

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Sciences Alimentaires

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme
MASTER

Thème

***Optimisation des conditions d'extraction des
substances bioactives à partir des graines de
melon***

Présenté par :

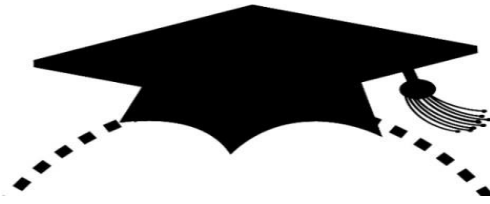
DJANI HAYET et REMINI SONIA

Soutenu le : 02 juillet 2025

Devant le jury composé de :

M. Fella S	(MCB)	Présidente
M. BOUDRIES Hafid	(MCA)	Encadreur
M. CHOUGUI Nadia	(Pr)	Examinatrice

Année universitaire : 2024 / 2025



REMERCIEMENTS

Avant tout, je rends grâce à Allah, le Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la volonté et la santé nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Boudries Hafid pour avoir accepté de m'encadrer, et pour m'avoir offert l'opportunité de bénéficier de ses connaissances scientifiques et de ses conseils avisés. Sa bienveillance et sa disponibilité ont été des éléments essentiels dans l'accomplissement de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères vont également à Madame Kantaoui Aicha pour le temps précieux qu'elle m'a consacré. Sa disponibilité et son engagement ont joué un rôle fondamental dans l'aboutissement de ce mémoire.

Je remercie chaleureusement les membres du jury :

Madame la docteure [Fella S], Présidentes du jury,

Et docteure [CHOUGUI Nadia], examinatrice, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je leur suis reconnaissante pour le temps qu'elles y ont consacré, ainsi que pour la considération portée à mon travail.



Dédicaces

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux.

Par la grâce de Dieu, ce travail a pu voir le jour et être mené à son terme. Merci à Toi, Seigneur, dont la présence se manifeste dans chaque parcelle de l'univers, dans chaque goutte des océans, dans chaque souffle de vie sur Terre. Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui me sont chères.

À ceux qui ont patiemment attendu les fruits de leur éducation, à ceux qui m'ont tout donné, qui ont toujours été à mes côtés, m'inculquant les valeurs du travail, de la persévérance et de l'amour inconditionnel...

À la lumière de mes jours, la source de mon énergie, la flamme de mon cœur, ma vie, mon bonheur : ma mère adorée, Kahina, le pilier de mon existence. Merci Mama. Que Dieu te préserve et t'accorde une santé durable et une longue vie. Tu as été là dans les épreuves les plus dures, tu t'es battue pour moi avec une force et un amour infini. Aucune parole ne saurait exprimer ce que tu représentes pour moi. Si je tiens encore debout aujourd'hui, c'est grâce à toi. Du fond du cœur, je suis très fière d'être ta fille.

À ma tante maternelle Tiriza, qui est bien plus qu'une tante : une véritable sœur et un soutien constant. Je te souhaite tout le bonheur et la réussite que tu mérites, dans ta vie personnelle comme professionnelle.

À mon cher ami Adel, je te souhaite une vie pleine de succès, de sérénité et de belles réussites.

À ma précieuse sœur Youssra, ma petite perle, je t'envoie tout mon amour.

À mes grands-parents maternels, que Dieu vous protège et vous garde encore longtemps à mes côtés.

À mes oncles maternels : Samir (et son épouse Nabila), Salim et Fatah que Dieu vous comble de Ses bienfaits.

À mes tantes maternelles : Nassima, Thiziri, Katia et Tiriza je vous porte un amour profond. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Dédicaces

À mes chers cousins paternels, Hama et Bachir, merci pour votre soutien et votre bienveillance.

À mes précieuses amies Sarah et Lydia, merci pour vos conseils, votre écoute, et surtout pour votre présence dans ma vie. Je suis très heureuse de vous avoir comme amies.

À ma chère binôme Sonia, pour ton engagement, ta générosité et tous les efforts partagés tout au long de ce parcours. À toi ainsi qu'à ta famille, je souhaite un avenir professionnel des plus brillants et une vie personnelle remplie de bonheur.

Enfin, une pensée spéciale pour toute la promotion 2024/2025 en Sciences Alimentaires. Merci pour ces années de partage, d'apprentissage et de camaraderie.

« On ne récolte rien sans prendre le risque de se planter. »

HAYET



Dédicaces

Tout d'abord, je tiens à remercier dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire :

À mon très cher père, tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es. Grace à toi papa j'ai appris le sens du travail et de responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Je t'aime papa et j'implore le tout-puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

À ma chère mère, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à poursuivre mes rêves, lorsque les obstacles semblaient insurmontables. Sans toi, n'aurais pas acquis la force et la résilience nécessaires pour aboutir. Ta lumière et ton amour continueront d'éclairer ton chemin.

À mes chers frères Massi et Anis, témoins fidèles des étapes de ma vie, dans ma joie et ma tristesse. Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À tous les membres de ma grande famille, mes tantes, mes oncles, mes cousins et cousines

À ma cousine Laetitia adorée, merci d'avoir toujours été là, avec ton cœur et ton sourire

À ma chère amie Kahina qui est au Canada, ton soutien sans faille et ton esprit libre ont toujours éclairé mon chemin. En écrivant ces lignes, je te remercie de l'énergie positive que tu apportes dans mon existence. Merci chère Kahina, pour ton amitié inépuisable

À ma chère binôme Hayet, pour son soutien, sa collaboration précieuse et les efforts partagés tout au long de cette aventure. Merci pour ta patience et ton esprit d'équipe.

À Massi : ton soutien et tes conseils m'ont toujours portée. Ils valent bien plus que de simples mots. Merci pour ta présence.

