

4.2.2. Teneur en flavonoïdes

Les flavonoïdes sont l'un des composés polyphénoliques les plus importants, bénéfiques pour la santé humaine grâce à leurs puissants effets antioxydants et pharmacologiques (**Miean et Mohamed, 2001 ; Khanam et al., 2012**). Leur concentration dépend fortement du type de

Résultats et discussion

tissu végétal et de ses fonctions biologiques. La figure 35 représente les teneurs en flavonoïdes des différents types de poudres de la goyave :

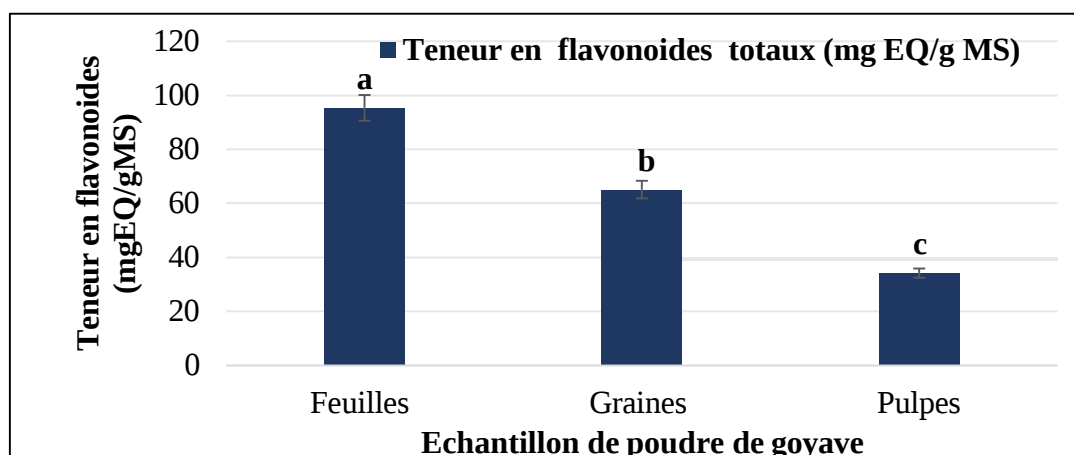


Figure 35 : Teneur en flavonoïdes des poudres de la goyave.

Les résultats de la figure 35 révèlent une variation nette et significative ($p < 0,05$) de la teneur en flavonoïdes totaux selon la partie de la plante. Les feuilles présentent une concentration très élevée (95,31 mg EQ/g MS), suivies par les graines (65,1 mg MQ/g ES), tandis que la pulpe affiche la teneur la plus faible (34,2mg EQ/g MS).

Cette dispersion s'explique par la fonction protectrice des feuilles, qui synthétisent des flavonoïdes pour se défendre contre les rayons UV, les pathogènes et les stress abiotiques. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **García et al. (2023)**, qui ont mis en évidence une forte activité antioxydante dans les extraits foliaires de *Psidium guajava*.

Les graines avec leur teneur modérée reflètent leur nature de structure de réserve, plus riche en lipides qu'en métabolites secondaires hydrosolubles comme les flavonoïdes

La pulpe, bien qu'elle soit utilisée en alimentaire, contient des flavonoïdes à des concentrations plus faibles. Ces composés participent à la couleur, à la saveur et aux propriétés fonctionnelles du fruit.

Les résultats obtenus en polyphénols totaux et en flavonoïdes pour les différentes parties de la goyave montrent une variation marquée des teneurs selon la partie de la plante étudiée.

La teneur en polyphénols totaux atteint 201,3mg EAG/g ES dans les feuilles, suivie par la pulpe (165,1 mg EAG/g ES) et les graines (74,2 mg EAG/g ES). Concernant les flavonoïdes totaux, les feuilles restent la partie la plus riche (95,31 mg EQ/g ES), devant les graines (65,1

Résultats et discussion

mg EQ/g ES) et la pulpe (34,2 mg EQ/g ES). Ces résultats confirment les données de la littérature.

García et al. (2023) ont rapporté une teneur en polyphénols totaux de l'ordre de 332 mg EAG/g dans les extraits hydroalcooliques de feuilles de *Psidium guajava*, une valeur plus élevée de celle obtenue dans notre étude. En ce qui concerne les flavonoïdes, **Al-Mulaiky et al. (2018)** ont observé des concentrations variant de 29,7 à 92,4 mg EQ/g ES dans les feuilles, selon le cultivar et le solvant utilisé, ce qui corrobore notre valeur de 95,31 mg EQ/g.

La pulpe analysée présente des teneurs supérieures à celles généralement rapportées : **Al-Shawafi et al. (2018)** ont mentionné des teneurs en polyphénols de 6,6 à 9,9 mg EAG/g ES et en flavonoïdes de 1,9 à 3,6 mg EQ/g ES. Cette différence peut être attribuée à un cultivar plus riche, une technique d'extraction plus efficace ou à des conditions de séchage douces ayant préservé l'intégrité des composés bioactifs.

Enfin, les graines sont très riches et présentent des concentrations très intéressantes en composés phénoliques. Une étude de **Hernández-Acosta et al. (2011)** indique une teneur en polyphénols d'environ 1,5 mg EAG/g, contre 165,10 mg EAG/g dans notre étude. De même, la teneur en flavonoïdes (65,1 mg EQ/g) est supérieure aux valeurs estimées dans la littérature ($\approx 0,15$ mg EQ/g). Cela suggère une variabilité selon les conditions d'extraction ou l'origine botanique.

4.3. Activités antioxydantes des poudres de goyave

4.3.1. Piégeage du radical libre DPPH :

L'activité antioxydante des extraits végétaux peut être évaluée par la capacité à neutraliser des radicaux libres. Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est l'une des méthodes les plus couramment utilisées. Il repose sur la réduction du radical stable DPPH• par des donneurs d'électrons (antioxydants), entraînant une décoloration mesurée à 517 nm. Plus l'inhibition est forte, plus l'extrait possède un potentiel antioxydant élevé (**Brand-Williams et al., 1995**). La figure 36 illustre les pourcentages d'inhibition du radical libre de DPPH pour les deux échantillons de goyave feuilles et pulpe et le standard représenté par l'acide ascorbique :

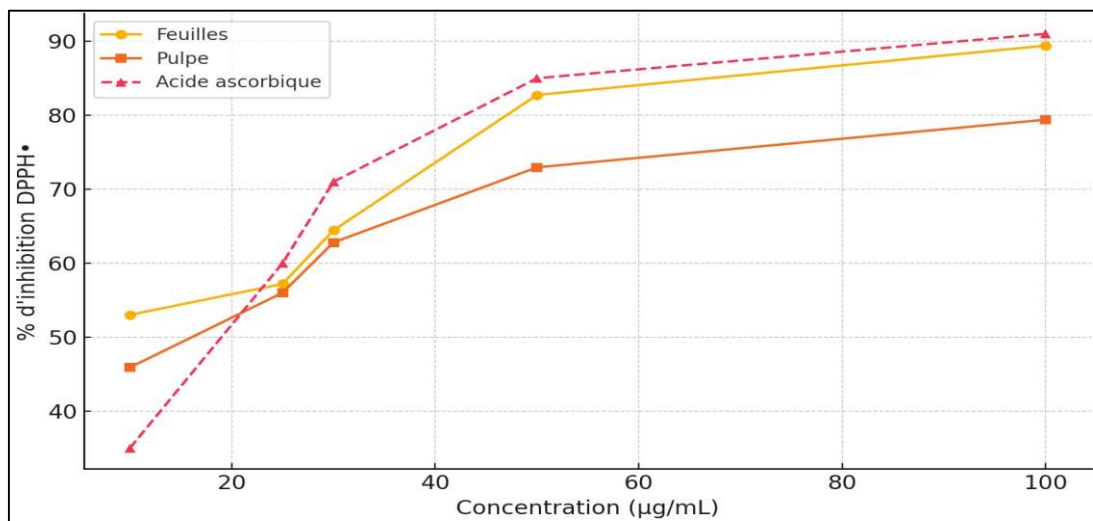


Figure 36 : Pourcentages d'inhibition du radical libre de DPPH des échantillons et du standard.

Les résultats de la figure 36 montrent que l'extrait de feuilles de goyave possède une activité antioxydante élevée, avec une inhibition du radical DPPH atteignant 89,41 % à 100 µg/mL, contre 91 % pour l'acide ascorbique, utilisé comme antioxydant de référence (standard). En comparaison, la pulpe présente une activité plus modérée, atteignant 79,4 % à la même concentration.

