

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE
& BIOCHIMIE
N°:



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET
DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES
OPTION : NUTRITION ET SCIENCES
DES ALIMENTS

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

CHOUIHA Fatima Zohra
AMROUNE Kahina

Intitulé

**Caractérisation physico-chimique de bonbon gélifié préparé
à base de sirop de fruits de *Ziziphus lotus* (L.) Lam.**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. HENDEL Noui	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. HAMAOUI Yasmina	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. DEHIMI Khadidja	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, nous adressons nos louanges et nos remerciements à Allah Tout-Puissant, pour la force, la patience et la capacité qu'Il nous a accordées afin de mener à bien ce travail de fin d'études.

*Nous exprimons notre profonde gratitude à Madame **Dr. HAMAOUI Yasmina**, pour avoir accepté de nous encadrer, pour ses conseils précieux, sa disponibilité ainsi que pour les ressources qu'elle nous a généreusement offertes tout au long de ce projet.*

*Nous remercions également Monsieur **Pr. HENDEL Noui**, pour l'honneur qu'il nous a fait en présidant le jury et en évaluant notre travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à Madame **Dr. DEHIMI Khadidja**, pour avoir examiné ce mémoire.*

Nous tenons également à remercier l'ensemble de nos enseignants, qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours universitaire, et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué, soutenu ou encouragé la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous.

Zahra & Kahina

Dédicace

*Louange à Dieu, source de sagesse et de patience,
qui m'a donné la force de mener ce chemin jusqu'au bout.*

*À mes chers parents,
pour leur amour inconditionnel
et leur foi en moi, même lorsque le doute m'envahissait.
Ce travail est le fruit de vos prières et de votre persévérance.*

*À mes frères et à ma sœur,
pour leur soutien moral et leurs encouragements constants.*

*À mes amies de cœur,
pour leur présence et leur motivation.*

*Et enfin, à moi-même,
pour ne jamais avoir abandonné malgré les difficultés.
Ce mémoire est une étape, un hommage, et la promesse d'aller
toujours plus loin*

Kahina

Dédicace

*Avant toute chose, je rends grâce à **Allah**, Le Très-Haut, pour Ses innombrables bienfaits, pour la force, la patience et l'énergie qu'Il m'a accordées tout au long de ce parcours.*

Je tiens également à remercier moi-même, pour avoir persévéré, résisté et combattu sans relâche afin d'arriver jusqu'ici, malgré les obstacles.

*Ma profonde gratitude va à ma mère bien-aimée, **Habitouche Khoukha**, et à mon père **Mohamed**, pour leur soutien inconditionnel, leur amour et leur présence constante à mes côtés.*

*Je dédie également cette réalisation à la mémoire de mon oncle **Bouchouicha El Hadi** – que Dieu ait son âme et l'accueille dans Son vaste paradis. Il a été pour moi un soutien précieux tout au long de mon cheminement, un fervent défenseur de la réussite et du savoir.*

*Mes remerciements sincères vont aussi à mes frères **Ali** et **Fares**, à toute ma famille, à ma précieuse amie **Kaltoum**, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont encouragée, soutenue ou simplement cru en moi.*

Zahra

Résumé

Dans le cadre de la valorisation des ressources locales, cette étude s'est intéressée à la formulation de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.). Six formulations ont été préparées à base de sirop de fruit du jujubier, de sirop de glucose, de l'acide citrique et d'un gélifiant. Les échantillons ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques (pH), acidité titrable, TPC, TFC, TTC, sucres solubles, activité antioxydante, TDS, activité de l'eau, et la couleur (paramètres L^* , a^* , b^* , et ΔE^*). Les six formulations de bonbons au sirop de fruit de jujubier ont présenté des variations marquées : pH de 5,142 (F2) à 5,778 (F6), acidité de 0,36 % (F3) à 0,48 % (F5), polyphénols jusqu'à 0,138 mg Eq. AG/g (F2), flavonoïdes de 0,095 (F4) à 1,542 (F3) $\mu\text{g Eq. Q/g}$, tannins jusqu'à 25,33 $\mu\text{g Eq. AT/g}$ (F5), et activité antioxydante de 46,78 % (F3) à 83,74 % (F4), selon les proportions de sirop de jujubier.

Mots clés : Valorisation, ressources locales, jujubier, bonbons gélifiés.

Abstract

As part of the valorization of local resources, this study focused on the formulation of jelly candy based on jujube fruit syrup (*Ziziphus lotus* (L.) Lam.). Six formulations were prepared based on jujube fruit syrup, glucose syrup, citric acid and a gelling agent. Samples were analyzed for physico-chemistry (pH), titratable acidity, TPC, TFC, TTC, soluble sugars, antioxidant activity, TDS, water activity, and color (parameters L^* , a^* , b^* , and ΔE^*). The six jujube fruit syrup candy formulations showed marked variations : pH from 5.142 (F2) to 5.778 (F6), acidity from 0.36% (F3) to 0.48% (F5), polyphenols up to 0.138 mg Eq. GA/g (F2), flavonoids from 0.095 (F4) to 1.542 (F3) $\mu\text{g Eq. Q/g}$, tannins up to 25.33 $\mu\text{g Eq. AT/g}$ (F5), and antioxidant activity from 46.78% (F3) to 83.74% (F4), depending on jujube syrup proportions.

Key words: Valorization, local resources, jujube fruit, jelly candy.

ملخص

كجزء من تهمين الموارد المحلية، تناولت هذه الدراسة تركيب حلويات الهلام المصنعة من شراب فاكهة العناب (زيزيفوس لوتس (L.) لام). تم تحضير ست تركيبات تعتمد على شراب فاكهة العناب وشراب الجلوكوز وحمض الستريك وعامل التبلور. وخضعت العينات للتحليلات الفيزيائية الكيميائية (الأس الهيدروجيني، والحموضة القابلة للمعايرة، و TPC، و TFC، و TTC، والسكريات القابلة للذوبان، والنشاط المضاد للأكسدة، والمواد الصلبة القابلة للمعايرة، والنشاط المائي، واللون (المعلمات L^* ، و A^* ، و B^* ، و ΔE^*). أظهرت تركيبات حلوى شراب فاكهة العناب الست اختلافات ملحوظة: الأس الهيدروجيني من 5.142 (F2) إلى 5.778 (F6)، والحموضة من 0.36 % (F3) إلى 0.48 % (F5)، والبوليفينول حتى 0.138 مجم مكافئ/غ (F2)، ومركبات الفلافونويد من 0.095 (F4) إلى 1.542 (F3) ميكروغرام مكافئ/س/غرام، والعفص حتى 25.33 ميكروغرام مكافئ/AT غ (F5)، ونشاط مضاد للأكسدة من 46.78 % (F3) إلى 83.74 % (F4)، وذلك حسب نسب شراب العناب.

الكلمات المفتاحية: تهمين، والموارد المحلية، والعناب، والحلويات الهلامية.

Liste des figures

Figure 1 : Répartition géographique de jujubier “ <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam” en Algérie.....	2
Figure 2 : La description morphologique de <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.....	3
Figure 3 : Diagramme représentant les étapes de préparation de sirop de fruit du jujubier.....	8
Figure 4 : Diagramme regroupant les étapes de préparation de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier.....	11

Liste des tableaux

Tableau 1 : composition chimique de fruit de <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.....	4
Tableau 2 : Les quantités des ingrédients entrant dans la formulation de bonbons gélifié au sirop de fruit du jujubier.....	10
Tableau 3 : les résultats des analyses physico-chimiques des paramètres de potentiel d'hydrogène, de l'acidité titrable, et de la teneur en eau des formulations préparées.....	17
Tableau 4 : les résultats de dosage des polyphénols totaux (TPC), des flavonoïdes totaux (TFC), des tannins totaux (TTC), de l'activité antioxydante (DPPH), et des sucres solubles des formulations des bonbons gélifiés préparées.....	18
Tableau 5 : les résultats de la colorimétrie et du taux de TDS et activité d'eau des six formulations préparées.....	20

Liste des abréviations

ANOVA : Analyses de la variance

°C : degré Celsius

% : pourcentage

Eq : Equation

F : Formulation

g : gramme.

mg/l: milligramme par litre

mg : milligramme.

µg : microgramme.

min : Minute

ml : millilitre.

M : molarité

pH : potentiel d'Hydrogène

AG/g : Acide gallique par gramme

Q/g : Quercétine par gramme

AT/g : Acide tannique par gramme

G/g : glucose par gramme

TFC : Total Flavonoïdes content

TPC : Total Phenolic Content.

TTC : Total Tannins Content.

SS : sucres solubles

V : Volume

m : la masse

L'indice "a*" : degré de saturation de la couleur rouge

L'indice "L*" : indice de clarté

L'indice "b*" : degré de saturation de la couleur jaune

L'indice "ΔE*" : indice de l'écart de couleur.