Dédicaces

À mes amis : Sarah, Tinhinane, Lydia, Meriem, Dihia, Leticia, Hachemi, Rayane, Khelaf, Chiraz, Veronica, Samia, Amira, Aya. À leur amitié sincère, leur écoute, leur bonne humeur et les souvenirs inoubliables que nous avons partagés.

À l'équipe green vibes, ma seconde famille merci de m'avoir fait découvrir le monde, grâce à vous, chaque départ était synonyme de sourires et chaque retour rempli de beaux souvenirs. Vous êtes bien plus une équipe, vous êtes des artisans de bonheur et de souvenir inoubliable.

Sonia

Liste des abréviations

A	Absorbance
AA	Activité antioxydante
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
BBD	Box-Behnken
BSA	Sérumalbumine bovine
CP	Composés phénoliques
DMSO	Diméthyl-sulfoxyde
DO	Densité optique
DPPH	1,1-diphényle-2-picryl hydrazyl
EAG	Equivalent d'acide gallique
EAM	Extraction assistée par micro-ondes
EAU	Extraction assistée par ultrasons
EFS	Extraction par fluide supercritique
EMB	Eosin Methylene Blue
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GN	Glucose nutrient
JMP :	John's Macintosh Project
MH	Mueller-Hinton
MS	Matière sèche
MSR	Méthodologie Surface de Réponse
PPT	Polyphénols totaux
R ²	Coefficient de détermination
RSA	Activité antioxydante
SS	Salmonella-Shigella agar
TSS	Taux en matières solides solubles
UFC	Unité Formant Colonie
Y _{AA}	Rendement en activité antioxydante
Y _{PPT}	Rendement en polyphénols totaux

Liste des tableaux

N° du tableau	Titre	Page
I	Classification du melon	3
II	Différentes variétés de melon	4
III	Composition nutritionnelle de melon en portion crue comestible de 100 g	5
IV	Avantages et inconvénients de la méthode d'extraction assistée par ultrasons	15
V	Valeurs minimale et maximale des facteurs retenus ont été définies en vue de la conception du plan d'expérience.	21
VI	Combinaisons effectuées pour l'optimisation des conditions d'extraction.	22
VII	Valeurs expérimentales de l'optimisation des conditions d'extraction des PPT et l'AA par le plan BBD pour la poudre des graines de melon.	29
VIII	Coefficient de détermination R ² et R ² ajusté des composés phénoliques et de l'activité antioxydante	30
IX	Synthèse des effets des facteurs sur RSA et TPC.	31
X	Conditions et valeurs optimales pour l'extraction des PPT et l'AA des graines de melon par la MSR.	33
XI	Caractéristiques physico-chimiques du lait de la poudre des graines de melon.	34

Liste des figures

N° de figure	Titre	Page
01	Illustration de différentes parties de Cucumis melo (Anonyme)	3
02	Principales parties des fruits du melon (Cucumis melo L.).	5
03	Évolution de la production mondiale de melon	7
04	Production de melon au niveau de la wilaya de Bejaïa	8
05	Structure de base d'un phénol	10
06	Structure de base des flavonoïdes	11
07	Structures des principaux caroténoïdes présents dans le melon (A) α -carotène ; (B) β -cryptoxanthine	12
08	Structure de l'acide ascorbique	12
09	Représentation schématique de l'installation UAE	15
10	Illustration représentant les différentes étapes de préparation de l'échantillon : (A) broyage, (B) tamisage.	16
11	Illustration de l'extraction des PPT à partir des graines de melon (ultrason)	17
12	Photographie de l'extrait de la poudre de graines de melon	19
13	Photographie du lait décongelé	23
14	Photographie du test d'acidité titrable.	24
15	Photographie d'un réfractomètre de paillasse	24
16	Photographie du dosage des protéines	25
17	Photographie du dosage des composés phénoliques.	25

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction1

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre I : Présentation du melon

I.1. Généralités.....	2
I.2. Historique et origine.....	2
I.3. Description botanique de <i>Cucumis melo</i>	2
I.4. Classification botanique de <i>Cucumis melo</i>	3
I.5. Caractéristiques de <i>Cucumis melo</i>	3
I.6. Composition chimique de <i>Cucumis melo</i>	4
I.6.1. Composition chimique des pelures	5
I.6.2. Composition chimique de la pulpe.....	5
I.6.3. Composition chimique des graines	6
I.7. Intérêt thérapeutique des graines de melon	6
I.8. Production mondiale du melon	7
I.9. Production de melon au niveau de la wilaya de bejaia	7
I.10. Intérêt nutritionnel et valorisation du lait végétal	8

Chapitre II : Les antioxydants du melon

II.1. Antioxydants	9
II.2. Origine des antioxydants	9
II.3. Différents types des antioxydants du melon	9

II.3.1. Composés phénoliques	9
➤ Flavonoïdes.....	10
II.3.2. Caroténoïdes	12
II.3.4. Huiles essentielles	12
II.4. Méthodes d'extraction	
II.4.1. Généralités	13
II.4.2. Définition de l'extraction.....	13
II.4.3. Procédures d'extraction des polyphénols par ultrason.....	14
C. Avantages et inconvénients de la méthode d'extraction assistée par ultrasons	15
Partie pratique	
Matériel et méthodes	
I. Matériel végétal.....	16
II. Préparation des échantillons	16
II.1. Séchage	16
II.2. Broyage et tamisage	16
III. Optimisation d'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante	16
III.1. Préparation des extraits phénoliques	16
III.1.2. Extraction assistée par ultrason.....	17
III.2. Etude quantitative	17
III.2.1. Dosage des composés phénoliques totaux.....	17
III.2.2. Mesure de l'activité antioxydante	18
III.3. Test de l'activité antimicrobienne de la poudre et du lait issus des graines de melon	18
III.3.1. Préparation d'une solution d'extrait sec de melon pour les tests antimicrobiens .	19
III.3.2. Préparation des suspensions microbiennes et réalisation du test antimicrobien ...	19
III.4. Etude préliminaire	20
III.4.1. Choix de la concentration du solvant d'extraction.....	20
III.4.2. Temps d'extraction	20