Ces données confirment que les feuilles de *Psidium guajava* sont une source importante de composés antioxydants, notamment les polyphénols et flavonoïdes identifiés précédemment. La forte activité observée est en accord avec la teneur élevée en polyphénols totaux mesurée dans les feuilles (201,3 mg EAG/g MS), suggérant une bonne capacité de neutralisation des radicaux libres par don de proton ou d'électron.

En revanche, l'activité plus faible d'échantillon de la pulpe est attribuée à sa plus faible concentration en polyphénols (74,2 mg EAG/g MS). Malgré cela, elle conserve une capacité antioxydante non négligeable, pouvant contribuer à l'intérêt nutritionnel de la consommation de la pulpe de goyave sous forme fraîche ou transformée.

Les échantillons poudres de feuilles utilisées en extraits pourraient être valorisés comme agents antioxydants naturels dans des formulations nutraceutiques, diététiques ou cosmétiques, en remplacement partiel ou total des antioxydants synthétiques.

A partir des courbes des taux d'inhibition, nous avons pu déduire graphiquement les valeurs d'IC50 de l'acide ascorbique et des deux échantillons des feuilles et des pulpes de la goyave.

Résultats et discussion

La valeur de l'IC₅₀ est inversement proportionnelle à la capacité antioxydante (taux d'inhibition I%) d'un composé, car elle reflète la quantité d'antioxydant requise pour neutraliser 50% de la concentration initiale du radical libre dans le milieu. Plus la valeur d'IC₅₀ est faible, plus l'activité anti radicalaire d'un composé est appréciable.

La figure 37 présente les variations de l'inhibition du DPPH en fonction de la concentration de l'acide ascorbique et de deux échantillons de poudre de feuilles et de pulpe de goyave.

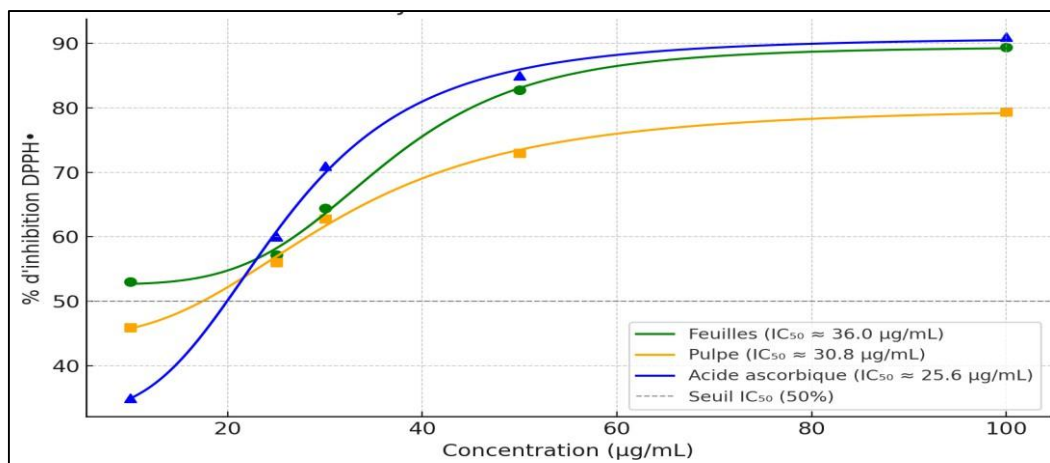


Figure 37 : IC 50 des échantillons de goyave et du standard

La figure ci-dessus représente les courbes d'inhibition DPPH pour les échantillons de feuilles, graines et pulpe de goyave ainsi que pour l'acide ascorbique, avec une estimation visuelle de leur IC₅₀ (la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres DPPH•).

Les valeurs d'IC₅₀ visibles en vert, orange et bleu pour les extraits de feuilles, pulpe et acide ascorbique respectivement. On remarque plus l'IC₅₀ est bas, plus l'activité antioxydante est élevée.

L'acide ascorbique (référence) présente la meilleure activité antioxydante, suivi des feuilles, puis des graines et pulpes.

Hartati et al., (2020) ont rapporté une activité antioxydante atteignant environ 80 % pour des extraits de goyave rose à des concentrations proches, tandis qu'**Araújo et al., (2022)** ont déterminé un EC₅₀ autour de 140 µg/ml pour des extraits aqueux de feuilles de goyave. Nos résultats se situent donc dans la même gamme que ces références, suggérant que la goyave algérienne possède une activité comparable à celle observée dans d'autres variétés tropicales.

Depuis ce résultat, on observe pour les trois extraits testés (feuilles, pulpe, acide ascorbique) une tendance générale à l'augmentation du pourcentage d'inhibition DPPH en

Résultats et discussion

fonction de la concentration, ce qui est attendu pour une activité dose-dépendante :

✓ **À faible concentration (10 µg/mL) :** L'acide ascorbique présente la plus faible inhibition (35 %), ce qui est inhabituel, probablement dû à une cinétique retardée à cette dose. Les feuilles montrent déjà une activité marquée (53 %), ce qui traduit une présence importante de composés antioxydants efficaces même à basse concentration. La pulpe présente une activité modérée (45,9 %).

✓ **À concentration intermédiaire (25–30 µg/mL) :** Toutes les courbes progressent nettement. L'ascorbique passe à 60–71 %, la pulpe atteint 62,8 %, tandis que les feuilles dépassent les 64 %.

✓ **À haute concentration (50–100 µg/mL) :** Toutes les courbes tendent à se stabiliser, avec des inhibitions comprises entre 79 % et 91 %, suggérant une saturation des sites réactifs DPPH. Les feuilles de goyave montrent un excellent pouvoir antioxydant (jusqu'à 89,41 %), très proche de l'acide ascorbique (91 %). La pulpe reste efficace mais à un niveau légèrement inférieur (79,4 %).

Les valeurs d'IC₅₀ confirment la forte capacité antioxydante des extraits étudiés. L'acide ascorbique présente l'IC₅₀ la plus faible (25,6 µg/mL), ce qui est attendu pour un antioxydant pur de référence. L'extrait de feuilles de goyave suit de près avec une IC₅₀ d'environ 36 µg/mL, soulignant sa richesse en composés phénoliques et flavonoïdes. Cette activité est comparable à celle rapportée par **Gutiérrez et al. (2008)**, qui avaient trouvé une IC₅₀ de 21,5 µg/mL dans des extraits méthanoliques de feuilles de *Psidium guajava*.

La pulpe affiche également une activité antioxydante appréciable (IC₅₀ ≈ 31 µg/mL), malgré une teneur plus faible en polyphénols. Cela suggère que d'autres composés tels que la vitamine C ou certains caroténoïdes pourraient aussi contribuer à l'effet antiradicalaire.

Ces résultats mettent en évidence le potentiel des feuilles et pulpes de goyave comme sources naturelles d'antioxydants, avec une efficacité notable, en particulier pour les feuilles.

4.4. Composés phénoliques par HPLC

L'analyse HPLC a permis l'identification de plusieurs composés phénoliques et bioactifs dans les différentes fractions de la goyave (feuilles, graines et pulpe). Le tableau suivant résume les principaux composés identifiés et leur temps de rétention (TR).

Résultats et discussion

Tableau 8 : principaux composés identifiés et leur temps de rétention (TR).

Composé	Feuilles (TR)	Graines (TR)	Pulpe (TR)	Commentaires
Acide ascorbique	2,579	2,662	2,662	Présent partout – antioxydant majeur
Acide gallique	5,88	5,407	4,689	Présent partout – polyphénol universel
Apigénine	36,784	36,38	36,323	Flavone très stable dans les 3 matrices
Curamine	43,033	—	43,156	Présente dans feuilles et pulpe
Myricétine	28,539	28,549	—	Absente dans pulpe
Caféine	—	—	16,655	Spécifique à la pulpe (alcaloïde stimulant)
Acide stéarique	—	—	5,466	Acide gras – unique à la pulpe
Méthoxyflavone	—	—	41,938	Flavone méthoxylée – hydrophobe
Flavones 3- et 5-OH	—	42–43	—	Spécifiques aux graines

L'analyse chromatographique des différentes parties de la plante (feuilles, graines, pulpe) révèle une variation qualitative et partiellement quantitative des composés phénoliques, des flavonoïdes, des flavonols et polyphénols reflétant la fonction biologique spécifique de chaque organe végétal.