TDS : les solides totaux dissous

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	2
I.1. Le jujubier ‘‘ <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam’’.....	2
I.1.1. Généralité sur le jujubier ‘‘ <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam’’.....	2
I.1.2. Les propriétés et le potentiel d’utilisation de fruit de <i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.....	3
I.2. Les bonbons gélifiés.....	5
I.2.1. Généralités sur bonbon gélifiés.....	5
I.2.2. Les bonbons gélifiés à base de fruits	6
I.2.3. Paramètres technologiques influençant la qualité organoleptique.....	6
Chapitre II : Matériels et méthodes	8
II.1. La préparation des bonbons à base de sirop de fruit du jujubier.....	8
II.1.1. Préparation du sirop de fruit du jujubier.....	8
II.1.2. Formulation de bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier.....	9
II.2. Analyses physico-chimiques.....	12
II.2.1. Détermination du potentiel d’hydrogène (pH).....	12
II.2.2. Mesure de l’acidité titrable.....	12
II.2.3. Teneur en eau.....	12
II.2.4. Préparation de l’extrait.....	13
II.2.5. Dosage des polyphénols totaux (TPC).....	13
II.2.6. Dosage des flavonoïdes totaux (TFC).....	13
II.2.7. Dosage des tannins.....	14
II.2.8. Évaluation de l’activité antioxydante	14
II.2.9. Dosage des sucres solubles.....	15

II.2.10. Colorimétrie.....	15
II.2.11. Taux de solides dissous totaux (TDS).....	15
II.2.12. Activité de l'eau.....	16
Chapitre III : Résultats et discussion	17
III.1. Résultats de l'analyse physico-chimique.....	17
III.1.1. Potentiel d'hydrogène.....	17
III.1.2. Acidité titrable.....	17
III.1.3. La teneur en eau.....	18
III.1.4. La teneur en polyphénols totaux (TPC).....	19
III.1.5. La teneur en flavonoïdes totaux (TFC).....	19
III.1.6. La teneur en tannins totaux (TTC).....	19
III.1.7. L'activité antioxydante (DPPH).....	19
III.1.8. La teneur en sucres solubles.....	20
III.1.9. La colorimétrie.....	21
III.1.10. Taux de solides dissous totaux (TDS).....	21
III.1.11. L'activité de l'eau.....	22
Conclusion	23
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction

Introduction

La valorisation des produits locaux constitue une stratégie innovante et durable pour le développement agroalimentaire, notamment dans les régions à forte biodiversité (**Younsi & Benmebarek, 2022**). Dans cette vision, les fruits locaux riches en nutriments sont particulièrement intéressants pour la création de produits alimentaires de haute valeur nutritionnelle. Le jujubier, appelé localement “Sedra” et connu scientifiquement sous le nom *Ziziphus lotus* (L.) Lam. Il est particulièrement présent dans la région méditerranéenne, notamment en Afrique du Nord (**Bencheikh et al., 2023**).

Le fruit de “*Ziziphus lotus* (L.) Lam.” se caractérise par une riche composition de molécules bioactives tels que les polyphénols et les flavonoïdes, ce qui lui confère de fortes propriétés antioxydantes (**Bencheikh et al., 2021**), ce fruit contient également des quantités importantes de sucres, de fibres alimentaires, de vitamines et de minéraux, ce qui en fait un ingrédient alimentaire, gustativement, très apprécié (**Abdeddaim et al., 2014**).

Parallèlement, le marché de la confiserie connaît une tendance de l’incorporation d’ingrédients naturels dans de nouvelles formulations, tel que les bonbons gélifèreux (**Bai et al., 2024**), ces bonbons peuvent être un moyen innovant pour intégrer des composés bioactifs d’une façon attrayante et agréable, en particulier pour les enfants, qui sont la cible principale de ce genre de bonbons (**Palachum et al., 2023**).

Ce travail est porté sur la formulation et le développement de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier “*Ziziphus lotus* (L.) Lam.”, six formulations, dont la composition varie selon les proportions des ingrédients utilisés, ont été préparées dans une démarche visant à valoriser les produits locaux, et introduisant de nouvelles saveurs tout en réduisant la teneur en sucre.

Cette étude comprend une caractérisation physico-chimiques approfondies, l’évaluation des teneurs en polyphénols, en flavonoïdes, en tannins, en sucres solubles ainsi que l’évaluation de l’activité antioxydante de ses bonbons gélifiés.

Le manuscrit de ce travail est structuré en trois chapitres principaux, le premier chapitre est consacré à un état d’art porté sur le jujubier “*Ziziphus lotus* (L.) Lam.” et sur les bonbons gélifiés. Le deuxième chapitre décrit le matériel utilisé ainsi que les méthodes expérimentales mises en œuvre. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus, leur analyse statistiques, suivis d’une conclusion qui synthétise les points clés de ce travail.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Le jujubier “*Ziziphus lotus* (L.) Lam”

I.1.1. Généralité sur le jujubier “*Ziziphus lotus* (L.) Lam”

La famille des *Rhamnaceae* compte environ 55 genres et 900 espèces. *Rhamnus*, *Ceanothus* et *Ziziphus* sont les principaux genres des *Rhamnaceae*. Le genre *Ziziphus* compte environ 40 espèces d'arbres et d'arbustes (Houma et al., 2022).

Le jujubier est réparti dans les régions tropicales et subtropicales tels, l'Asie, l'Afrique, l'Amérique du nord, l'Amérique du Sud, l'Océanie et Europe, avec un centre de diversité en Asie (El Maaiden et al., 2019).

En Algérie, le jujubier est la plante la plus commune dans les milieux arides et semi-arides avec des saisons sèches et très longues (Houma et al., 2022), la répartition géographique du jujubier sauvage (Figure 1) montre qu'il est très répandu dans les régions arides du sud algérien, notamment à Tamanrasset, M'Sila, Aïn Oussera, Messaad et Taghit (Boudraa et al., 2010).

Le genre *Ziziphus* est représenté en Algérie par trois espèces principales : *Ziziphus spinachristi* (L.), *Ziziphus mauritiana* (L.), et *Ziziphus lotus* (L.) Lam (Widad et al., 2017), qu'est très abondant, localement nommé “*Sedra*” et le fruit connu sous le nom de “*Nbeg*” (Berkani et al., 2021).



Figure.1 : Répartition géographique de jujubier “*Ziziphus lotus* (L.) Lam” en Algérie (Guerzou et al., 2017).

La description morphologique de *Ziziphus lotus* (L.) Lam (**Figure 2**) montre qu'il s'agit d'un arbuste fruitier épineux poussant en touffes atteignant quelques mètres de diamètre et jusqu'à deux mètres de hauteur. Ses fruits, de type drupe à noyau soudé, ont la forme et la taille d'une olive ; ils passent du vert au rouge foncé à maturité, entre septembre et octobre (**Bencheikh et al., 2023**).

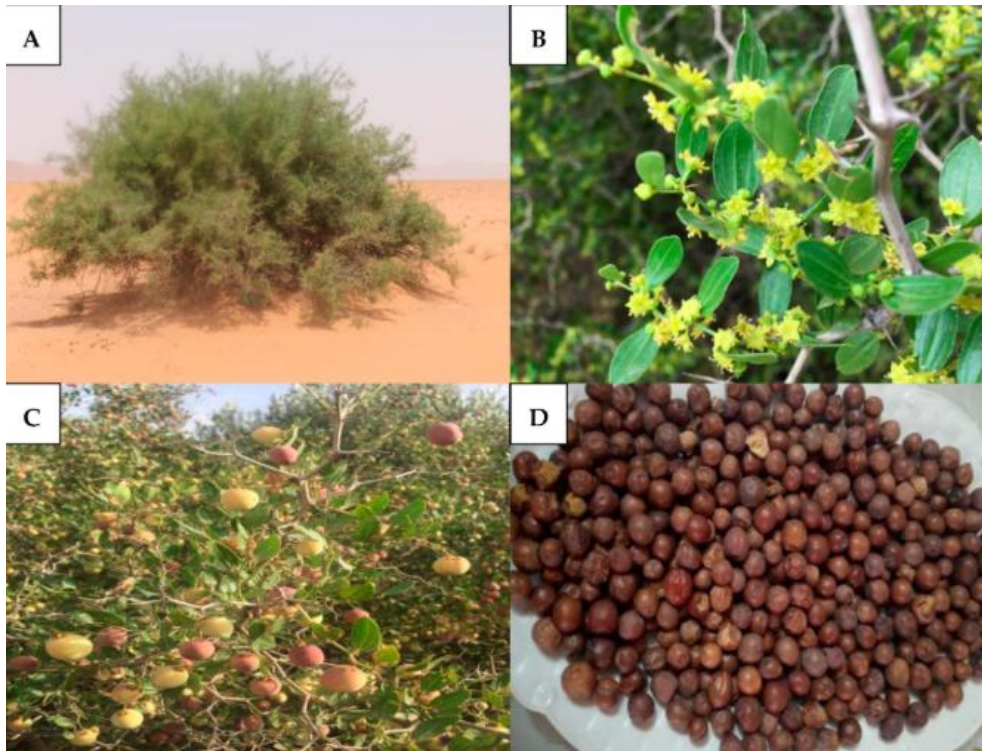


Figure 2 : (A) Vue d'ensemble de *Ziziphus lotus* (L.) Lam ; (B) Feuilles de *Ziziphus lotus* (L.) Lam au stade de la floraison. (C) Fruits de *Ziziphus lotus* (L.) Lam en phase de maturation. (D) Fruits matures de *Ziziphus lotus* (L.) Lam (**Bencheikh et al., 2023**).

Le fruit de *Ziziphus lotus* (L.) Lam d'Afrique du nord est délicieux, riche en minéraux, glucides, acides gras et protéines qui sont indispensables aux processus physico-chimiques nécessaires pour maintenir une bonne santé (**Saadoudi et al., 2017**).

I.1.2. Les propriétés et le potentiel d'utilisation de fruit de *Ziziphus lotus* (L.) Lam

Les études phytochimiques réalisées sur le fruit de *Ziziphus lotus* (L.) Lam. Ont permis de mettre en évidence une composition riche et variée. Le **tableau 1**, ci-dessous, présente en détail les principaux constituants chimiques du fruit de jujubier, incluant à la fois des métabolites primaires tels que les glucides, les protéines, les lipides et les minéraux, ainsi que des métabolites secondaires connus pour leurs effets bioactifs, tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les tannins.

Tableau 1 : composition chimique de fruit de *Ziziphus lotus* (L.) Lam

Composition	Teneur (mg/100g)	Référence
Lipides (en matière sèche)	6160 ± 0,22	(Najjaa et al., 2020)
Protides (en matière sèche)	6370± 0,33	
Glucides totaux (en matière sèche)	76480 ± 0,03	
Fructose	1389 ± 0,70	
Glucose	717± 0,41	
Saccharose	19427 ± 2,44	
Vitamine C	190,65 ± 1,48	(Simonin et al., 2011)
Vitamine A	71,63 ± 1,23	
Vitamine E	11,23 ± 1,36	
Phosphore	1062±1,70	(Abdeddaim et al., 2014)
Sodium	1145±1,20	
Potassium	13499±6,70	
Manganèse	217±0,09	
Magnésium	39791±18,81	
Fer	133±0,04	
Zinc	44±0,02	
Polyphénols	412,58 ± 11,12	
Acides phénoliques totaux	297–4078,2	(Abdoul-Azize, 2016)
Flavonoïdes	122	
Tannins	33	

Le jujubier est une plante polyvalente, utilisée sous diverses formes à des fins nutritionnelles, sanitaires et cosmétiques. Elle apparaît dans des produits alimentaires comme le miel, le thé, la confiture, le jus et les gâteaux **(Elaloui et al., 2014)**.