III.4.3. Amplitude d'extraction	21
IV. Méthodologie de surface de réponse (MSR)	21
IV.1. Application du plan d'expérience	21
V. Valorisation des graines de melon	23
V.1. Récupération du lait végétal	23
V.2. Analyses physico-chimiques	23
A-Acidité titrable	23
B-Taux en matières solides solubles (TSS)	24
C-Taux de cendres	24
D-Dosage des protéines	25
E-Dosage des composés phénoliques totaux (Cette expérience a été réalisée selon le protocole déjà détaillé à la page 19)	25
Résultats et discussions	
I. Optimisation d'extraction des composés phénoliques et activité antioxydante	26
I.1. Extraction assistée aux ultrasons	26
I.2. Etude préliminaire	26
I.2.1. Effet de la concentration de solvant d'extraction assistée aux ultrasons	26
I-2-2- Effet du temps d'extraction	27
I-2-3 – Effet de l'intensité des ultrasons (amplitude)	27
II. Conditions optimales	28
II.1. Méthodologie de surface de réponse	28
II.2. Application du plan d'expérience	28
II.2.1. Vérification du modèle	29
II.2.2. Analyse de la variance	30
II.2.3. Analyse du manque d'ajustement	31
II.2.4. Analyse du modèle mathématique	32
II.2.5. Détermination des conditions optimales	33
III. Activité antimicrobienne	34

IV. Caractéristiques physico-chimiques du lait de la poudre des graines de melon 34

Conclusion.....;;.....36/37

Références bibliographiques

Annexe

Résumé

Introduction

Le melon (*Cucumis melo L.*) est un fruit largement cultivé et consommé à travers le monde. Il se distingue par sa forte valeur économique et sa capacité d'adaptation à divers types de sols et de climats. Parmi les fruits frais, il figure parmi les plus exportés et les plus consommés à l'échelle mondiale. Toutefois, sa consommation génère une quantité considérable de sous-produits, notamment les graines et les écorces, qui sont le plus souvent jetées. Ces résidus représentent pourtant une source potentielle de composés bioactifs présentant des propriétés fonctionnelles et nutritionnelles intéressantes (*Zhang et al., 2024*).

Les graines de melon, en particulier, contiennent une variété de composés phénoliques aux effets antioxydants notables. Leur valorisation, dans le cadre d'une économie circulaire et durable, s'inscrit dans une démarche de développement de nouveaux ingrédients fonctionnels, contribuant à une chaîne alimentaire plus saine (*Bentabet et al., 2014*).

Parmi les diverses techniques d'extraction existantes, l'extraction assistée par ultrasons (EAU) se distingue par son efficacité énergétique et ses rendements élevés, souvent supérieurs à ceux des méthodes traditionnelles (*Khan et al., 2010*). Néanmoins, l'efficacité de cette méthode reste étroitement liée à l'optimisation de plusieurs paramètres opérationnels, notamment la puissance ultrasonore appliquée, l'amplitude, la durée d'extraction, ainsi que le type de solvant utilisé (*Esclapez et al., 2011*).

Dans ce contexte, l'optimisation des conditions d'extraction est essentielle afin d'améliorer le rendement en composés phénoliques et l'activité antioxydante des extraits. Cette optimisation peut être réalisée à l'aide de la méthodologie de surface de réponse (MSR), une approche statistique et mathématique permettant de modéliser et d'analyser les effets de plusieurs variables et leurs interactions tout en réduisant le nombre d'essais expérimentaux nécessaires (*Chen et al., 2016*).

Ainsi, l'objectif principal de cette étude est d'optimiser les conditions d'extraction des composés phénoliques et de l'activité antioxydante des graines de melon par ultrasons, en utilisant la méthodologie de surface de réponse basée sur le plan d'expérience de Box-Behnken. Les variables principales étudiées sont l'amplitude ultrasonore, le temps d'extraction et le type de solvant, dans le but de maximiser l'efficacité du procédé et de valoriser ces sous-produits agroalimentaires, parallèlement, elle vise à valoriser la poudre de graines de melon à travers une caractérisation physico-chimique, dans une perspective de durabilité et de réduction du gaspillage.

Synthèse
bibliographique

Chapitre I : Présentation du melon

I.1. Généralités

Le melon (*Cucumis melo* L.), couramment connu sous le nom de melon, est un fruit tropical d'importance majeure, cultivé non seulement pour sa saveur agréable, mais également pour sa richesse en composés nutritionnels notamment en vitamines C et E ainsi qu'en composés bioactifs tels que les polyphénols (*Dimtsas et al., 2024*).

La culture du *Cucumis melo* à l'échelle mondiale atteint environ 40 millions de tonnes par an, témoignant de son rôle essentiel dans le secteur agricole. Toutefois, cette production massive s'accompagne d'un enjeu environnemental majeur : la génération d'une grande quantité de déchets, principalement constitués de pelures, estimés entre 8 et 20 millions de tonnes par an dans l'industrie de transformation des fruits (*Dimtsas et al., 2024*).