Les feuilles de goyave se distinguent par leur richesse en flavonoïdes (myricétine, apigénine) et en curamine, ce qui confirme leur fort potentiel antioxydant. Ces résultats renforcent les données obtenues par spectrophotométrie et DPPH, où les feuilles affichaient une activité comparable à l'acide ascorbique.

Les graines montrent un profil différent, caractérisé par la présence exclusive de flavones 3- et 5-OH, qui pourraient jouer un rôle dans la protection embryonnaire de la graine (défense

Résultats et discussion

antioxydante). Leur absence de curamine et de certains flavonols reflète une spécialisation biochimique plus restreinte.

La pulpe, quant à elle, présente des composés uniques comme la caféine, l'acide stéarique et une méthoxyflavone, témoignant d'un profil plus diversifié mais moins concentré en flavonoïdes classiques. Cette diversité est intéressante pour la formulation alimentaire, en apportant goût, texture et fonctions spécifiques, même si son pouvoir antioxydant est légèrement inférieur à celui des autres fractions.

L'identification et la quantification qualitative des composés phénoliques dans les poudres des feuilles, graines, et pulpe révèlent un potentiel fonctionnel et nutritionnel différencié, justifiant leur valorisation en industrie agroalimentaire. Ces matrices végétales peuvent être utilisées sous forme de poudres enrichies en antioxydants, d'extraits secs, ou d'additifs naturels pour améliorer la valeur santé des aliments.

4.4.1. Profils phénoliques des poudres de feuilles

La figure 38 présente les profils phénoliques des poudres des feuilles de goyave :

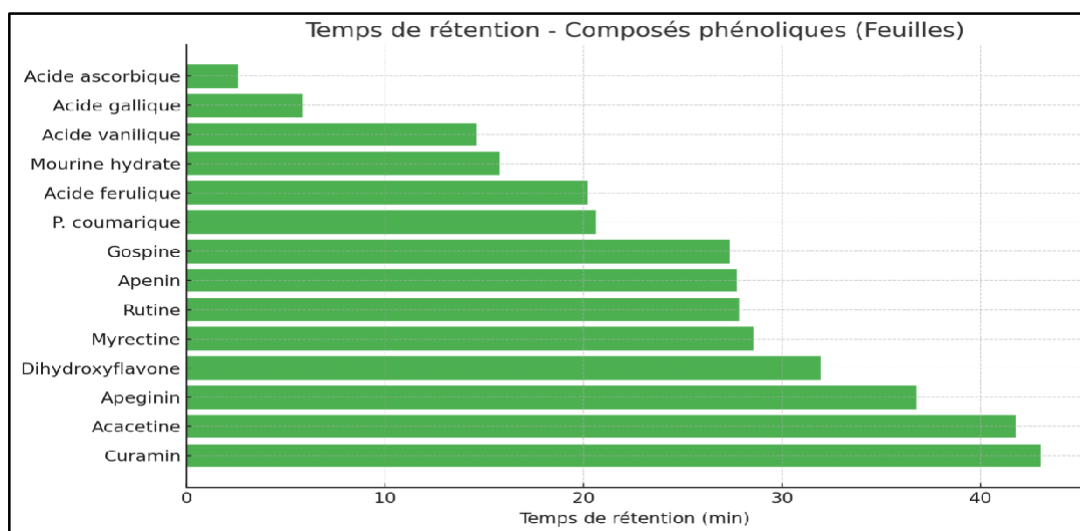


Figure 38 : Profils phénoliques des poudres des feuilles de goyave.

Les feuilles de goyave présentent la plus grande diversité de composés identifiés (14), comprenant :

- ✧ **Acides phénoliques simples** : ascorbique, gallique, vanillique, férulique, p-coumarique
- ✧ **Flavonoïdes glycosylés et méthylés** : rutine, myricétine, apigénine, acacétine, curamine
- ✧ **Composés rares ou spécifiques** : gospine, apenin

Les feuilles sont très riches en flavonoïdes glycosylés (rutine, myricétine), acides phénoliques (gallique, férulique), flavones méthylées (acacétine, curamin). Cette composition leur permet :

Résultats et discussion

- Une Excellente capacité antioxydante, protection contre les radicaux libres.
- Action anti-inflammatoire et cardiovasculaire potentielle via les flavonoïdes.
- Présence d'apigénine, connue pour ses effets apaisants et antispasmodiques.

Par cette composition riche en composés phénolique, les feuilles doivent assurer une protection multifonctionnelle (antioxydante, antimicrobienne et régulatrice)

Les poudres de feuilles de goyave peuvent être utilisées :

- Pour incorporation dans les farines fonctionnelles pour pains, biscuits ou snacks.
- comme antioxydant naturel pour prolonger la durée de vie des huiles ou produits riches en lipides.
- Production de tisanes santé riches en flavonoïdes.

4.4.2. Profils phénoliques des poudres des graines

La figure 39 présente les profils phénoliques des poudres des graines de goyave :

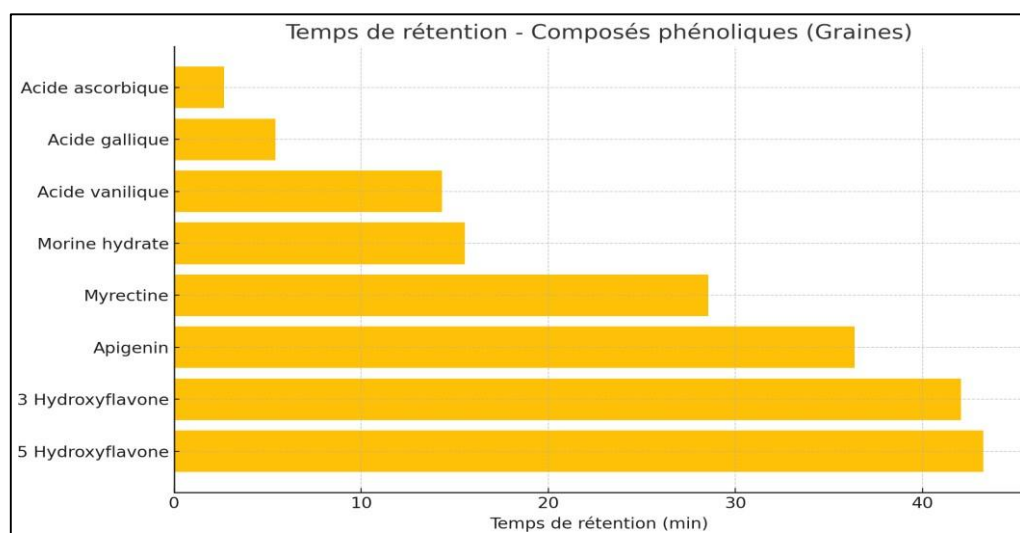


Figure 39 : Profils phénoliques des poudres des graines de goyave.

Les graines montrent une diversité plus réduite (8 composés), mais avec certains éléments caractéristiques :

- ✧ Présence de flavones hydroxylés très hydrophobes (TR > 42 min) qui leur procurent une stabilité chimique. Absence de caféine ou d'acide stéarique.
- ✧ Morine hydrate et myricétine également présentes, reflétant un certain degré de protection oxydative.

Les poudres de graines de goyave présentent moins de diversité pour les composés phénoliques comparativement aux feuilles, mais présence marquée de flavones hydroxylés (3- et 5-

Résultats et discussion

hydroxyflavone), apigénine et morine hydrate. Ces composés sont caractérisés par une forte stabilité thermique, idéale pour les procédés de transformation.

Suite à cette composition, les graines semblent privilégier la stabilité et la durabilité chimique.

Au niveau agroalimentaire, ces poudres peuvent être utilisées comme :

- Fortifiant antioxydant pour barres céréalières ou mélanges pour petit déjeuner.
- Additif fonctionnel pour aliments destinés aux sportifs.
- Intégration dans des boissons nutritionnelles.