Le fruit de jujubier est consommé frais ou séché et peut être utilisé comme ingrédient culinaire dans diverses recettes. Il est riche en composés bioactifs, notamment en polyphénols, flavonoïdes, stéroïdes, tanins et vitamines **(Chouaibi et al., 2012)**, ainsi qu'en glucides, caroténoïdes, alcaloïdes, phénols et saponines **(Renault et al., 1997)**.

Le fruit de jujubier offre un large éventail de bienfaits pour la santé **(Hammi et al., 2015)** participant ainsi dans le soulagement des problèmes urinaires, **(Benammar et al., 2014)**, des infections cutanées, la fièvre, la diarrhée et l'insomnie **(Adzu et al., 2003)**. En phytothérapie, l'efficacité des composés bioactifs de la plante dépend de la partie de la plante utilisée (racine, feuille, tige, pulpe ou fruit) et de la méthode d'extraction exploitée **(Abdoul-Azize, 2016)**.

En vue de sa riche composition, le fruit de *Ziziphus lotus* (L.) Lam attire de plus en plus l'attention de secteur agroalimentaire. Plusieurs recherches récentes se sont intéressées à son utilisation dans des produits alimentaires transformés. Comme le cas, de l'ajout de la poudre de

fruit de jujubier dans la préparation des biscuits, qui a permis d'enrichir la valeur nutritionnelle de ce dernier sans affecter les propriétés sensorielles et texturales des biscuits préparés (**Saadoudi et al., 2017**). Le fruit de jujubier a aussi été utilisé dans la préparation des gâteaux de type "sponge cake", ayant de bons résultats concernant l'aspect textural et l'acceptation sensorielle de produit auprès des consommateurs (**Najjaa et al., 2020**).

Une préparation d'une pâte à tartiner en associant le fruit de jujubier avec du miel et de l'huile d'argan, a été également préparée. Ce mélange avait donné un produit à la fois nutritif et apprécié sur le plan sensoriel par l'ensemble des consommateurs l'ayant testé (**Ait Bouzid et al., 2024**). Ces différentes applications confirment l'intérêt croissant pour le fruit de jujubier comme ressource naturelle multifonctionnelle dans l'industrie alimentaire.

I.2. Les bonbons gélifiés

I.2.1. Généralités sur les bonbons gélifiés

Hans Riegel avait inventé le tout premier bonbon gélifié en 1920, en Allemagne. Ensuite des bonbons durs et incolores ont été les premiers à apparaître sur le marché. Quelques années plus tard, une gamme de bonbons mous, aromatisés aux fruits et à base de gélatine, en forme d'ours dansant ; ont été commercialisés, ainsi c'était le début de la marque Haribo (**Tiwari & Rastogi, 2024**), détenant le marché de confiseries jusqu'à aujourd'hui.

Le bonbon gélifié est l'un des produits de confiserie molle les plus populaires, également connu sous le nom de pastille, gomme, bonbon gélifié, gelée gélifiée, avec une valeur de marché mondiale de 21,40 milliards USD en 2022 (**Tarahi et al., 2023**).

Les gelées et les gommes sont particulièrement populaires dans le groupe d'âge des moins de 17 ans en raison de leur nature organique et moelleuse (**Teixeira-Lemos et al., 2021**), ils comprennent un large groupe de produits élaborés à partir d'un mélange de sirops de sucre et d'hydrocolloïdes (gélifiants), tels que la gélatine, l'amidon et la pectine. Leurs caractéristiques technologiques et organoleptiques varient en fonction de l'hydrocolloïde utilisé et de la teneur en eau finale de la confiserie (**de Avelar et al., 2020**).

Les bonbons gélifiés sont généralement produits à partir de saccharose et de sirop de glucose en grande quantité, associés à des gélifiants comme la gélatine, ainsi qu'à des additifs artificiels (arômes et colorants). Le mélange est chauffé, moulé, puis refroidi et séché par convection d'air dans des tunnels, pour obtenir rapidement une texture collante et sèche, avec une teneur en eau de 15 à 30 % (**Tarahi et al., 2023**).

I.2.2. Les bonbons gélifiés à base de fruits

Les bonbons gélifiés sont des produits à faible valeur nutritionnelle, car ils sont principalement composés d'agents gélifiants tels que la gélatine, la pectine, la gomme de guar, la gomme de xanthane, la carraghénine, l'amidon et leurs dérivés. La gélatine est le principal agent gélifiant de ce type de bonbons, tandis que le sucre constitue le deuxième composant principal (Charoen et al., 2015).

Des études antérieures ont montré que la demande des consommateurs s'est retournée des produits de confiserie traditionnels vers des produits plus sains ou à faible teneur en sucre (Periche et al., 2014).

De ce fait, des bonbons gélifiés appelés fonctionnels sont préparés à base de fruits et de légumes, de sous-produits ou d'extraits de plantes. Comme l'ajout de farine de marc de pomme et de betterave à une formulation de bonbon gélifié a permis d'augmenter significativement la teneur en fibres et en composés antioxydants, tout en réduisant l'indice glycémique du produit. Cette approche met en évidence le potentiel des sous-produits agricoles dans la création de desserts fonctionnels sains, avec des caractéristiques sensorielles jugées acceptables (Gorjanović et al., 2024).

Dans d'autres travaux publiés, des bonbons gélifiés ont été enrichis en vinaigre et en poudre de sirop de palmier '*nipah*'. Les résultats ont montré une forte teneur en composés phénoliques, ainsi qu'un faible indice glycémique (27,4). Le produit final présentait également des propriétés organoleptiques satisfaisantes, soulignant l'intérêt d'utiliser des ingrédients naturels issus du palmier '*nipah*' dans la conception de bonbons fonctionnels (Palachum et al., 2023).

De même, l'ajout d'un extrait de feuilles de '*goyave*', à raison de 10 à 13,3 ml pour 100 g de bonbon, a permis d'améliorer l'activité antioxydante de bonbon gélifié en question. Cette supplémentation n'a pas altéré la qualité sensorielle du produit, ce qui renforce l'intérêt d'utiliser des extraits végétaux riches en antioxydants comme ingrédients fonctionnels (Charoen et al., 2015).

I.2.3. Paramètres technologiques influençant la qualité organoleptique

La qualité organoleptique des bonbons gélifiés est le résultat complexe de l'interaction de plusieurs paramètres, principalement liés à la formulation et au procédé technologique (conditions de préparation), ci-dessous les principaux facteurs :

→ *L'agent gélifiant* : est l'ingrédient clé qui forme la structure tridimensionnelle du bonbon (gélatine, pectine, amidon). Le type et la concentration de l'agent gélifiant déterminent largement la fermeté, l'élasticité, la masticabilité et le point de fusion (**Rani et al., 2021**).

→ *Les sucres (sucrose et sirop de glucose)* : la composition en sucres est fondamentale pour la texture, la douceur, la prévention de la cristallisation et le contrôle de l'activité de l'eau (aw), pour contrôler la cristallisation du saccharose (sucre de table) et donner de l'élasticité et de la masticabilité (**Göztok et al., 2023**).

→ *Le pH* : a un impact majeur, en particulier pour les agents gélifiants ayant une sensibilité au pH comme le cas de la pectine qui nécessite un pH acide en présence de sucre. Un pH trop élevé ou trop bas empêchera la gélification ou le gel formé sera moins consistant.

La gélatine est l'agents gélifiants ayant moins de sensibilité au pH. Cependant, des pH très bas ou très élevés peuvent hydrolyser la gélatine et réduire la force du gel (**Duong et al., 2021**). Le pH influence également, la perception de l'acidité qui est un élément clé du profil sensoriel des bonbons gélifiées fruités, et ainsi la stabilité de certains colorants et arômes ajoutés est affectée (**Mohd Isa et al., 2024**).

→ *La température* : le contrôle précis de la température est un facteur déterminant de la qualité organoleptique des bonbons gélifiés, intervenant à plusieurs étapes critiques du processus de préparation, la température de cuisson influence directement la concentration des solides solubles suite à l'évaporation de l'eau, un paramètre important pour éviter un produit trop mou ou une dégradation des sucres suite à une surcuisson (**Hartel et al., 2018**). La température de l'écoulement impact la viscosité du mélange avant gélification, ainsi une température supérieure au point de fusion de la gélatine est primordiale.

La durée du refroidissement est essentielle à la formation du gel, un refroidissement lent à basse température optimise le développement du réseau de gel (**Székelyhidi et al., 2024**). Également, la température du séchage influencent la teneur en eau finale, impactant la fermeté et la stabilité du produit (**Tireki et al., 2023**), un stockage à température inappropriée peut altérer le bonbon gélifié, le ramollissant, le déformant ou favorisant la cristallisation du sucre.

→ *La teneur en eau (ou solides solubles)* : bien que contrôlée par la cuisson et le séchage, la teneur finale en eau est un paramètre fondamental qui impact directement la fermeté du bonbon. Pour une teneur en eau plus faible (et donc une concentration plus élevée en solides) donne un bonbon plus dur et plus résistant à la mastication. L'activité de l'eau (aw) est également cruciale pour la stabilité microbiologique et la migration de l'humidité (**Renumarn & Choosuk, 2020**)

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

Le présent travail a été réalisé au niveau du laboratoire pédagogique du département de biochimie et de microbiologie, faculté des sciences de l'université de M'sila. L'étude avait pour objectif développement d'un bonbon gélifié à base de fruit du jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Lam).

Ce produit est préparé à base de fruit du jujubier, ingrédient majoritaire de la formulation, de sirop de glucose, de la gélatine, de l'acide citrique et de l'eau, constituant ainsi l'ensemble des composants entrant dans la préparation de bonbon gélifié.