Sur le plan commercial, le *Cucumis melo* se présente sous diverses variétés qui, bien que partageant des caractéristiques nutritionnelles comparables, se distinguent par leurs propriétés organoleptiques. Ces différences se manifestent notamment par l'apparence extérieure, la texture de l'écorce, la présence ou l'absence de coloration et de sutures au cours de la maturation, ainsi que par des variations au niveau de la chair, de la forme et de la couleur de la pulpe (*Dimtsas et al., 2024*).

I.2. Historique et origine

L'Afrique et l'Asie ont été proposées comme régions d'origine possibles du melon. Toutefois, selon les travaux de (*Kerje et al., 2000*) fondés sur des études génétiques, l'Afrique semble être l'origine principale de ce fruit. Le processus de domestication du melon aurait débuté en Égypte il y a plus de 3000 ans. Par la suite, le melon s'est propagé à travers le Moyen-Orient et l'Asie, où un développement secondaire de la domestication et de la diversification aurait pu se produire (*Tiago et al. 2016*). Aujourd'hui, ce fruit est présent sur tous les continents, grâce à sa capacité d'adaptation, notamment à la rigueur des climats arides (*Emmanuelle, 2010*).

I.3. Description botanique de *Cucumis melo*

Le mot « melon » provient du latin *melo*, *melonis*, qui dérive d'une racine grecque signifiant la pomme (*Futura-Science., 2001*). Son nom scientifique est *Cucumis melo* (*Milind et al., 2011*). Ce fruit est principalement cultivé comme plante potagère pour sa chair comestible, reconnue pour sa saveur sucrée, parfumée et agréable (*Mallek-Ayadi et al. 2018*).

Le melon est une plante grimpante annuelle, caractérisée par une tige anguleuse et rugueuse. Ses feuilles, d'environ 7,5 cm, sont de forme orbiculaire-réniforme et recouvertes de poils doux. Les graines, quant à elles, sont obovoïdes et arrondies à l'apex (*Fahamiya et al. 2016*).

Les différentes parties du melon (*Cucumis melo*) sont illustrées dans la figure 1

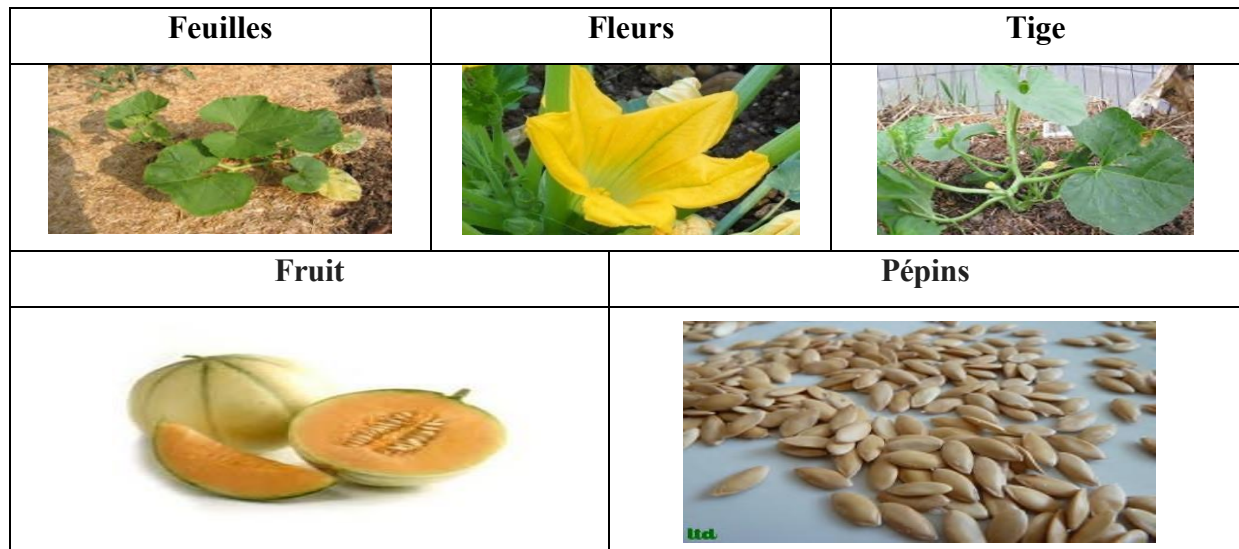


Figure 1: Illustration de différentes parties de *Cucumis melo* (*Anonyme*).

I.4. Classification botanique de *Cucumis melo*

Tableau I : Classification du melon (*Tiago et al., 2016*)

Règne	Plantae
Sous Règne	Tacheobionta -Plantes vasculaires
Super-division	Spermatophyta-Plante à graines
Division	Magnoliophyta-Plante à fleurs
Classe	Dicotyledoneae
Sous classe	Dilleniidae
Ordre	Cucurbitales
Famille	Cucurbitaceae
Genre	Cucumis
Espèce	<i>Cucumis melo</i>

I.5. Caractéristiques de *Cucumis melo*

Les caractéristiques des variétés de melon les plus cultivées dans le monde sont illustrées Dans le Tableau II :

Tableau II: Différentes variétés de melon (Rolim et al., 2020)

Caractéristiques	Photographie
Melon jaune Il a été importé d'Espagne et il est également appelé melon jaune espagnol. Il est dépourvu d'odeur, possède une peau jaune et une chair blanche.	
Melon cantaloup Originaire des États-Unis, il figure parmi les fruits les plus cultivés à travers le monde. Il a une forme sphérique, une chair orange et un parfum assez prononcé. Très répandu, il est souvent désigné sous le nom de melon japonais, un melon de type cantaloup.	
Melon charentais Fruit aromatique d'origine française, il possède une écorce verte légèrement réticulée, une forme arrondie parfois aplatie, avec des sutures. Sa peau est verte, souvent traversée de marbrures plus foncées. Sa chair orange est très parfumée.	
Melon Net / Honey Dew Ce melon a une forme sphérique et une peau lisse dont la couleur varie entre le blanc et le jaune. Sa chair est généralement verte.	