4.4.3. Profils phénoliques des poudres de la pulpe

La figure 40 présente les profils phénoliques des poudres de la pulpe de goyave :

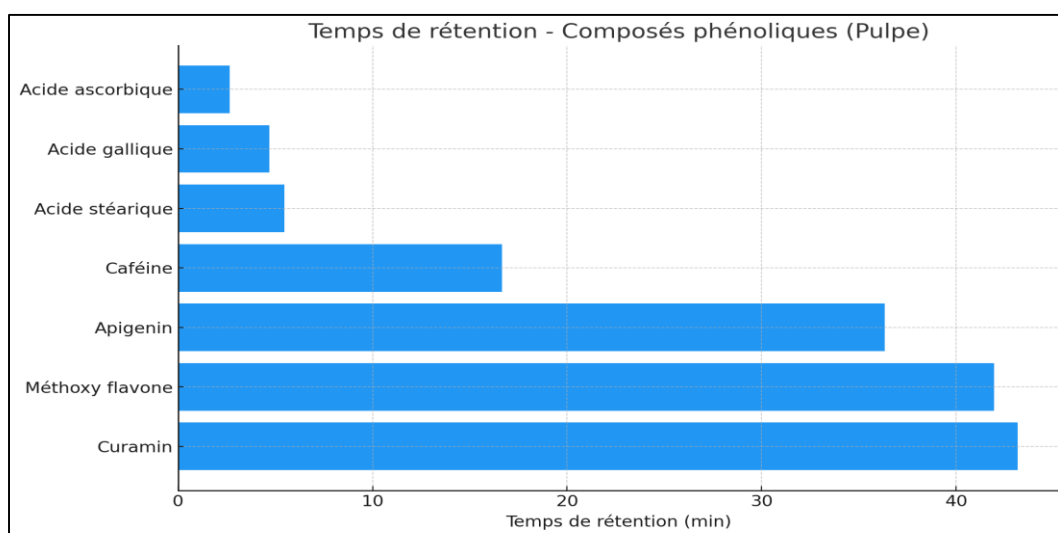


Figure 40 : Profils phénoliques des poudres de la pulpe de goyave.

L'analyse chromatographique des composés phénoliques dans la pulpe de goyave révèle un profil spécifique et fonctionnellement intéressant, bien que moins diversifié que celui des feuilles ou des graines. Les principales caractéristiques sont :

Présence exclusive de la caféine, un alcaloïde connu pour ses effets stimulants sur le système nerveux central, contribuant à l'amélioration de la concentration et à une sensation de vigilance accrue.

Détection de flavones méthoxylés, des composés bioactifs possédant une puissante activité antioxydante. Leur structure leur confère également une bonne affinité lipidique, ce qui favorise une action bénéfique sur la santé hépatique (protection du foie, réduction du stress oxydatif hépatique).

Présence d'acide stéarique, un acide gras saturé considéré comme neutre sur le plan cardiovasculaire, et participant à la structure des poudres alimentaires.

Résultats et discussion

Le profil phénolique de la poudre de la pulpe de goyave permet sa valorisation en industrie agroalimentaire comme :

- Substitut naturel de la caféine pour boissons énergisantes douces ou tisanes « bien-être ».
- Épaississant fonctionnel pour smoothies ou yaourts (apport de fibres et lipides).
- Utilisation dans les produits de confiserie ou barres énergétiques pour améliorer texture et valeur fonctionnelle.

Ces résultats des différents profils phénoliques de nos échantillons concordent avec les travaux de **Jiménez-Escrig et al. (2001)** et **El-Sharawy et al. (2016)**, qui ont mis en évidence la richesse des feuilles en flavonols et polyphénols spécifiques. De plus, la présence d'apigénine dans les trois matrices concorde avec les résultats de **Gutiérrez et al. (2008)**, soulignant sa stabilité et sa répartition uniforme dans la plante.

L'identification des composés phénoliques des différentes matrices étudiées permet de les intégrer dans des formulations riches en fibres et en antioxydants, adaptées aux régimes fonctionnels ainsi que la création de compléments alimentaires à base de poudres standardisées selon les profils phénoliques.

4.4.4. Présentation des produits finis

Les formulations développées dans le cadre de cette étude ont permis l'obtention de trois produits alimentaires à base de goyave : un bonbon acidulé formulé à partir de purée de pulpe, une boule énergétique enrichie en poudre de goyave et une infusion (thé) à base de feuilles de goyave séchées.

Chaque produit présente des caractéristiques visuelles propres, reflétant la nature des matières premières utilisées ainsi que la maîtrise du procédé de formulation.

Les figures suivantes illustrent l'aspect visuel des produits finis avant l'évaluation sensorielle.



Boule énergétique



Thé infusion



Bonbon

Figure 41 : Produits alimentaire à base de goyave.

4.4. Analyse sensorielle

4.4.1. Bonbon acidulé à base de purée de goyave

L'analyse sensorielle, menée auprès de 20 consommateurs, a permis d'évaluer le bonbon formulé à partir de purée de goyave selon six critères : goût, odeur, texture, goût fruité, niveau d'acidité et appréciation globale. Chaque critère a été noté sur une échelle hédonique de 1 à 5, allant de « très mauvais » à « excellent ». La figure 42 illustre les pourcentages des appréciations sensorielles bonbons acidulés à base de purée de goyave.

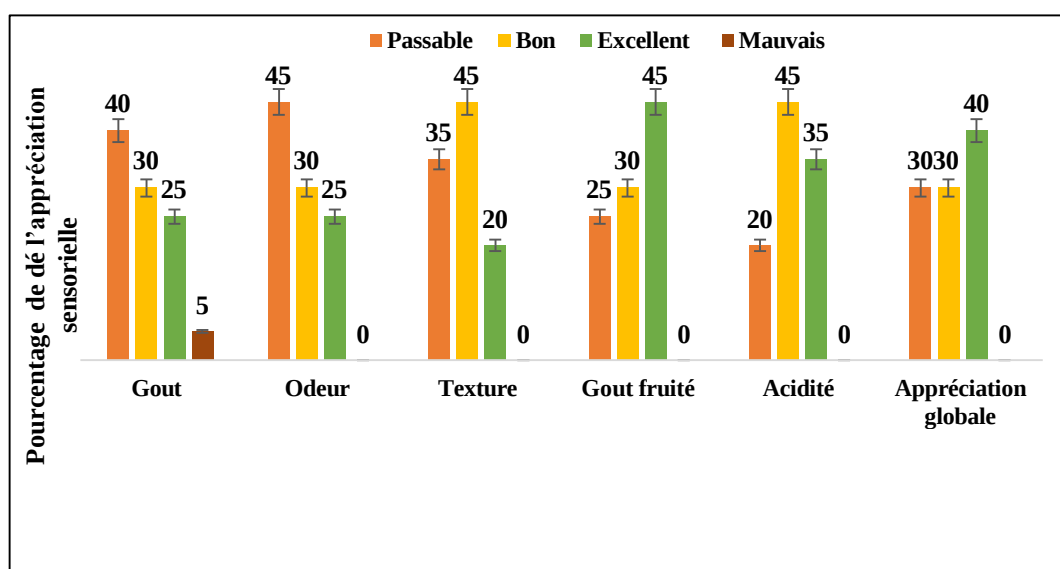


Figure 42 : pourcentages des appréciations sensorielles bonbons à base de purée de goyave.

Globalement, et d'après les résultats de la figure 42 on relève une bonne acceptabilité du produit. L'appréciation globale montre que 70 % des participants ont jugé le bonbon "bon" ou "excellent", avec 40 % en "excellent", ce qui traduit un réel potentiel d'acceptation commerciale.

Les écarts-types calculés pour chaque critère (goût, odeur, texture, goût fruité, acidité, appréciation globale) sont faibles, ce qui reflète une homogénéité des réponses et donc une consistance dans la perception du produit par les consommateurs.

4.4.1.1. Goût

Le goût fruité s'est distingué par une forte appréciation, avec 75 % des participants le jugeant bon ou excellent, confirmant la réussite de la formulation dans la conservation de l'arôme naturel de la goyave. Ce résultat est cohérent avec la nature sucrée et acidulée du fruit,

Résultats et discussion

particulièrement attractive dans les produits de confiserie. Cela montre que les ingrédients fonctionnels n'ont pas compromis l'acceptabilité gustative, mais l'ont améliorée.

4.4.1.2. Texture et odeur

Les résultats ont marqué respectivement 65 % et 55 % des participants qui ont évalué ces critères comme "bon" ou "excellent". Le score légèrement plus faible pour l'odeur pourrait indiquer une amélioration possible au niveau de l'aromatisation ou du maintien du parfum de la pulpe après transformation. La présence d'arômes naturels issus des poudres de fruits (comme des flavones ou la caféine dans la pulpe) a probablement renforcé la perception olfactive agréable. L'ajout de poudres végétales a été bien maîtrisé sur le plan technologique, sans altérer la consistance.

4.4.1.3. Goût fruité

Ce critère a été le mieux noté, avec 75 % de réponses positives (bon + excellent), dont 45 % excellent. Cela confirme que le goût caractéristique de la goyave est bien conservé et apprécié dans la formulation finale.