II.1. La préparation des bonbons à base de sirop de fruit du jujubier

II.1.1. Préparation du sirop de fruit du jujubier

Des fruits mûrs de *Ziziphus lotus* (L.) Lam ont été utilisées pour la préparation d'un sirop (**Figure 3**). Après un nettoyage soigneux à l'eau courante pour éliminer les impuretés, les fruits ont été trempé dans de l'eau potable pendant toute une nuit, afin de faciliter leur réhydratation. Après, les fruits de jujubier en entier ont été cuits à 70 °C durant 45 minutes pour permettre l'extraction des composés solubles. Une fois le mélange est refroidi, il a été filtré pour récupérer la phase liquide. Le filtrat a ensuite été concentré à 85 °C jusqu'à l'obtention d'un sirop visqueux (épais). Ce sirop a été conservé à 4 °C dans un récipient hermétique, à l'abri de l'air et de la lumière, jusqu'à sa prochaine utilisation. La **Figure 3**, ci-dessous, représente les étapes de la préparation du sirop de *Ziziphus lotus* (L.) Lam.

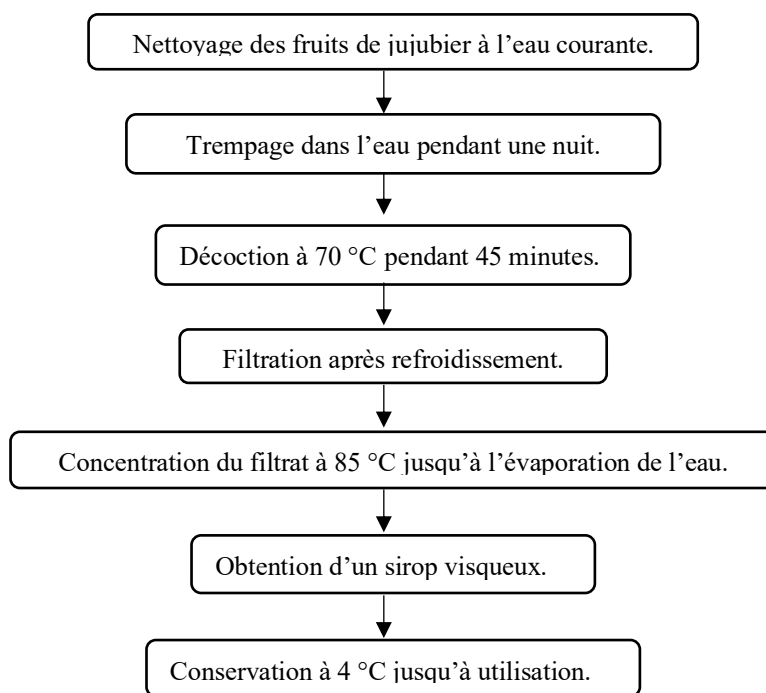








Figure 3 : Diagramme représentant les étapes de préparation de sirop de fruit du jujubier.

II.1.2. Formulation de bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier

Dans le cadre de l'élaboration de bonbons gélifiés, plusieurs formulations à base de sirop de fruit du jujubier (*Ziziphus lotus* (L.) Lam), ont été préparés. La composition des formulations varie selon les proportions de sirop de fruit du jujubier, de gélifiant, de l'acide citrique, de sirop de glucose et de l'eau ajouté. L'objectif était d'optimiser la texture, l'aspect sensoriel et la stabilité des bonbons préparés.

Le **Tableau 2**, ci-dessous, présente les quantités des différents ingrédients utilisés pour produire 300 g de bonbons gélifiés pour chaque formulation préparée.

Tableau 2 : Les quantités des ingrédients entrant dans la formulation d bonbons gélifié au sirop de fruit du jujubier, pour préparer 300 g de chacun des six produits.

Formulation	Sirop de fruit de jujubier (g)	Acid citrique (g)	Gélifiant (g)	Eau (g)	Sirop de glucose (g)	Photographie
F1	150	9	60	51	30	 F 1
F2	180	9	15	51	45	 F 2
F3	144	9	15	51	81	 F 3
F4	120	9	30	51	90	 F 4
F5	180	9	60	51	0	 F 5
F6	120	9	60	51	60	 F 6

La préparation des six formulations de bonbon gélifié à base de Sirop de fruit du jujubier a été réalisée en respectant des étapes successives représentées dans la **figure 4**, ci-dessous. La préparation de bonbons débute par une étape de cuisson durant laquelle le sirop de glucose, le Sirop de fruit du jujubier et l'acide citrique sont mélangés et placés en au-dessus d'un bain-marie. Le mélange est chauffé jusqu'à atteindre 100 °C, en remuant constamment, puis cette température a été maintenu pendant 15 minutes (**Renaldi, Junsara et al. 2022**).

Cette première étape est indispensable pour obtenir la concentration et la consistance souhaitée de sucre adéquate. Ensuite, le mélange est rapidement refroidi à 90 °C tout en continuant de remuer. Après avoir atteint 90 °C, la gélatine, préalablement hydratés dans de l'eau tiède, est incorporée. Le tout est mélangé pendant 5 minutes afin d'assurer une dissolution complète de gélifiant, tout en maintenant la température à 90 °C (**Atalar, Ozen et al. 2025**).

La clarification du mélange se fait suite à un refroidissement jusqu'à atteindre une température de 60 °C tout en remuant pendant 15 minutes pour éliminer les bulles d'air et l'écume, améliorant ainsi la transparence de la masse. La dernière étape consiste à verser la préparation dans des moules en silicone, puis réfrigérée à 4 °C pendant une heure et ainsi les bonbons vont prendre la forme finale (**Lam, Yusri and Sarbon 2025**). La **Figure 4**, ci-dessous, illustre les différentes étapes de préparation des bonbons gélifiés.

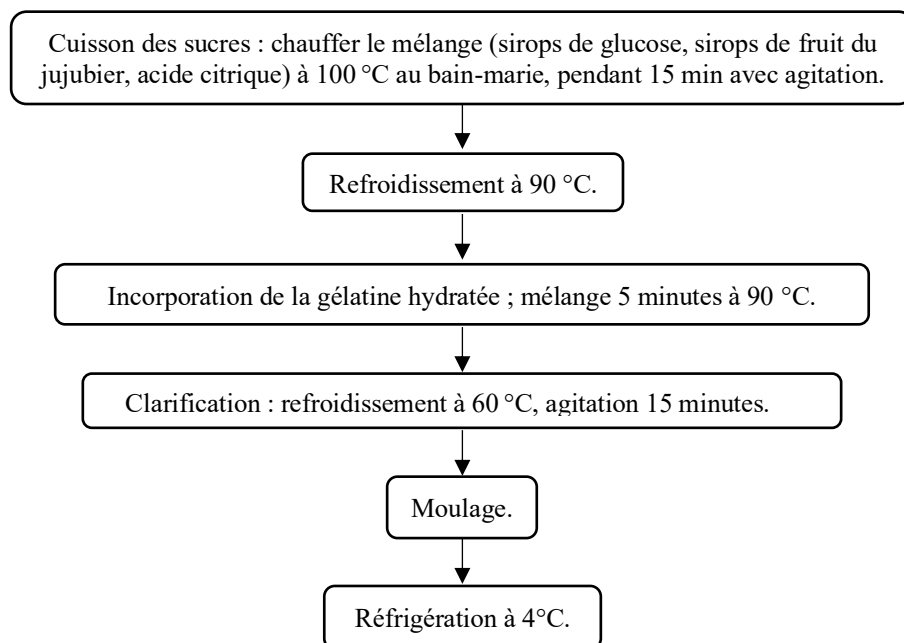


Figure 4 : Diagramme regroupant les étapes de préparation de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier.

II.2. Analyses physico-chimiques

La caractérisation physico-chimique a été réalisée pour les six formulations. L'ensemble des tests ont été effectués en trois essais.

II.2.1. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

Un gramme de bonbons gélifiés a été homogénéisé dans 19 ml d'eau distillée à 35°C pendant 30 minutes, puis refroidi dans un bain de glace (Bhat, Kamaruddin et al. 2011). Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre digital étalonné, en immergeant l'électrode dans la solution. L'expérience a été réalisée en trois essais pour chacune des formulations (six au total) afin d'assurer la reproductibilité des résultats.

II.2.2. Mesure de l'acidité titrable

Un gramme de bonbons gélifiés est homogénéisé dans 19 ml d'eau distillée à 35°C pendant 30 minutes, puis refroidi dans un bain de glace. L'échantillon est ensuite titré avec une solution de NaOH à 0,1 M en présence de phénolphthaléine (1 % dans l'éthanol à 95°) comme indicateur coloré. Dans un bécher, deux gouttes de phénolphthaléine sont ajoutées à l'échantillon de chaque formulation, puis la titration est réalisée en versant de la solution de NaOH à 0,1 M sous agitation continue, jusqu'un changement de couleur. L'acidité titrable est calculée selon l'équation (équation 1) suivante (Bhat, Kamaruddin et al. 2011) :

$$\text{Acidité.Titrable \%} = \frac{[V \times 0,1M \text{ NaOH} \times 0,067] \times 100}{m} \dots \dots \dots \text{(équation 1)}$$

Où :

V : volume de titration de NaOH à 0,1 M,

m : masse de l'échantillons.

II.2.3. Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau a été effectuée en pesant 2 g d'échantillon dans un creuset de porcelaine, placé dans une étuve à 105 ± 5 °C pendant 24 heures. Après séchage, le creuset est transféré dans un dessiccateur durant refroidissement, à l'abri de l'humidité, avant d'être pesé de nouveau.

La teneur en eau est calculée selon l'équation (équation 2) suivante (Lam, Yusri and Sarbon 2025) :

$$H(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \dots \dots \dots \text{(équation 2)}$$

Où :

$H(\%)$: taux d'humidité,

W1 : la masse de la capsule et de l'échantillon (avant séchage),
W2 : la masse de la capsule et de l'échantillon séché (après dessiccation).