I.6. Composition chimique de *Cucumis melo*

Le melon possède une valeur nutritionnelle notable, avec une pulpe représentant 71% de sa composition, tandis que le reste se divise entre la peau (20%) et les graines (9%) (Ciquel, 2013). De plus, il renferme une quantité importante de graines, qui sont riches en huile et en protéines, tout en présentant des propriétés médicinales (Rodriguez-Amaya, 1997).

Le melon est principalement constitué d'eau, avec plus de 90 % de sa composition, ce qui lui confère des propriétés très hydratantes. Peu calorique, il peut être conseillé en cas de surpoids ou de diabète. Cependant, sa teneur en fibres est relativement faible (Tableau III).

Tableau III: Composition nutritionnelle de melon en portion crue comestible de 100 g (*Soto Hernández et al. 2015*).

Calories (kcal)	35
L'eau (%)	90
Protéine (g)	0,9
Graisses (g)	0,3
Glucides (g)	8,4
Fibre (g)	0,8

Enfin, d'après *Laur et Tian (2011)*, la concentration en polyphénols, flavonoïdes et caroténoïdes varie en fonction des différentes variétés de melon et de leur origine géographique.

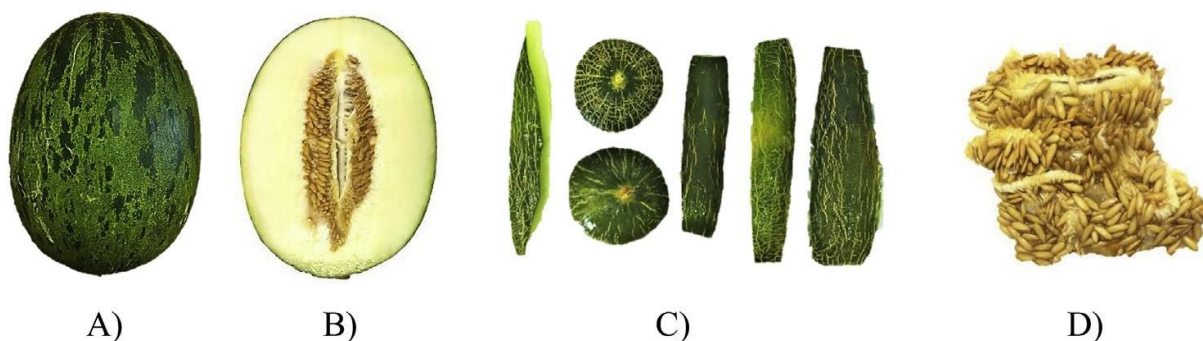


Figure 2: Principales parties des fruits du melon (*Cucumis melo L.*). A) fruit mûr du cultivar *C. melo inodorus*, B) mésocarpe (partie comestible), C) écorce, D) la graine (*Ricardo Gómez-García et al., 2020*).

I.6.1. Composition chimique des pelures

Dans une étude sur les variétés de melon de Tunisie, *Ayadi et al. (2015)* ont trouvé que les pelures de melon contiennent 1,12 % de lipides, 4,48 % de protéines, et 77,4 % de fibres insolubles, contre 5,58 % de fibres solubles. Elles présentent également une activité d'eau de 0,47 % et contiennent des composés phénoliques à hauteur de 3,32 mg EAG/g.

I.6.2. Composition chimique de la pulpe

Le melon est principalement composé d'eau, avec une teneur de 90 g/100 g, ce qui en fait l'un des fruits les moins énergétiques. Il contient 6,57 g/100 g de glucides et 0,2 g/100 g de lipides, ainsi qu'une moyenne de 0,73 g/100 g de protéines. La quantité de fibres est de 0,93 g/100 g (*Saxholt et al. 2009*).

Sa pulpe est particulièrement riche en vitamines, notamment celles du groupe B, la vitamine C et E, avec une teneur notable en vitamine A (2,020 mg/100 g). Elle est également une bonne source de minéraux, de polyphénols et de flavonoïdes (*Saxholt et al. 2009*).

I.6.3. Composition chimique des graines

Les graines de melon (*Cucumis melo L.*) représentent un sous-produit important généré lors de la consommation et de la transformation du fruit, constituant entre 5 et 10 % de son poids total. Des recherches précédentes ont révélé que les graines de melon sont riches en huile (25-38 %, p/p), en protéines (15-45 %, p/p) et en fibres (19-25 %, p/p). La composition nutritionnelle des graines peut varier en fonction de la variété de melon, des conditions de culture et des fluctuations saisonnières de la récolte. En raison de leur teneur élevée en huile, notamment en acides gras insaturés, les graines de melon ont suscité un intérêt particulier (*Zhang et al. 2024*).

Les graines de melon peuvent constituer une source précieuse de nutriments et de composés bioactifs. Dans plusieurs pays arabes, elles sont consommées comme en-cas après avoir été salées et torréfiées. En Inde, elles sont souvent séchées et utilisées pour aromatiser des plats et des desserts. En outre, les graines de melon sont une excellente source d'antioxydants naturels, et elles peuvent servir d'ingrédient pour prolonger la durée de conservation des aliments. L'huile extraite des pépins de melon est également couramment utilisée pour la cuisson dans certaines régions d'Afrique (*Mallek-Ayadi et al., (2018)*).

I.7. Intérêt thérapeutique des graines de melon

Les pépins de melon sont riches en lipides et contiennent une quantité significative de matières grasses, qui peuvent être extraites sous forme d'une huile jaune, avec un rendement de 31 % pour 16 g de matière première (*Wang et al., 2001*).