4.4.1.4. Acidité

Ce paramètre a également été très bien perçu, avec 80 % d'avis favorables, ce qui suggère un bon équilibre entre acidité et sucrosité, essentiel dans un bonbon acidulé.

4.4.1.5. Appréciation globale

Bien que 55 % des participants l'aient trouvé "bon ou excellent", 40 % d'entre eux l'ont trouvé seulement "passable", et 5 % l'ont trouvé "mauvais", ce qui signale une légère variabilité dans la perception du goût. Cela pourrait être dû à des préférences individuelles ou à la balance sucre/acidité.

Les résultats montrent que le bonbon à base de pulpe de goyave a été globalement bien accepté, avec une très bonne perception du goût fruité et de l'acidité. Quelques pistes d'amélioration sont possibles, notamment au niveau de l'odeur et de l'intensité gustative, afin d'atteindre une satisfaction encore plus élevée.

L'ajout de poudres naturelles riches en composés bioactifs permet non seulement d'améliorer les qualités nutritionnelles, mais aussi de renforcer les caractéristiques organoleptiques (goût, arôme, fruité). Cela ouvre la voie à des applications agroalimentaires innovantes dans le domaine des confiseries fonctionnelles, naturelles et plaisantes.

Résultats et discussion

L'analyse sensorielle a été réalisée dans le supermarché Grand Top Shop à Blida auprès de 20 consommateurs non spécialistes. Le bonbon testé, formulé à base de purée de goyave et conçu pour offrir un goût acidulé agréable, a obtenu des scores élevés pour le goût fruité, le goût général et l'appréciation globale. Le niveau d'acidité a été perçu comme bien équilibré par la majorité des participants. Les écarts-types observés restent faibles, traduisant une homogénéité des réponses. Ces résultats suggèrent que ce bonbon présente une bonne acceptabilité sensorielle auprès du public cible.

4.4.2. Boules énergétiques

L'analyse sensorielle a été menée auprès de 20 consommateurs non spécialistes afin d'évaluer deux formulations de boules énergétiques :

- **B1** : témoin (sans poudre de goyave)
- **B2** : enrichie en poudre de pulpe de goyave

Les résultats, catégorisés selon l'échelle hédonique, révèlent une préférence marquée pour B2 sur la majorité des critères évalués.

Les histogrammes comparatifs des critères sensoriels pour B1 et B2 sont présentés dans les figures ci-dessous. Chaque graphique illustre la répartition des évaluations (passable, bon, excellent...) selon les six critères testés.

Résultats et discussion

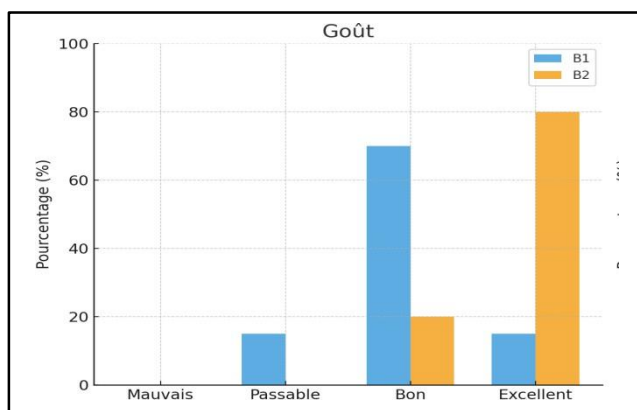


Figure 43 : Pourcentage d'appréciation du goût

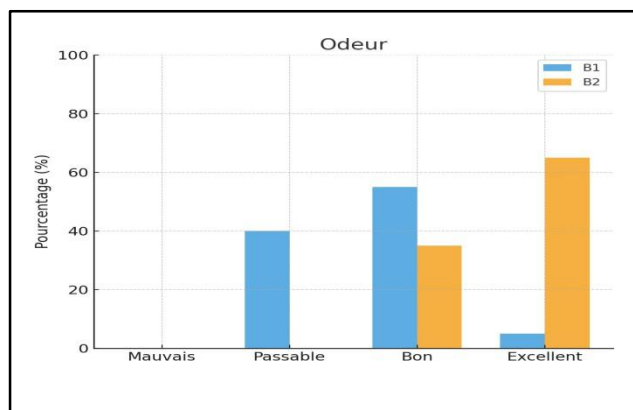


Figure 44 : % d'appréciation d'odeur

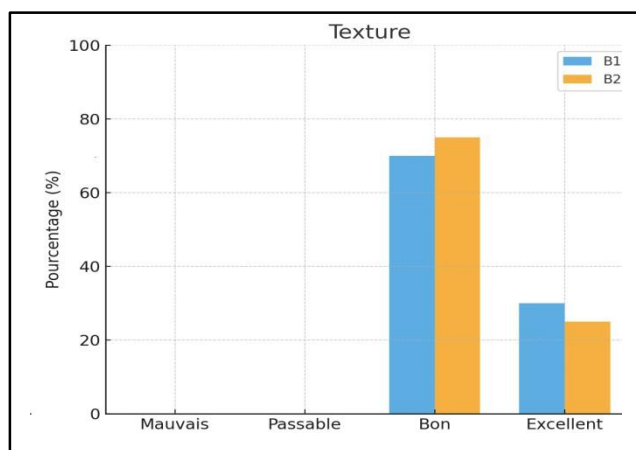


Figure 45 : Pourcentage d'appréciation de texture

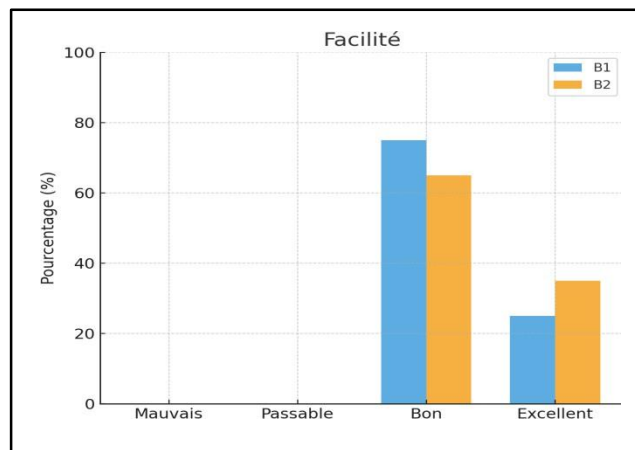


Figure 46 : % Appréciation Masticabilité

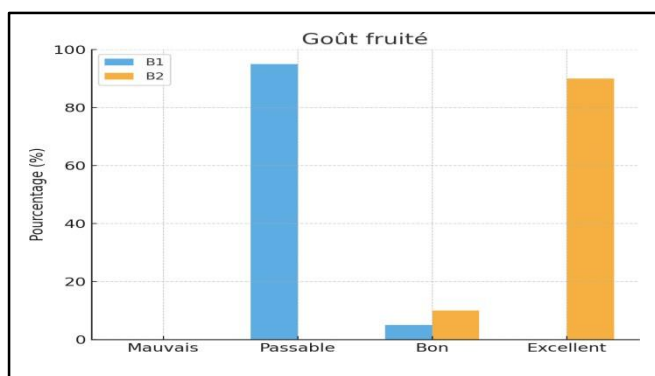


Figure 47 : Pourcentage d'appréciation de goût fruité

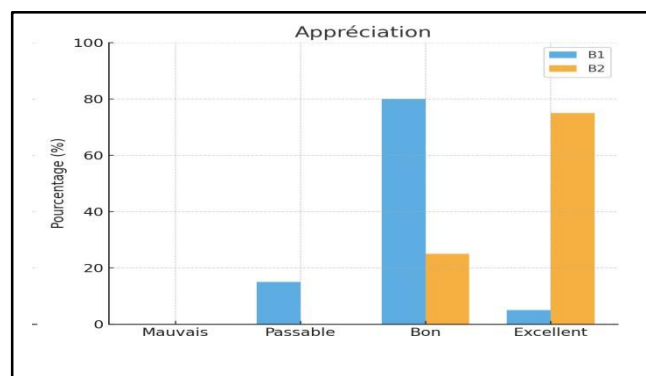


Figure 48 : % d'appréciation global

Résultats et discussion

✧ **Goût**

Les boules enrichies en poudre de pulpe de goyave (B2° a été jugée "excellente" par 80 % des participants, contre seulement 15 % pour B1(Témoin). Ce dernier présente une note dominante de "bon" (70 %), indiquant une acceptabilité correcte mais moins marquée que B2. La barre enrichie a obtenu un meilleur score traduisant une amélioration significative de la saveur, probablement due aux composés aromatiques issus des poudres naturelles

✧ **Odeur**

Un pourcentage de 65 % des dégustateurs ont évalué l'odeur de B2 comme "excellente", alors que B1 a obtenu principalement des notes "bonnes" (55 %) et "passables" (40 %). Cela suggère une meilleure formulation aromatique ou volatile dans B2, et l'effet de la richesse en composés volatils des poudres, en particulier les flavonoïdes et acides organique

✧ **Texture**

Les deux formulations obtiennent des résultats comparables sur ce critère, avec une majorité de notes "bonnes" (75 % pour B2 et 70 % pour B1). Toutefois, B1 a une proportion légèrement plus élevée de notes "excellentes" (30 % contre 25 % pour B2). La légère baisse pour la barre enrichie peut s'expliquer par l'intégration des fibres qui modifient légèrement la sensation en bouche.