II.2.4. Préparation de l'extrait

Un gramme de bonbon gélifié a été dissous dans 10 ml d'eau distillée, puis le mélange a été homogénéisé sous agitation pendant 30 minutes à 35 °C, avant d'être rapidement refroidi dans un bain de glace. Par la suite, la solution a été centrifugée à $6\,000 \times g$ pendant 30 minutes à 25 °C. Le surnageant obtenu a été soigneusement récupéré et conservé à 4 °C en vue de la réalisation des analyses suivantes : dosage des polyphénols totaux, dosage des flavonoïdes totaux, dosage des sucres solubles, dosage des tannins, ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante (**Lam, Yusri and Sarbon 2025**).

II.2.5. Dosage des polyphénols totaux (TPC)

La teneur en polyphénols totaux a été estimée selon la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, qui présente une teinte jaune. Lors de l'oxydation des composés phénoliques, ce réactif est réduit, formant un complexe bleu dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en polyphénols (**Li, Fan et al. 2007**).

Pour chaque formulation, 200 µl d'extrait ont été additionnés à 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu préalablement dilué dix fois. Après 5 minutes, 800 µl de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % ont été ajoutés. Le mélange a été agité vigoureusement, puis incubé à l'obscurité pendant 60 minutes à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un lecteur microplaque (Multiskan, high scan) (**Atalar, Ozen et al. 2025**).

Le dosage a été effectué en trois essais pour chaque formulation. Les concentrations en polyphénols totaux (TPC) ont été déterminées à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (**Annexe 1**) et les résultats exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme de bonbons gélifiés (mg Eq. AG/g).

II.2.6. Dosage des flavonoïdes totaux (TFC)

La teneur en flavonoïdes des extraits a été déterminée à l'aide de la méthode colorimétrique basée sur la formation d'un complexe stable entre les flavonoïdes et le chlorure d'aluminium, en présence de nitrate de sodium et d'hydroxyde de sodium. Cette méthode repose sur la complexation des groupements hydroxyles phénoliques par les ions aluminium, induisant une coloration mesurable (**Kim, Chun et al. 2003**).

Pour chaque formulation, 200 µl d'extrait ont été mélangés à 300 µl de nitrate de sodium (NaNO_3 à 5%). Le mélange a été laissé au repos pendant 6 minutes, puis 6000 µl de chlorure

d'aluminium (AlCl_3 à 10 %) ont été ajoutés. Après 5 minutes d'incubation, 2 ml de soude (NaOH à 1 M) et 2,1 ml d'eau distillée ont été incorporés. Le mélange final a été incubé pendant 15 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière. L'absorbance a été mesurée à 510 nm à l'aide d'un lecteur microplaque (Multiskan, high scan) (Lam, Yusri and Sarbon 2025).

Le dosage a été effectué en trois essais pour chaque formulation. Les concentrations en flavonoïdes totaux (TFC) ont été déterminées à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (Annexe 1), et les résultats ont été exprimés en μg équivalent de quercétine par gramme de bonbons gélifiés (μg Eq. Quercétine/g).

II.2.7. Dosage des tannins

La teneur en tannins est déterminée à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu, avec quelques modifications, en présence d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 %. Le mélange réactionnel est constitué de 100 μl de l'extrait, de 7,5 ml d'eau distillée, de 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu, et de 1 ml de la solution de Na_2CO_3 à 7,5 %. Le volume final est ajusté à 10 ml avec de l'eau distillée. Ensuite le mélange a été bien homogénéisé, et incubé à température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée à 725 nm à l'aide d'un lecteur microplaque (Multiskan, high scan) (Lam, Yusri and Sarbon 2025).

La concentration en tannins est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec de l'acide tannique (Annexe 1), et les résultats sont exprimés en μg équivalents d'acide tannique par gramme de bonbon gélifié (μg Eq. Acide tannique/g).

II.2.8. Évaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée à l'aide de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), un radical libre stable de couleur violette. La capacité antioxydante est déterminée par la réduction de ce radical en présence de donneurs d'hydrogènes (antioxydants), ce qui induit une décoloration progressive vers le jaune, proportionnelle à l'intensité de l'activité antioxydante (Haddoudi, Mellouk et al. 2014).

Pour chacune des formulations, 500 μl d'extrait ont été additionnés à 3,5 ml d'une solution de DPPH à 50 mg/l, préparée préalablement dans méthanol. Le mélange a été homogénéisé vigoureusement puis incubé à température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance de l'extrait et de contrôle ont été mesurés à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Multiskan, high scan) (Atalar, Ozen et al. 2025).

L'activité antioxydante à l'aide de radical DPPH est exprimée en pourcentage selon l'équation (équation 3) ci-dessous (Atalar, Ozen et al. 2025) :

II.2.12. Activité de l'eau

L'activité d'eau (a_w) a été mesurée à l'aide d'un appareil AQUALAB 4TE (Decagon Devices Inc.), à une température de 25 °C. Pour chaque formulation, environ 5 g de bonbon gélifié, préalablement découpés en petits morceaux, ont été placés dans des flacons hermétiquement fermés. Les échantillons ont ensuite été laissés à l'équilibre à température ambiante pendant au moins 30 minutes avant d'effectuer la lecture des valeurs d'activité d'eau.

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Résultats de l'analyse physico-chimique

Les résultats obtenus de l'analyse physico-chimique des six formulations de “bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujube” ont été valorisés statistiquement en appliquant l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur, suivi par le test de Tukey pour la comparaison des moyennes.

Le **Tableau 3**, ci-dessous, regroupe les résultats du pH, de l'acidité titrable, et de la teneur en eau des six formulations de “bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier”.

Tableau 3 : les résultats des analyses physico-chimiques des paramètres de potentiel d'hydrogène, de l'acidité titrable, et de la teneur en eau des formulations préparées.

Formulations	pH	Acidité titrable (%)	Teneur en eau (%)
F1	5,582 ± 0,002 ^b	0,420 ± 0,03 ^{ab}	15,904 ± 0,767 ^a
F2	5,142 ± 0,073 ^c	0,420 ± 0,01 ^{ab}	12,254 ± 3,565 ^{ab}
F3	5,215 ± 0,010 ^c	0,360 ± 0,01 ^b	12,060 ± 0,163 ^{ab}
F4	5,167 ± 0,007 ^c	0,420 ± 0,01 ^{ab}	9,592 ± 1,368 ^b
F5	5,521 ± 0,047 ^b	0,480 ± 0,01 ^a	15,914 ± 0,512 ^a
F6	5,778 ± 0,005 ^a	0,370 ± 0,03 ^b	11,698 ± 0,749 ^{ab}

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres (a, b et c) représentent les différences significatives entre les six produits préparés ($p < 0,05$) pour chaque paramètre.
pH : potentiel d'hydrogène.

III.1.1. Potentiel d'hydrogène

Les valeurs de potentiel d'hydrogène obtenues pour les formulations préparées de “bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier”, nommées de “F1” à “F6”, sont présentées dans **tableau 3**, ci-dessus. La formulation nommée “F6” avait enregistré un pH de 5,778 significativement élevée on comparaison avec le autres formulations préparées ($p < 0,05$). La formulation nommée “F2” avait enregistré la plus faible valeur de pH, qu'est de 5,142.

III.1.2. Acidité titrable

L'acidité titrable permet d'évaluer la conservation, la saveur acide, et l'équilibre de la formulation (**Mohd Isa et al., 2024**).

Les résultats obtenus pour l'acidité titrable (**tableau 3**), ont montré une différence significative ($p < 0,05$) entre la formulation “F5”, ayant enregistrée une acidité titrable plus élevée de 0,48%, et la formulation nommée “F3”, ayant enregistrée une acidité titrable plus faible de 0,36 %.

III.1.3. La teneur en eau

Les résultats de la teneur en eau regroupés dans le **tableau 3**, ont montré que la teneur en eau la plus élevée a été enregistré pour la formulation nommée ‘‘F5’’ ayant enregistré une teneur en eau élevée de 15,91%. La formulation nommée ‘‘F4’’ avait enregistré une faible teneur en eau (9,59%), significativement différente en la comparant à celle de la formulation ‘‘F5’’ et ‘‘F1’’ respectivement ($p < 0,05$).

Le **Tableau 4**, ci-dessous, regroupe les résultats du La teneur en polyphénols totaux, la teneur en flavonoïdes totaux, la teneur en tannins, l’activité antioxydante (DPPH) ainsi que sucres solubles des six formulations de ‘‘bonbon gélifiée à base de sirop de fruit du jujubier’’.

Tableau 4 : les résultats de dosage des polyphénols totaux (TPC), des flavonoïdes totaux (TFC), des tannins totaux (TTC), de l’activité antioxydante (DPPH), et des sucres solubles des formulations des bonbons gélifiés préparées.

	TPC (mg Eq. AG/g)	TFC (μ g Eq. Q/g)	TTC (μ g Eq. AT/g)	Activité antioxydante (%)	SS (mg Eq. G/g)
F1	0,089 \pm 0,001 ^c	1,351 \pm 0,674 ^a	9,369 \pm 1,889 ^c	66,930 \pm 1,855 ^{bc}	0,877 \pm 0,051 ^d
F2	0,138 \pm 0,012 ^a	1,424 \pm 0,303 ^a	13,381 \pm 0,451 ^b	83,608 \pm 8,551 ^a	1,470 \pm 0,118 ^c
F3	0,130 \pm 0,005 ^a	1,542 \pm 0,440 ^a	14,133 \pm 1,324 ^b	46,784 \pm 3,468 ^d	2,060 \pm 0,254 ^b
F4	0,076 \pm 0,005 ^c	0,095 \pm 0,014 ^b	16,090 \pm 1,552 ^b	83,749 \pm 2,027 ^a	2,498 \pm 0,147 ^a
F5	0,112 \pm 0,000 ^b	0,252 \pm 0,017 ^b	25,333 \pm 1,565 ^a	70,205 \pm 3,605 ^b	0,582 \pm 0,033 ^d
F6	0,079 \pm 0,001 ^c	0,123 \pm 0,011 ^b	13,961 \pm 1,159 ^b	57,178 \pm 1,471 ^{cd}	1,817 \pm 0,048 ^{bc}

Les résultats sont rapportés en moyenne \pm écart type, dont les lettres (a, b, c, d) représentent les différences significatives entre les six produits préparés ($p < 0,05$), pour chaque paramètre,

TPC (mg Eq AG/g) : Total Polyphénols Content – teneur en polyphénols totaux (en mg équivalent d’acide gallique par gramme),

TFC (μ g Eq. Q/g) : Total Flavonoïdes Content – teneur en flavonoïdes totaux (en μ g équivalent de quercétine par gramme),

TTC (μ g Eq. AT/g) : Total Tannins Content – Teneur en tannins totaux (μ g Eq. Acide tannique par gramme),

Activité antioxydante (%) : Activité antioxydante utilisant le radical DPPH, exprimée en pourcentage,

SS (mg Eq. G/g) : Teneur en sucres solubles (exprimée en mg équivalent glucose par gramme).