Elle possède également des propriétés apaisantes et cicatrisantes pour le tube digestif, ainsi qu'une action revitalisante et tonifiante sur le système nerveux, musculo-squelettique et cardiovasculaire. De plus, elle est prisée en alimentation en raison de sa richesse en acides gras insaturés (*Bowman., 2011*).

Elle contribue également à la prévention de maladies chroniques telles que le cancer (*Castelo et al., 2009*).

I.8. Production mondiale du melon

Le graphe montre l'évaluation ou l'évolution de la production agricole mondiale (en valeur brute) entre 2002 et 2022, d'après les données de la (FAOSTAT), on observe une augmentation globale, malgré quelques variations.

On remarque qu'entre 2002 et 2008, La valeur à beaucoup augmenté, ce qui montre que la production agricole a bien progressé dans le monde, de 2009 à 2013, l'augmentation se poursuit par un rythme plus lent, par la suite, en 2014 à 2015, une baisse légère est observée, elle pourrait être due à des conditions économiques ou à des variations climatiques. A partir de 2016, La valeur recommence à monter et atteindre son niveau le plus haut en 2022.

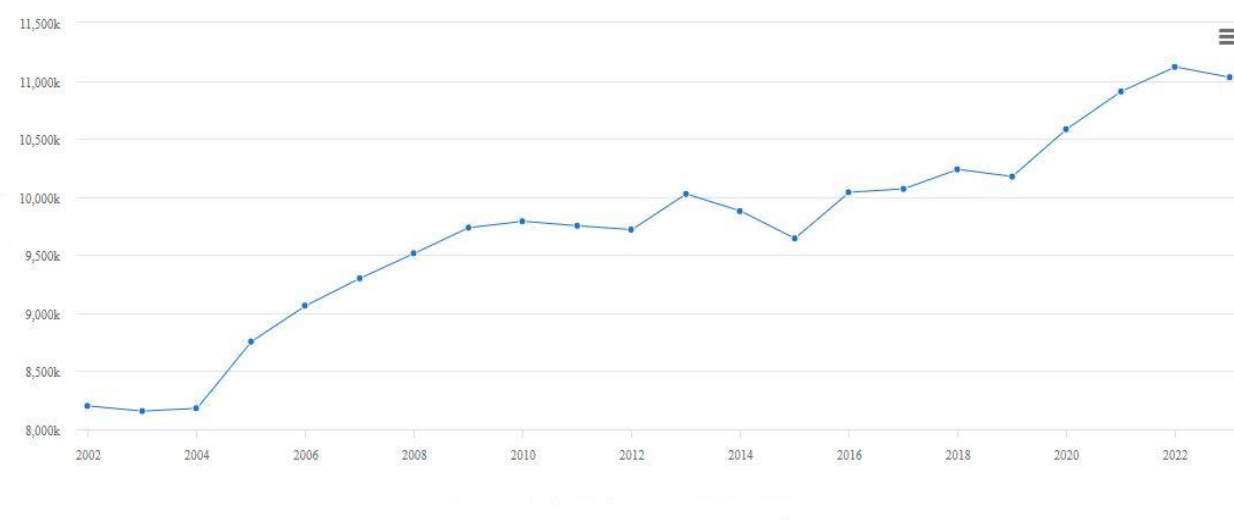


Figure 3 : Évolution de la production mondiale de melon (FAO-STAT)

I.9. Production de melon au niveau de la wilaya de bejaia

Le graphique présente la production de melons dans la wilaya de bejaia, en se basant sur les données fournies par la direction des services agricoles (*DSA, 2015–2024*) .

La production de melon a connu une augmentation régulière entre 2015 et 2018, Passant de 158250,00 à 16590,00 tonnes, Cette progression continue est due à une amélioration des conditions de production, des pratiques agricoles ou des mesures de soutien.

Entre 2019 et 2023, la production de melon au niveau de la wilaya de bejaia a connu une baisse significative, Passant de 15705,00 à 4130,00 tonnes, avant de remonter légèrement à 9375,00 tonnes en 2024. Cette diminution marquée pourrait s'expliquer par des facteurs tels que des conditions défavorables et des contraintes économiques.

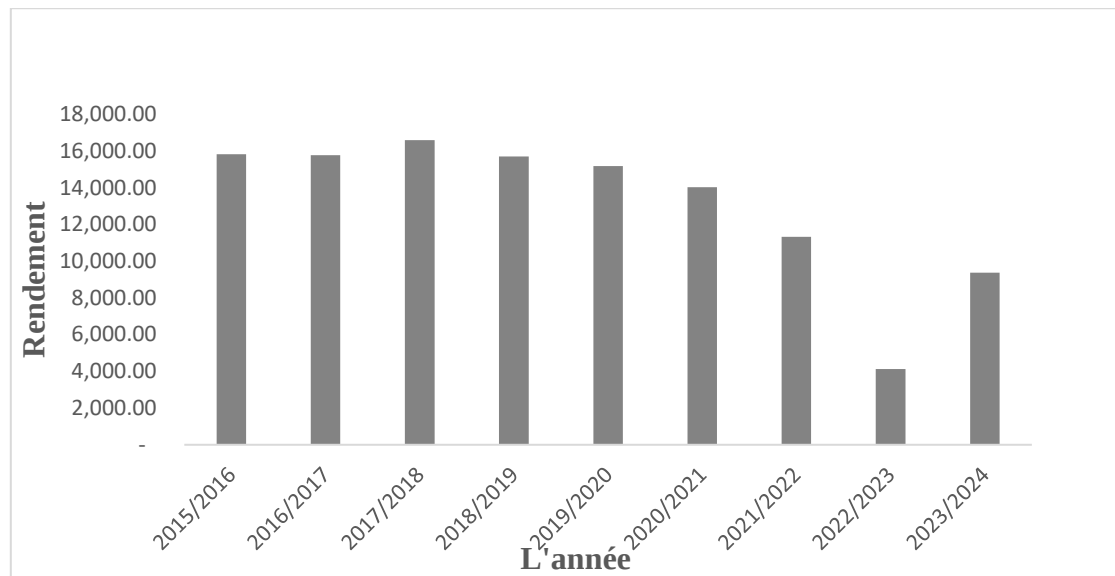


Figure 4: Production de melon au niveau de la wilaya de Bejaïa (2015-2024). (*DSA de Bejaïa*)