✧ **Facilité à consommer**

La boule énergétique B2 est légèrement mieux notée, avec 35 % de notes "excellentes" contre 25 % pour B1. Dans les deux cas, aucune note négative n'a été enregistrée, ce qui souligne la bonne maniabilité des produits et que les poudres n'ont pas altéré la facilité de consommation.

✧ **Goût fruité**

Ce critère montre une différence flagrante : 90 % de "excellent" pour B2, tandis que B1 récolte majoritairement des notes "mauvaises" à "passables" (95 % de notes ≤ 3). Cela confirme une nette supériorité sensorielle de B2 sur l'intensité ou la fidélité du goût fruité et les poudres de goyave apportent un arôme naturel et agréable.

✧ **Appréciation globale**

La boule énergétique B2 est largement préférée en globalité : 75 % de "excellente" contre seulement 5 % pour B1. Cette dernière B1 reste néanmoins acceptable, avec 80 % de "bonnes" appréciations.

Ces résultats montrent que l'enrichissement à base de poudres (issues de goyave) a amélioré le profil sensoriel sans compromettre la texture ni la facilité de mastication.

Résultats et discussion

Les composés phénoliques naturels présents dans les poudres contribuent à ces effets positifs, apportant arômes, antioxydants et fibres. Cela confirme leur potentiel d'utilisation dans l'industrie agroalimentaire pour des produits sains et attractifs.

Les différentes parties de la goyave présentent des profils nutritionnels et antioxydants intéressants, avec une richesse marquée en composés phénoliques dans les feuilles. Les produits développés, comme les bonbons et boules énergétiques à base de pulpe, ont obtenu une bonne acceptabilité sensorielle auprès des consommateurs, confirmant leur potentiel pour des applications alimentaires fonctionnelles.

Conclusion

Conclusion

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des ressources fruitières locales, en particulier celles peu ou pas exploitées. La goyave (*Psidium guajava* L.), fruit tropical constitue une source de composés bioactifs et d'ingrédients nutritionnels tels que les fibres, les flavonoïdes et surtout la vitamine C.

Ainsi, notre travail nous a permis de démontrer ce potentiel fonctionnel des sous produits de la goyave (feuilles, pulpe et graines), à travers des analyses physico-chimiques et nutritionnelles et la formulation de trois produits agroalimentaires innovants: boules énergétiques, bonbons gélifiés et enfin une infusion fonctionnelle (le thé).

Les résultats des analyses physico-chimiques ont révélé des aptitudes efficaces et favorables à la conservation et à la stabilité des poudres obtenues : une faible activité de l'eau (entre 0,02 et 0,12), une humidité maîtrisée (< 9 %), et une richesse en minéraux et en fibres, particulièrement dans les feuilles et la pulpe. La valeur nutritionnelle a montré que les feuilles sont les plus riches en protéines (6,31%), les graines présentent une teneur plus élevée en lipides (6,27 %) et la pulpe est la plus riche en sucres et fibres alimentaires (8,2 % et 5,3 g / 100 g) respectivement.

L'analyse d'HPLC a confirmé la présence d'une diversité de composés phénoliques à fort pouvoir antioxydant dans chaque fraction de la goyave notamment dans les extraits foliaires (acide gallique, acide vanillique, myricétine, quercétine pour les feuilles). Elle a confirmée également les dosages des polyphénols totaux et flavonoïdes (spectrophotométrie)

L'activité antioxydante, mesurée par la méthode DPPH, a montré une inhibition significative des radicaux libres, avec un pourcentage atteignant 82,46 % pour la pulpe.

Les deux produits ainsi élaborés (boules énergétiques et bonbons gélifiés) ont été soumis à une évaluation sensorielle, qui a révélé une bonne acceptabilité, en particulier pour les boules énergétiques..

En conclusion, cette étude constitue une première étape vers une valorisation agroalimentaire rationnelle de la goyave en Algérie et développement d'aliments fonctionnels. Elle met en évidence non seulement les propriétés fonctionnelles intéressantes de ce fruit, mais aussi son potentiel d'intégration dans une démarche d'innovation alimentaire durable.

A la lumière de ces résultats, plusieurs axes de recherche peuvent être envisagés:

- ✧ compléter cette étude par des analyses microbiologiques et nutritionnelles détaillées des produits finis.
- ✧ Optimiser des procédés technologiques (séchage, extraction, conservation)

Conclusion

- ✧ Explorer la valorisation des graines de goyave sous forme d'huile
- ✧ Mener des études cliniques ou in vivo pour évaluer les effets bénéfiques des extraits de goyave sur la santé (activité antioxydante, digestive, cardiovasculaire...).
- ✧ Réfléchir sur d'autres matrices alimentaires comme pour les produits laitiers.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

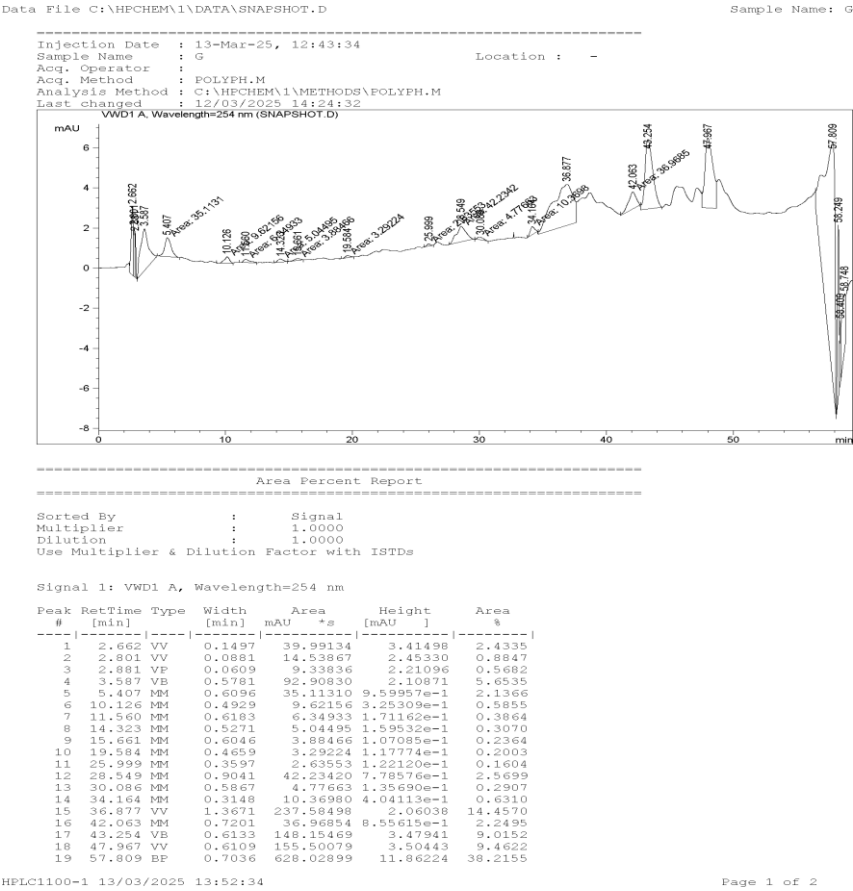
- Akinmoladun, F. O., Akinrinlola, B. L., & Farombi, E. O.** (2007). Phytochemical constituents and antioxidant properties of extracts from the leaves of *Ocimum gratissimum*. *Scientific Research and Essays*, 2(5), 163–166.
- Ali, M.** (2023). Pruning Management in *Psidium guajava* L. Orchards—An Overview. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 1441–1447.
- Al-Mulaiky, L. A., et al.** (2018). Phytochemical and antioxidant activity of different guava cultivars. *Pharmacognosy Journal*, 10(1), 144–150.
- Al-Shawafi, W., et al.** (2018). Determination of total phenolic and flavonoid contents in guava fruit. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 50(1), 36–40.
- Angell, M.** (2020). The oddly named energy bar that rocketed to the moon. *Atlas Obscura*. <https://www.atlasobscura.com/articles/space-food-sticks>
- Angulo-López, J. E., et al.** (2021). Guava (*Psidium guajava* L.) fruit and valorization of industrialization by-products. *Processes*, 9(6), 1075.
- Araújo, M. A. M., et al.** (2022). Evaluation of antioxidant activity and EC50 of *Psidium guajava* L. leaf extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*, 16(4), 89–96. <https://doi.org/10.5897/JMPR2022.7254>
- Arjun Kafle, Sushree S. M., et al.** (2018). A review on medicinal properties of *Psidium guajava*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6(4), 44–47.
- Ashraf, A., et al.** (2016). Chemical composition and biological effects of *Psidium guajava* leaf extracts. *Pharmaceutical Biology*, 54, 1971–1981.
- Barbalho, S. M., et al.** (2012). *Psidium guajava* (guava): A plant of multipurpose medicinal applications. *Medicinal & Aromatic Plants*, 1(4), 1–6.
- Barros, F., et al.** (2020). Impact of freezing on vitamin C and phenolic compounds of tropical fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 129, 109733.
- Basha, S. M., et al.** (2013). Nutritional composition of guava (*Psidium guajava* L.) products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(1), 82–90.
- Berk, Z.** (2018). *Food Process Engineering and Technology* (4th ed.). Academic Press.
- Bewley, J. D., & Black, M.** (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination* (2nd ed.). Plenum Press, New York.
- Bhandari, B., et al.** (2013). *Handbook of food powders* (1st ed.). Woodhead Publishing.
- Caparino, O. A., et al.** (2012). Effect of drying methods on mango powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135–148.
- Díaz-de-Cerio, E., et al.** (2016). Health effects of *Psidium guajava* L. leaves: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 898.
- Early Brawd.** (2023). How to make energy balls stick together. <https://earlybrawd.com/blogs/journal>
- El-Sharawy, R., et al.** (2016). Nutritional properties of guava seed powder in biscuits. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 6(2), 366–375.