III.1.4. La teneur en polyphénols totaux (TPC)

Le dosage des polyphénols totaux (TPC) pour les six formulations de “bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier”, dont les résultats sont représentés dans le **tableau 4**, avait enregistré des teneurs qui varient entre 0,138 et 0,076 (mg Eq.AG/g), sachant qu’une significative faible teneur en TPC a été enregistré pour la formulation nommée “F4” ayant une teneur de 0,076 (mg Eq.AG/g) ($p < 0,05$).

Tandis qu’une teneur élevée en TPC, de 0,183 (mg Eq. AG/g), a été enregistré pour la formulation nommée “F2” ($p < 0,05$), cela peut être en raison de la quantité incorporée de sirop de fruit de jujubier (180g) dans la préparation de la formulation nommée “F2”, qu’est une source riche en polyphénols.

III.1.5. La teneur en flavonoïdes totaux (TFC)

Le dosage des flavonoïdes totaux (TFC) dans les six formulations de “bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier” (**tableau 4**), avait montré des teneurs dont les valeurs varient entre 0,095 et 1,542 $\mu\text{g Eq. Q/g}$. Les formulations nommés “F1”, “F2”, et “F3” avaient enregistrés des teneurs élevées en TFC de 1,351 ; 1,424 ; et 1,542 ($\mu\text{g Eq. Q/g}$) respectivement.

Ces dernières teneurs sont significativement différentes ($p < 0,05$) on les comparant aux formulations nommées “F4” et “F6” ayant enregistrés de faibles valeurs en TFC de 0,095 et de 0,123 ($\mu\text{g Eq. Q/g}$).

III.1.6. La teneur en tannins totaux (TTC)

La teneur des formulations de “bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier” en tannins totaux (TTC) (**tableau 4**), avaient montrés des valeurs allant de 9,36 à 25,33 ($\mu\text{g Eq.AT/g}$). La teneur le plus faible en TTC a été enregistré par la formulation nommée “F1” (9,36 $\mu\text{g Eq.AT/g}$), cependant la formulation nommée “F5” présentait une teneur élevée en TTC de 25,33 ($\mu\text{g Eq.AT/g}$) ($p < 0,05$).

III.1.7. L’activité antioxydante (DPPH)

Le taux de l’activité antioxydante (%) des formulations de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier (**tableau 4**), varie considérablement selon la composition des formulations, les valeurs enregistrées sont comprises entre 46,78 % et 83,74 %.

La formulation “F3” a présenté l’activité antioxydante la plus faible (46,78 %), alors que les formulations nommées “F2” et “F4” avaient enregistré de activités antioxydantes élevées de

83, 60% et de 83,74 % ; respectivement, significativement différents en comparant ces résultats avec ceux des autres formulations ($p < 0,05$).

III.1.8. La teneur en sucres solubles

Les teneurs en sucres solubles des formulations de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier (**tableau 4**), les valeurs varient entre 0,56 et 0,95 (mg Eq. G/g). La formulation ‘‘F5’’ a affiché la teneur la plus faible en sucres solubles 0,56 (mg Eq. G/g), tandis que la formulation ‘‘F4’’ a présenté la teneur la plus élevée en sucre soluble 0,95 (mg Eq. G/g) avec une différence significative ($p < 0,05$).

Le **Tableau 5**, ci-dessous, regroupe les résultats de la colorimétrie et du taux de solides dissous (TDS) et de l’activité de l’eau des formulations de ‘‘bonbon gélifié à base de sirop de fruit du jujubier’’.

Tableau 5 : les résultats de la colorimétrie et du taux de TDS et activité d’eau des six formulations préparées.

	Colorimétrie				TDS (%)	Activité de l’eau
	L*	a*	b*	ΔE^*		
F1	26,643±0,342 ^b	1,830±0,086 ^{ab}	4,306±0,094 ^c	66,950±0,343 ^c	0,540±0,004 ^a	0,837±0,009 ^b
F2	31,256±0,742 ^a	0,143±0,080 ^b	3,523±0,030 ^d	62,290±0,736 ^d	0,510±0,004 ^b	0,812±0,027 ^b
F3	31,866±0,281 ^a	2,730±1,639 ^a	6,483±0,343 ^a	61,660±0,288 ^d	0,480±0,004 ^c	0,805±0,031 ^b
F4	25,946±0,626 ^b	2,760±0,398 ^a	5,076±0,411 ^b	68,013±0,221 ^{bc}	0,540±0,000 ^a	0,837± 0,034 ^b
F5	23,730±0,361 ^c	2,110±0,562 ^{ab}	4,096±0,28 ^{cd}	69,893±0,393 ^a	0,320±0,004 ^d	0,955± 0,011 ^a
F6	24,516±0,259 ^c	2,883±0,346 ^a	4,753±0,15 ^{bc}	69,143±0,284 ^{ab}	0,540±0,000 ^a	0,873± 0,031 ^b

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres (a, b, c, d) représentent les différences significatives entre les quinze produits préparés ($p < 0,05$) pour chaque paramètre.

L* : indice de la clarté.

a* : indice de la couleur rouge allant de la couleur verte.

b* : indice de la couleur jaune allant de la couleur bleue.

ΔE^* : indice de l’écart de couleur.

TDS : solides totaux dissous.

III.1.9. La colorimétrie

La colorimétrie permet d'évaluer objectivement la couleur des produits, ce qui influence leur acceptabilité auprès des consommateurs. La colorimétrie sert également à surveiller les changements de couleur pendant la préparation et la conservation des produits alimentaires, et à évaluer la stabilité des pigments naturels ajoutés aux produits préparés (Dutta & Nath, 2023).

Quatre indices ont été pris en considération suite à la mesure de la couleur, l'indice L^* qui correspond à la clarté de la surface, l'indice a^* qui correspond au degré de la couleur rouge allant de la couleur verte, l'indice b^* qui correspond au degré de la couleur jaune allant de la couleur bleue, et l'indice ΔE^* qui correspond à écart de couleur (Atalar et al., 2025).

Les résultats de la colorimétrie présentés dans le **tableau 5**, ont montré une différence significative ($p < 0,05$), observées, pour les résultats de l'indice L^* entre les formulations de bonbons gélifiés. Une valeur de 31,86 a été enregistrée pour la formulation nommée "F3", traduisant une surface plus claire, Tandis qu'une faible valeur, de 23,73, a été enregistrée pour la formulation nommée "F5", indiquant une coloration plus foncée.

Concernant l'indice a^* (le degré de la couleur rouge), toutes les valeurs étaient positives, indiquant une teinte proche de rouge. La formulation nommée "F6" avait enregistré une valeur de 2,88 ; tandis que la formulation nommée "F2" avait affiché une faible valeur de 0,14 ; avec une différence significative ($p < 0,05$). Concernant l'indice b^* les valeurs enregistrées sont positives, signifiant une présence de la couleur jaune dans toutes les formulations. La formulation nommée "F3" avait enregistré une valeur de 6,48, tandis que la formulation nommée "F2" avait affiché une valeur plus faible (3,52), avec une différence significative ($p < 0,05$).

Pour l'indice ΔE^* , la valeur la plus faible (61,66) a été observée pour la formulation nommée "F3", traduisant une moindre variation de couleur, tandis que la formulation "F5" avait présenté l'écart le plus élevé (69,89) ; révélant une plus grande différence colorimétrique avec une différence significative ($p < 0,05$).

III.1.10. Taux de solides dissous totaux (TDS)

Les résultats obtenus pour le taux de solides dissous totaux TDS sont regroupés dans le **tableau 5**, les résultats ont montré des valeurs comprises entre 0,32% et 0,54 %. La formulation nommée "F5" avait enregistré une valeur faible de TDS de 0,32%, tandis que les formulations nommées "F1" et "F4" et "F6" a présenté la plus élevée valeur de TDS (0,54%), avec une différence significative ($p < 0,05$).

III.1.11. L'activité de l'eau

L'importance de l'eau ne se limite pas à la phase de préparation de la confiserie, l'eau impact considérablement la texture de bonbon gélifié et constitue un paramètre limitant sa durée de conservation (**Ergun et al., 2010**).

Les résultats obtenus pour l'activité de l'eau (**tableau 5**), présentés des valeurs comprises entre 0,80 et 0,95. La formulation nommée "F5" avait affiché l'activité de l'eau la plus élevée 0,95, significativement différente ($p < 0,05$) des autres formulations. Les valeurs les plus faibles ont été notées pour les formulations nommées respectivement "F3" et "F2", ayant enregistrées 0,80 et 0,81.

Conclusion

Conclusion

Ce travail est porté sur le développement d'un bonbon gélifié à base de sirop du fruit du jujubier "*Ziziphus lotus* (L.) Lam.", une espèce végétale reconnue pour ses propriétés nutritionnelles. Les bonbons ont été formulés à partir des ingrédients suivants : le sirop de fruit du jujubier, la gélatine, l'acide citrique, le sirop de glucose et de l'eau. La préparation a été réalisée en variant les proportions des composants afin d'explorer leur effet sur la qualité du produit final. Au total, six différentes formulations ont été élaborées, nommés de "F1" à "F6".