I.10. Intérêt nutritionnel et valorisation du lait végétal

Actuellement, les consommateurs se tournent davantage vers des aliments naturels et bénéfiques pour la santé. Parallèlement, les enjeux environnementaux prennent une place croissante, encourageant la valorisation des sous-produits issus de la transformation alimentaire. Les alternatives végétales au lait et aux produits laitiers suscitent un intérêt grandissant, notamment en raison des allergies, comme l'intolérance au lactose, ou de choix alimentaires liés au régime végétalien. Des laits d'origine végétale tels que ceux à base de soja, d'amande, de riz ou de coco sont déjà largement produits et consommés. En revanche, les laits obtenus à partir de graines de citrouille ou de melon n'ont, jusqu'à présent, été que peu étudiés (*Antonic et al., 2021*).

Des études, notamment celles de *Akubor (1998)*, soulignent son potentiel en tant que substitut au lait de soja, largement produit et consommé dans le monde. Avec une teneur notable en protéines (3,6 %) et en lipides (4 %), ainsi que l'absence de lactose, ce lait se distingue par sa valeur nutritionnelle intéressante. De plus, les travaux de (*Karakaya et al., 1995*) ont révélé qu'il pourrait également représenter une source importante de fer et de magnésium (*Zungur Bastioğlu et al., 2016*).

Chapitre II : Antioxydants du melon

Les composés bioactifs présents dans le corps humain jouent un rôle essentiel dans la lutte contre divers troubles liés au mode de vie, tels que l'incontinence causée par le cancer, le diabète, les douleurs abdominales, les calculs rénaux, la fièvre et la gale. En particulier, la capacité des composés phénoliques à inhiber l'oxydation est un mécanisme clé pour prévenir les dommages oxydatifs induits par les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène. Récemment, de nombreuses études ont été réalisées pour identifier les sources alimentaires riches en antioxydants et isoler les composés bioactifs présents dans les sources naturelles (*Lee et al., 2021*).

II.1. Antioxydants

Les antioxydants sont des substances capables de freiner ou d'empêcher l'oxydation d'autres molécules, protégeant ainsi les cellules des dommages causés par les radicaux libres, des molécules instables.

Les processus d'oxydation peuvent générer des radicaux libres qui, en initiant des réactions en chaîne, endommagent les cellules. Les antioxydants interviennent en stoppant ces réactions en neutralisant les radicaux libres intermédiaires, tout en inhibant d'autres processus d'oxydation. Ainsi, les antioxydants agissent souvent comme des agents réducteurs, tels que l'acide ascorbique, les polyphénols, et autres (*Assefa., 2016*).

II.2. Origine des antioxydants

On distingue deux sources d'antioxydants : l'une, exogène, provient principalement de l'alimentation, notamment des fruits et des légumes (antioxydants non enzymatiques), et l'autre, endogène, est constituée par des enzymes (antioxydants enzymatiques) (*Haleng et al., 2007*).

II.3. Différents types des antioxydants du melon

II.3.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques représentent la principale classe de métabolites secondaires chez les plantes. Ils sont principalement produits à partir de l'acide aminé phénylalanine, qui est transformé en acide cinnamique. Ces composés jouent un rôle clé dans la régulation de la croissance des plantes, et participent aux mécanismes de défense lors d'infections ou d'une exposition excessive au soleil. De plus, ils contribuent à la pigmentation des plantes (*Kubart., 2016*).

Ces composés se distinguent par la présence d'un cycle aromatique et d'un ou plusieurs groupes phénoliques dans leur structure (**figure 05**). Ils varient en fonction du nombre et de la position des groupes hydroxyles, ainsi que par la présence de différents substituants tels que des acides organiques et des groupements alkyles (*M'hiri, 2015*). Plus de 8000 structures de composés phénoliques ont été identifiées (*Laaboudi, 2012*).

Les flavonoïdes et les acides phénoliques constituent les polyphénols les plus répandus dans les fruits de melon (*Tadmor et al., 2010*). Tels que l'acide férulique, caféique et chlorogénique (*Fahamiya et al., 2016*).

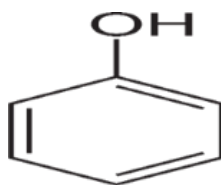


Figure 5: Structure de base d'un phénol (*Salta et al., 2007*).

Les composés phénoliques, tels que les acides phénoliques, les tanins et les flavonoïdes, constituent le groupe de composés phytochimiques le plus important des plantes (*Beta et al., 2005*).

➤ Flavonoïdes

Ce sont des composés de faible poids moléculaire sont responsables des teintes jaunes, oranges et rouges observées dans divers organes végétaux (*Ghedira, 2005*). Ils présentent une Structure de base composée d'un squelette carboné de 15 atomes de carbone (C₆-C₃-C₆), comme illustré Dans la **figure 06** (*Kamran Khan, 2010*). Dans la pulpe de melon on trouve divers types de flavonoïdes, tels que la lutéoline-7-glycoside, l'apigénine-7-glycoside, la lutéoline, l'apigénine, la flavone, l'isoflavone et l'améntoflavone. (*Mallek-Ayadi et al., 2022*).