- FAO.** (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
- Farhan, I. I.** (2024). Physicochemical characteristics of pink-fleshed guava. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 12(3), 1-6.
- Fontana, A. J.** (2000). Water activity and food safety. *IFT Symposium on Food Safety*.
- Food and Nutrition Journal.** (2021). Formulation and quality evaluation of antioxidant-rich bars. *Food & Nutrition Journal*, 8(3).
- Fu, L., et al.** (2016). Industrial processing effects on guava paste. *Revista Brasileira de Fruticultura*.
- García, E., et al.** (2023). Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* leaf extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 312, 116426.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G.** (2008). Maltodextrin addition during drying. *Drying Technology*, 26(6), 714–725.
- Gutierrez, R. M. P., Mitchell, S., & Solis, R. V.** (2008). *Psidium guajava*: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 117(1), 1–27.
- Gutierrez-Montiel, D., et al.** (2023). *Psidium guajava* L. as antimicrobial agent. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1108306.
- Hernández-Acosta, E., et al.** (2011). Guava seed polyphenol content and activity. *Food Chemistry*, 129(4), 1264–1270.
- Hussain, S. Z., et al.** (2021). Morphology and health benefits of guava. In *Fruits of the Himalayas*, 257–267.
- Iqbal, S., & Bhanger, M. I.** (2006). Seasonal effect on antioxidant activity of *Moringa oleifera*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 544–551.
- Irshad, Z., et al.** (2020). *Guava*. In *Medicinal Plants of South Asia*, Elsevier.
- Jiménez-Escrig, A., et al.** (2001). Guava fruit as a source of antioxidant dietary fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5489–5493.
- Kamath, V. G., & Rajini, P. S.** (2008). Antioxidant efficacy of guava peel. *Food Chemistry*, 107(2), 707–713.
- Mahawar, M. K., et al.** (2018). Optimization of aonla-guava fruit bar. *Nutrition & Food Science*, 48(4), 621–630.
- Mahattanatawee, K., et al.** (2006). Antioxidant activity of Florida fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7355–7363.
- Martínez, R., et al.** (2012). Antioxidant properties of tropical fruit fibres. *Food Chemistry*, 135(3), 1520-1526.
- McCook-Russell, L. P., et al.** (2012). Nutraceutical comparison of guava fruits. *Food Chemistry*, 134(2), 1069–1073.
- Morton, J. F.** (1987). *Fruits of warm climates*. Miami, FL: Julia F. Morton.
- Nguyen, L. T., Cloutier, M., & Ratti, C.** (2019). Drying of food materials. *Drying Technology*, 37(2), 223–245.
- Nugraheni, R. A., et al.** (2021). Guava gummy candies. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 672, 012026.
- Otuoma, J., et al.** (2020). Ecological manipulation of *Psidium guajava*. *Journal of Ecological Engineering*, 21(7), 210–221. <https://doi.org/10.12911/22998993/125586>

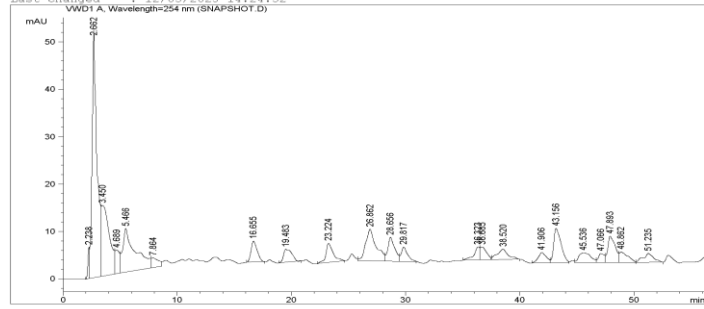
- PlantYou.** (2024). *Vegan energy balls recipe (no-bake)*. <https://plantyou.com>
- Pawar, S., et al.** (2024). Nutritional composition of guava leaves powder. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8, 434–437.
- Rey, J. Y.** (1998). Étude architecturale du goyavier. *Fruits*, 53, 191–197.
- Sato, A. Y., et al.** (2010). Vitamin C content in Brazilian guavas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 13(3), 211–215.
- Shanthirasekaram, K., et al.** (2021). Phytochemicals in Sri Lankan wild guava. *Journal of Science*, 12(2).
- SNICS** (2017). *Guayaba – Psidium guajava L.* <https://www.gob.mx/snics/...>
- Thaipong, K., et al.** (2006). Antioxidant activity assays from guava extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675.
- Ugbogu, E. A., et al.** (2022). *Psidium guajava L.*: phytochemistry and pharmacology. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(5), 103759.
- USDA.** (2019). *Guavas, common, raw (FDC ID: 168137)*. FoodData Central. <https://fdc.nal.usda.gov>
- Vanjarapu, H. D., et al.** (2024). Phytochemical effects of *Psidium guajava*. *Nanotechnology*, 17(7), 7.
- Verma, R., & Bisen, B. P.** (2020). Sensory evaluation of guava and papaya fruit bar. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1052–1056.
- WHO.** (2020). *Healthy diet: Fact sheet No. 394*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Annexes

1- Teneur en polyphénols totaux



Injection Date : 16-Mar-25, 11:23:27
Sample Name : couleur claire Location : -
Acq. Operator :
Acq. Method : POLYPH.M
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\POLYPH.M
Last changed : 12/03/2025 14:24:32



Area Percent Report

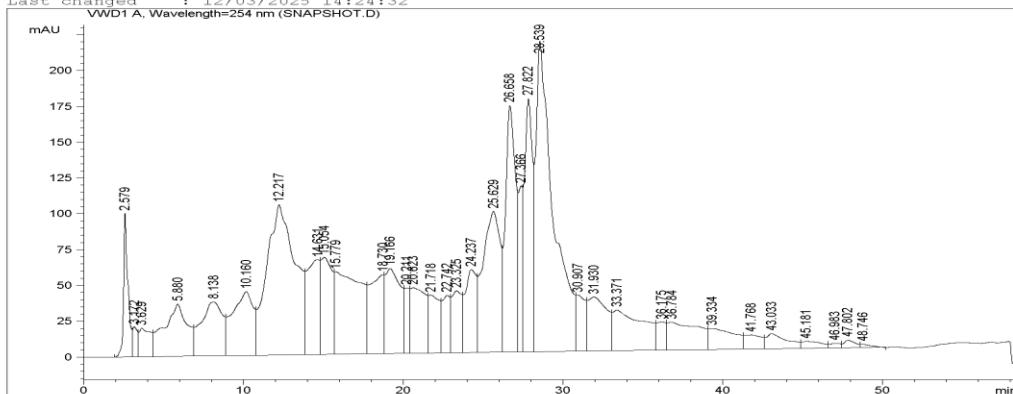
Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: WVD1 A, Wavelength=254 nm