Des analyses physico-chimiques ont été appliquées aux six formulations. Les paramètres suivants ont été évalués : le pH, l'acidité titrable, la teneur en eau, la teneur en polyphénols totaux (TPC), la teneur en flavonoïdes totaux (TFC), la teneur en tannins totaux (TTC), l'activité antioxydante, la teneur en sucres solubles, la colorimétrie, le taux de solides dissous totaux (TDS) et l'activité de l'eau.

Une analyse statistique a été effectuée sur les résultats obtenus des analyses physico-chimiques. Des différences significatives ($p < 0,05$) ont été observées dans l'ensemble des paramètres évalués. Ces variations sont attribuées à l'effet des proportions respectives des composants utilisés dans la préparation du bonbon gélifié, pour les six formulations étudiées.

Les six formulations de bonbons gélifiés à base de sirop de fruit du jujubier ont présenté des variations significatives ($p < 0,05$) en termes de pH, d'acidité titrable et de teneur en eau. Les formulations de bonbon gélifié présentant des teneurs variées en TPC, en TFC, en TTC, en sucres solubles, en colorimétrie, en activité de l'eau, en TDS et une activité antioxydante élevée.

Ce travail peut être considéré comme une démarche de valorisation des ressources locales disponibles, en particulier le fruit du jujubier, souvent sous-exploité malgré sa richesse nutritionnelle. Il constitue également une tentative d'innovation par l'introduction de nouvelles saveurs naturelles dans les produits de confiserie. Par ailleurs, cette étude s'inscrit dans une approche visant à enrichir la qualité nutritionnelle des bonbons gélifiés, notamment à travers la réduction de la teneur en sucres, tout en préservant les qualités sensorielles et fonctionnelles du produit final.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- Abdeddaim, M., Lombarkia, O., Bacha, A., Fahloul, D., Abdeddaim, D., Farhat, R., Saadoudi, M., Noui, Y., & Lekbir, A. (2014). Biochemical characterization and nutritional properties of *Zizyphus lotus* L. fruits in Aures region, northeastern of Algeria. *Food Science and Technology*, *15*(1), 75-81.
- Bai, Y., Sun, Y., Qiu, C., Xiang, W., Liu, Y., Wang, Y., & Qi, H. (2024). Improvement of *Undaria pinnatifida* Sugar-Free Gummy Jellies' Properties by Phycocyanin Under Ultraviolet (UV) Irradiation. *Foods*, *13*(24), 3988.
- Bencheikh, N., Bouhrim, M., Merrouni, I. A., Boutahiri, S., Kharchoufa, L., Addi, M., Tungmunnithum, D., Hano, C., Eto, B., & Legssyer, A. (2021). Antihyperlipidemic and antioxidant activities of flavonoid-rich extract of *Zizyphus lotus* (L.) lam. fruits. *Applied Sciences*, *11*(17), 7788.
- Bencheikh, N., Radi, F. Z., Fakchich, J., Elbouzidi, A., Ouahhoud, S., Ouasti, M., Bouhrim, M., Ouasti, I., Hano, C., & Elachouri, M. (2023). Ethnobotanical, phytochemical, toxicological, and pharmacological properties of *Zizyphus lotus* (L.) lam.: a comprehensive review. *Pharmaceuticals*, *16*(4), 575.
- Palachum, W., Klangbud, W. K., & Chisti, Y. (2023). Novel nutritionally-enriched gummy jelly infused with nipa palm vinegar powder and nipa palm syrup as functional food ingredients. *Heliyon*, *9*(11).
- Younsi, A., & Benmebarek, A. (2022). L'impact du système qualité sur la valorisation des produits de terroirs et le développement rural. *les cahiers du cread*, *38*(3), 441-472.
- Abdeddaim, M., Lombarkia, O., Bacha, A., Fahloul, D., Abdeddaim, D., Farhat, R., Saadoudi, M., Noui, Y., & Lekbir, A. (2014). Biochemical characterization and nutritional properties of *Zizyphus lotus* L. fruits in Aures region, northeastern of Algeria. *Food Science and Technology*, *15*(1), 75-81.
- Abdoul-Azize, S. (2016). Potential benefits of jujube (*Zizyphus Lotus* L.) bioactive compounds for nutrition and health. *Journal of nutrition and metabolism*, *2016*(1), 2867470.
- Adzu, B., Amos, S., Amizan, M., & Gamaniel, K. (2003). Evaluation of the antidiarrhoeal effects of *Zizyphus spina-christi* stem bark in rats. *Acta tropica*, *87*(2), 245-250.
- Ait Bouzid, H., Ait Nouisse, A., Hallouch, O., Asbbane, A., Harhar, H., Koubachi, J., Maggi, F., Caprioli, G., Bouyahya, A., & Gharby, S. (2024). Amlou inspired spread: Formulation and characterization of new spread based on *Zizyphus lotus* L. fruit, argan oil, and honey. *Heliyon*, *10*(14).
- Benammar, C., Baghdad, C., Belarbi, M., Subramaniam, S., Hichami, A., & Khan, N. (2014). Antidiabetic and antioxidant activities of *Zizyphus lotus* L aqueous extracts in Wistar rats. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, *2014*, 2-6.
- Bencheikh, N., Radi, F. Z., Fakchich, J., Elbouzidi, A., Ouahhoud, S., Ouasti, M., Bouhrim, M., Ouasti, I., Hano, C., & Elachouri, M. (2023). Ethnobotanical, phytochemical, toxicological, and pharmacological properties of *Zizyphus lotus* (L.) lam.: a comprehensive review. *Pharmaceuticals*, *16*(4), 575.
- Berkani, F., Serralheiro, M. L., Dahmoune, F., Mahdjoub, M., Kadri, N., Dairi, S., Achat, S., Remini, H., Abbou, A., & Adel, K. (2021). *Zizyphus lotus* (L.) Lam. plant treatment by ultrasounds and microwaves to improve antioxidants yield and quality: An overview. *North African Journal of Food and Nutrition Research*, *5*(12), 53-68.

Références bibliographiques

- Boudraa, S., Hambaba, L., Zidani, S., & Boudraa, H. (2010). Composition minérale et vitaminique des fruits de cinq espèces sous exploitées en Algérie: *Celtis australis* L., *Crataegus azarolus* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Elaeagnus angustifolia* L. et *Zizyphus lotus* L. *Fruits*, 65(2), 75-84.
- Charoen, R., Savedboworn, W., Phuditcharnchnakun, S., & Khuntaweetap, T. (2015). Development of antioxidant gummy jelly candy supplemented with *Psidium guajava* leaf extract. *Applied Science and Engineering Progress*, 8(2), 145-151.
- Chouaibi, M., Mahfoudhi, N., Rezig, L., Donsi, F., Ferrari, G., & Hamdi, S. (2012). Nutritional composition of *Zizyphus lotus* L. seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(6), 1171-1177.
- de Avelar, M. H. M., de Castilho Queiroz, G., & Efraim, P. (2020). Sustainable performance of cold-set gelation in the confectionery manufacturing and its effects on perception of sensory quality of jelly candies. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100005.
- Duong, T. H., van Eekert, M., Grolle, K., Tran, T. V. N., Zeeman, G., & Temmink, H. (2021). Effect of solid retention time (SRT) on protein hydrolysis and acidogenesis at pH 5 and pH 7 using gelatine as a model protein. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102398.
- El Maaiden, E., El Kharrassi, Y., Moustaid, K., Essamadi, A. K., & Nasser, B. (2019). Comparative study of phytochemical profile between *Zizyphus spina christi* and *Zizyphus lotus* from Morocco. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 121-130.
- Elaloui, M., Laamouri, A., Albouchi, A., Cerny, M., Mathieu, C., Vilarem, G., & Hasnaoui, B. (2014). Chemical compositions of the tunisian *Zizyphus jujuba* oil. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26(7), 602.
- Gorjanović, S., Zlatanović, S., Laličić-Petronijević, J., Dodevska, M., Micić, D., Stevanović, M., & Pastor, F. (2024). Enhancing composition and functionality of jelly candies through apple and beetroot pomace flour addition. *npj Science of Food*, 8(1), 85.
- Göztok, S. P., Palabiyik, I., Bölük, E., Gunes, R., Toker, O. S., & Konar, N. (2023). Determination and numerical modeling of sugar release from model food gels. *Journal of Food Engineering*, 338, 111262.
- Guerzou, A., Souttou, K., Derdoukh, W., Guerzou, M., & Doumandji, S. (2017). Role of common raven, *Corvus corax*, in reducing crop pests population in some agricultural areas in Algeria. *Journal of Environmental Biology*, 38(4), 539.
- Hammi, K. M., Jdey, A., Abdelly, C., Majdoub, H., & Ksouri, R. (2015). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidant compounds from Tunisian *Zizyphus lotus* fruits using response surface methodology. *Food chemistry*, 184, 80-89.
- Hartel, R. W., von Elbe, J. H., & Hofberger, R. (2018). Confectionery science and technology.
- Houma, I., Belhadj, S., Derridj, A., Mevy, J. P., Notonnier, R., Tonetto, A., & Gauquelin, T. (2022). *Zizyphus lotus* (L.) morphological description from wild populations in Algeria.
- Mohd Isa, N. S., Cheok, H. Y., Mohsin, A. Z., & MohdMaidin, N. M. (2024). The Effect of Different Citric Acid Concentrations on Physicochemical and Antioxidant Properties of Red Pitaya Peel Gummy Candies. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 8(12).
- Najjaa, H., Ben Arfa, A., Elfalleh, W., Zouari, N., & Neffati, M. (2020). Jujube (*Zizyphus lotus* L.): Benefits and its effects on functional and sensory properties of sponge cake. *PloS one*, 15(2), e0227996.

Références bibliographiques

- Palachum, W., Klangbud, W. K., & Chisti, Y. (2023). Novel nutritionally-enriched gummy jelly infused with nipa palm vinegar powder and nipa palm syrup as functional food ingredients. *Heliyon*, 9(11).
- Periche, A., Heredia, A., Escriche, I., Andrés, A., & Castelló, M. (2014). Optical, mechanical and sensory properties of based-isomaltulose gummy confections. *Food Bioscience*, 7, 37-44.
- Rani, K. C., Jayani, N. I. E., Feneke, F., & Melanda, S. (2021). Preparation and evaluation of gelatin and pectin-based Moringa oleifera chewable-gummy tablets. IOP conference series: Earth and environmental science,
- Renault, J.-H., Ghedira, K., Thepenier, P., Lavaud, C., Zeches-Hanrot, M., & Le Men-Olivier, L. (1997). Dammarane saponins from *Zizyphus lotus*. *Phytochemistry*, 44(7), 1321-1327.
- Renumarn, P., & Choosuk, N. (2020). Influence of packaging and storage conditions on the quality and shelf-life of chewy santol (Kraton-Yee) candies. E3S Web of Conferences,
- Saadoudi, M., Hambaba, L., Abdeddaim, M., Lekbir, A., Bacha, A., Boudraa, S., & Zidani, S. (2017). Nutritional composition, physical properties and sensory evaluation of biscuit produced from jujubes (fruits of *Zizyphus lotus* L.). *Food Science and Technology*, 18(3), 385-401.
- Simonin, A., Benammar, C., Hichami, A., Bendahmane-Salmi, M., Allali, H., & Khan, N. (2011). *Zizyphus lotus* (L.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation: 233. *Fundamental and Clinical Pharmacology*, 25, 47.
- Székelyhidi, R., Giczi, Z., Pallag, R., Lakatos, E., & Sik, B. (2024). Physicochemical and textural properties of gummy candies prepared with fruit vinegar. *Applied Food Research*, 4(2), 100473.
- Tarahi, M., Tahmouzi, S., Kianiani, M. R., Ezzati, S., Hedayati, S., & Niakousari, M. (2023). Current innovations in the development of functional gummy candies. *Foods*, 13(1), 76.
- Teixeira-Lemos, E., Almeida, A. R., Vouga, B., Morais, C., Correia, I., Pereira, P., & Guiné, R. P. (2021). Development and characterization of healthy gummy jellies containing natural fruits. *Open Agriculture*, 6(1), 466-478.
- Tireki, S., Sumnu, G., & Sahin, S. (2023). Investigation of average crosslink distance and physicochemical properties of gummy candy during storage: Effect of formulation and storage temperature. *Physics of Fluids*, 35(5).
- Tiwari, D., & Rastogi, M. (2024). Gummy Jellies: Properties and Advancements. *International Journal of Plant Biotechnology*, 10(2), 19-32p.
- Widad, O., Hamza, F., Youcef, M., Jean-claude, C., Gilles, F., Pierre, C., & Samir, B. (2017). Chemical composition and antioxidant activity of the fruit essential oil of *Zizyphus lotus* (L.) Desf.(Rhamnaceae). *Int. J. Pharmacogn. Phytochem. Res*, 9, 228-232.
- Atalar, I., et al. (2025). "Interactions of black carrot concentrate powder as a natural coloring agent with gelatine and sucrose in model gummy samples." *LWT* **218**: 117443.
- Bhat, R., et al. (2011). "Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality." *Ultrasonics sonochemistry* **18**(6): 1295-1300.
- Haddoudi, M., et al. (2014). "Valorisation du marc du café: extraction de l'huile et évaluation de son activité antioxydante." *Les technologies de laboratoire* **8**(36).
- Kim, D.-O., et al. (2003). "Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums." *Journal of agricultural and food chemistry* **51**(22): 6509-6515.

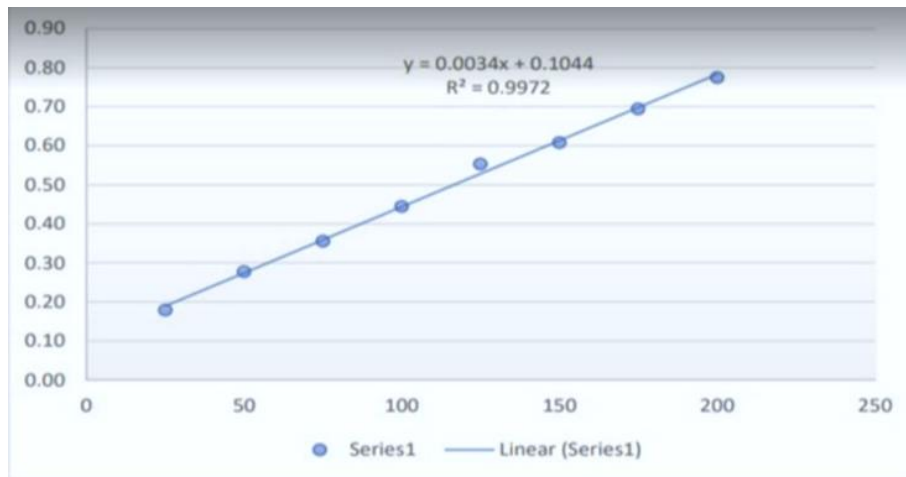
Références bibliographiques

- Lam, Y. B., et al. (2025). "Effect of gelling agents on the techno-functional, collagen bioavailability and phytochemical properties of botanic gummy jelly containing marine hydrolyzed collagen." Food Chemistry Advances: 100915.
- Li, J.-W., et al. (2007). "Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube." Food chemistry **103**(2): 454-460.
- Moreno, F., et al. (2015). "Rheological behaviour, freezing curve, and density of coffee solutions at temperatures close to freezing." International journal of food properties **18**(2): 426-438.
- Oluwasina, O. O., et al. (2020). "Optimization of starch-based candy supplemented with date palm (*Phoenix dactylifera*) and tamarind (*Tamarindus indica* L.)." Arabian Journal of Chemistry **13**(11): 8039-8050.
- Renaldi, G., et al. (2022). "Physicochemical, textural, and sensory qualities of pectin/gelatin gummy jelly incorporated with *Garcinia atroviridis* and its consumer acceptability." International Journal of Gastronomy and Food Science **28**: 100505.
- Atalar, I., Ozen, B., Polat, D. G., Han, E., Toker, O. S., Palabiyik, I., ElObeid, T., & Konar, N. (2025). Interactions of black carrot concentrate powder as a natural coloring agent with gelatine and sucrose in model gummy samples. *LWT*, 218, 117443.
- Dutta, K., & Nath, R. (2023). Application of Colorimetry in Food Industries. In A. K. Samanta (Ed.), *Advances in Colorimetry*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112099>
- Ergun, R., Lietha, R., & Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(2), 162-192.
- Mohd Isa, N. S., Cheok, H. Y., Mohsin, A. Z., & MohdMaidin, N. M. (2024). The Effect of Different Citric Acid Concentrations on Physicochemical and Antioxidant Properties of Red Pitaya Peel Gummy Candies. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 8(12).

Annexes

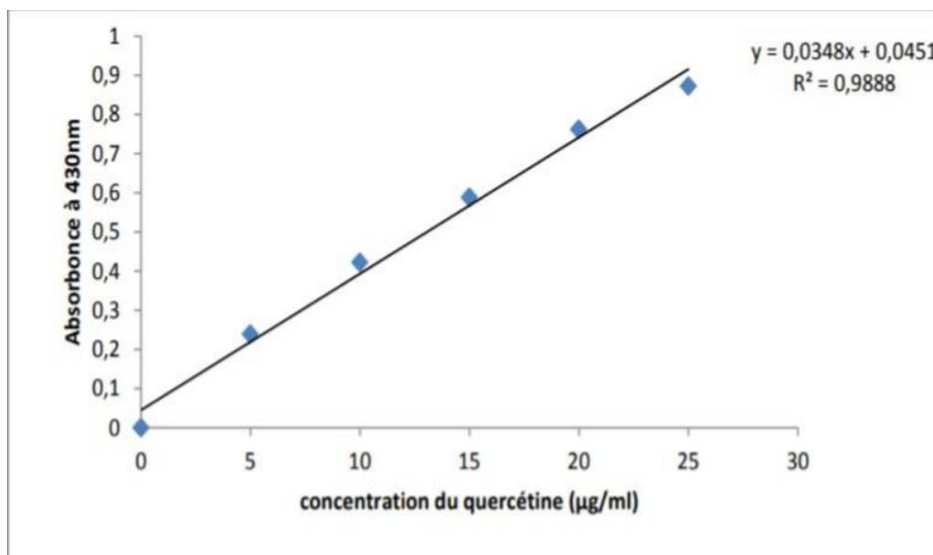
Annexes 1

Représentation de la gamme d'étalonnage des polyphénols totaux

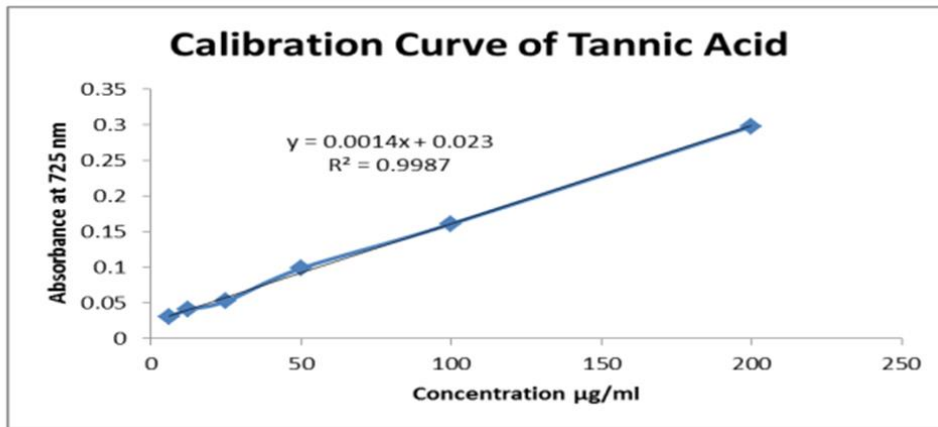


Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

Représentation de la gamme d'étalonnage des flavonoïdes



Représentation de la gamme d'étalonnage des tannins



Représentation de la gamme d'étalonnage des sucres solubles