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU	Height [mAU]	Area %
1	2.238	PV	0.1375	59.55603	6.58768	0.9843
2	2.662	VV	0.3755	1565.97791	52.30171	25.8819
3	3.450	VV	0.7071	716.87097	14.93369	11.8482
4	4.689	VV	0.3812	139.12051	5.00280	2.2993
5	5.466	VB	0.9674	709.13898	9.24835	11.7204
6	7.864	BV	0.5245	85.47984	2.09305	1.4128
7	16.655	BB	0.5389	166.34898	4.42653	2.7494
8	19.483	BB	0.6638	137.68730	2.74491	2.2756
9	23.224	BB	0.6102	182.84445	4.08027	3.0220
10	26.862	VV	0.8541	433.96304	6.73059	7.1724
11	28.656	VV	0.5890	217.49313	5.07325	3.5946
12	29.817	VB	0.5387	119.22201	3.07167	1.9705
13	36.323	BV	0.4920	98.71001	2.77633	1.6314
14	36.685	VB	0.5103	105.43612	2.72974	1.7426
15	38.520	BB	0.8364	146.76715	2.21705	2.4257
16	41.906	BV	0.6686	111.17347	2.23710	1.8374
17	43.156	VB	0.6187	329.12836	7.32641	5.4397
18	45.536	BV	0.8873	155.36247	2.12659	2.5678
19	47.066	VV	0.4887	70.49547	1.93015	1.1651

Injection Date : 16-Mar-25, 12:27:37
Sample Name : couleur fonce
Acq. Operator :
Acq. Method : POLYPH.M
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\POLYPH.M
Last changed : 12/03/2025 14:24:32

Location : -



Area Percent Report

Sorted By : Signal
Multiplier : 1.0000
Dilution : 1.0000
Use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs

Signal 1: VWD1 A, Wavelength=254 nm

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area mAU	Area %	Height [mAU]	Area %
1	2.579	BV	0.2561	1922.90820	100.11987	1.6518	
2	3.172	VV	0.3001	459.22690	21.01124	0.3945	
3	3.629	VV	0.6260	992.83411	20.09330	0.8529	
4	5.880	VV	1.2678	3689.86108	36.60368	3.1697	
5	8.138	VV	1.2357	3587.56372	37.64302	3.0818	
6	10.160	VV	1.1753	4006.76685	44.64152	3.4419	
7	12.217	VV	1.5334	1.29590e4	104.86899	11.1321	
8	14.631	VV	0.6822	3653.15869	66.14869	3.1381	
9	15.054	VV	0.6656	3350.55688	67.94077	2.8782	
10	15.779	VV	1.3924	6533.77295	57.70092	5.6127	
11	18.730	VV	0.8018	3334.60449	55.24372	2.8645	
12	19.166	VV	0.8888	3938.85059	59.49800	3.3836	
13	20.211	VV	0.3003	983.42017	45.74213	0.8448	
14	20.623	VV	0.8323	3025.85205	45.86411	2.5993	
15	21.718	VV	0.6174	1860.21777	40.50375	1.5980	
16	22.742	VV	0.4777	1382.02856	40.25825	1.1872	
17	23.325	VV	0.5897	1863.02454	43.39209	1.6004	
18	24.237	VV	0.6938	2858.65649	58.06652	2.4556	
19	25.629	VV	0.9813	7295.88574	98.42334	6.2673	

2- Teneur en flavonoïdes

Echantillon	Teneur en flavonoïdes (mg EQ/g ES)
Graines	65,1
Feuilles	95,31
Pulpe	34,2

3- Activité anti-oxydante

A- Feuilles

Concentration µg/mL	% d'inhibition
10	63,01%
25	77,19%
30	64,44%
50	72,73%
100	73,41%

B- Pulpe

Concentration µg/mL	% d'inhibition
10	75%
25	76,95%
100	82,46%

C- Acide ascorbique

Concentration µg/mL	% d'inhibition
10	35%
20	42%
40	60%
60	71%
80	85%
100	91%

Fiche de dégustation sensorielle Bonbons

Produit dégusté :

☐ Bonbon acidulé à la purée de goyave

Âge du participant : _____

Sexe : ☐ Femme ☐ Homme

Date : ____/ ____/ 2025

Instructions :

Merci de déguster attentivement le produit présenté, puis d'évaluer chaque critère sensoriel en cochant la case correspondant à votre appréciation selon l'échelle suivante :

1 = Très mauvais | 2 = Mauvais | 3 = Passable | 4 = Bon | 5 = Excellent

A. Pour les bonbons acidulés à la purée de goyave

Critères sensoriels	1	2	3	4	5
Goût	☐	☐	☐	☐	☐
Odeur	☐	☐	☐	☐	☐
Texture	☐	☐	☐	☐	☐
Arôme fruité	☐	☐	☐	☐	☐
Acidité	☐	☐	☐	☐	☐
Appréciation globale	☐	☐	☐	☐	☐

Remarques ou commentaires du dégustateur (facultatif) :

Fiche de dégustation sensorielle Barre énergétique

Produit dégusté :

☐ Boule énergétique

Âge du participant : _____

Sexe : ☐ Femme ☐ Homme

Date : ____/ ____/ 2025

Instructions :

Merci de déguster attentivement le produit présenté, puis d'évaluer chaque critère sensoriel en cochant la case correspondant à votre appréciation selon l'échelle suivante :

1 = Très mauvais | 2 = Mauvais | 3 = Passable | 4 = Bon | 5 = Excellent

A. Pour les boules énergétiques (B1)

Critères sensoriels	1	2	3	4	5
Goût	☐	☐	☐	☐	☐
Odeur	☐	☐	☐	☐	☐
Texture	☐	☐	☐	☐	☐
Mastication	☐	☐	☐	☐	☐
Goût fruité	☐	☐	☐	☐	☐
Appréciation globale	☐	☐	☐	☐	☐

B. Pour les boules énergétiques (B2)

Critères sensoriels	1	2	3	4	5
Goût	☐	☐	☐	☐	☐
Odeur	☐	☐	☐	☐	☐
Texture	☐	☐	☐	☐	☐
Mastication	☐	☐	☐	☐	☐
Goût fruité	☐	☐	☐	☐	☐
Appréciation globale	☐	☐	☐	☐	☐

Remarques ou commentaires du dégustateur (facultatif) :

❖ Matériel analytique

Matériel non biologique	Photo
Micropipette	 Two micropipettes are hanging on a white wall. The one on the left is a blue and white PIPSA micropipette. The one on the right is a white and grey micropipette.
Spectrophotomètre UV visible	 A UV visible spectrophotometer is shown on a white surface. It has a digital display showing '150.0' and a blue cuvette is placed in the sample holder.
Plaque chauffante agitatrice	 A magnetic stirrer/heater is shown on a white surface. A beaker containing a green liquid is placed on the stirrer's platform. The device has a digital display and two control knobs.
Lyophilisateur	 A lyophilizer is shown on a white surface. It consists of a large, white, rectangular unit with a digital display and a control panel. A sample container is placed inside the unit. A yellow hose connects the unit to a vacuum pump on the right.

Balance de précision	
Vortex	
Déshydrateur	
Étuve	

Papier filtre



Four a moufle



Ultrasons



Broyeur électrique



Balance de precision



Éprouvette gradué



Becher



République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en

Spécialité : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème :

**Valorisation des sous-produits du *Psidium guajava* (goyavier) :
Extraction, caractérisation et développement de produits
innovants dans le secteur agroalimentaire.**

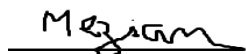
Réalisé par
M^{lle} ELAIDAT Chaima

Devant le jury composé de :

Dr. LOUNI S.	MAA
Dr. REBZANI F.	MCB
Dr. MEZIANE Z.	MCB

Président
Eaminatrice
Promotrice

Université de Blida 1
Université de Blida 1
Université de Blida 1



Année universitaire 2024/202