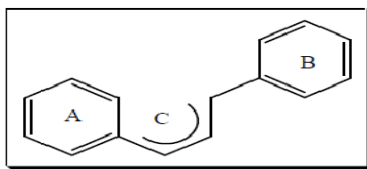


Figure 6 : Structure de base des flavonoïdes (*LAABOUDI, 2012*).

II.3.1.1. Classification des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont classés en fonction des différents substituants présents sur leur noyau et de leur degré de saturation. (*Guignard, 1996 ; Richter, 1993*).

II.3.1.2. Propriétés biologiques des composés phénoliques

Les composés phénoliques possèdent une large gamme de propriétés physiologiques (*Aberoumand et Deokule, 2008*), principalement attribuées à leur capacité antioxydante et à l'inhibition de certaines enzymes responsables de la production de radicaux libres (*Nakayama, 1994 ; Cos et al., 1998*).

A. Propriétés anti-inflammatoires

De nombreuses études montrent que les polyphénols possèdent des propriétés anti-inflammatoires (*Da Silva et al., 1994 ; Galati et al., 1994 ; Read., 1995*).

Ces effets anti-inflammatoires des composés polys phénoliques pourraient être attribués à leur capacité à inhiber des enzymes impliquées dans les processus inflammatoires (*Skerget et al., 2005*).

B. Propriétés anticancérigènes

Les flavonoïdes et autres composés phénoliques peuvent jouer un rôle préventif dans le développement du cancer (*Kähköen et al., 1999*) en inhibant les réactions oxydatives, en neutralisant les radicaux libres et en empêchant la formation d'ADN anormal (*Nissiotis et al., 2002*).

C. Propriétés antioxydantes

L'activité antioxydante des composés phénoliques est la mieux connue, et elle résulte de leur grande réactivité. Ces composés agissent comme donneurs de protons ou d'électrons, permettant ainsi de piéger les radicaux libres (*Ghedira., 2005*).

La biosynthèse des composés phénoliques, y compris les composés phénoliques simples, est considérée comme dérivant de la voie de shikimate, notamment pour des acides phénoliques tels que l'acide cinnamique et l'acide gallique (*Fatland et al., 2002 ; Tsao et al., 2009*).

La biosynthèse des polyphénols complexes, tels que les flavonoïdes, est liée au métabolisme primaire par le biais d'intermédiaires dérivés des plastes et des mitochondries. Chaque étape nécessite l'exportation de ces intermédiaires vers le cytoplasme, où ils sont intégrés dans différentes parties de la molécule. Le cycle aromatique B et le cycle chromane proviennent de l'acide aminé phénylalanine, lui-même issu de la voie shikimate, tandis que le cycle A est dérivé de trois unités de malonyl-CoA (voie de mevalonate) (*Fatland et al., 2002 ; Tsao et al., 2009*).

II.3.2. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des substances lipophiles, insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques. Ils constituent le groupe de pigments le plus courant dans la nature, présents dans tous les organismes photosynthétiques. Ces pigments sont responsables de la majorité des couleurs jaunes à rouges des fruits, légumes et fleurs (*Dragovic-Uzelac et al., 2007*).

Dans le melon, on peut identifier plusieurs caroténoïdes, notamment l' α -carotène, le β -carotène (**Figure 7**), la lutéine, la β -cryptoxanthine, le phytoène, la violaxanthine, la néoxanthine et la zéaxanthine (*Gómez-García et al., 2020*).

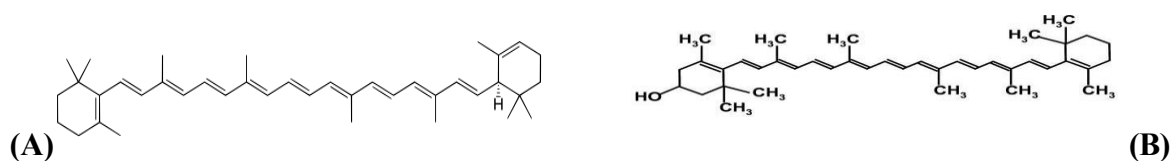


Figure 7 : Structures des principaux caroténoïdes présents dans le melon (A) α - carotène ; (B) β -cryptoxanthine (*Gómez-García et al., 2020*).

II.3.3. Vitamine C

La vitamine C, également appelée acide ascorbique, est une vitamine hydrosoluble qui se dégrade sous l'effet de la chaleur, des ultraviolets et de l'oxygène. Elle agit comme un puissant antioxydant, capable de neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de contribuer à réduire la peroxydation lipidique (*Boubekri., 2014*).

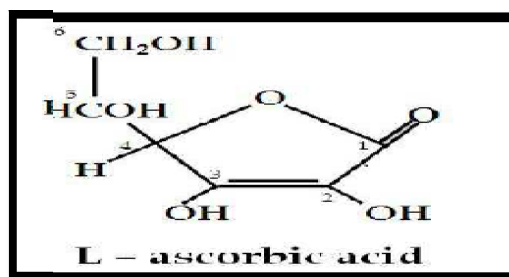


Figure 8 : Structure de l'acide ascorbique (*Morales-González et al., 2014*).

II.3.4. Huiles essentielles

Les huiles essentielles, également appelées essences ou parfums, sont des substances aromatiques volatiles, de texture huileuse, peu solubles dans l'eau mais plus ou moins solubles dans l'éther et l'alcool (*Bousbia., 2011*).

L'extraction des huiles essentielles peut être réalisée à l'aide de différentes méthodes, notamment la distillation à la vapeur, l'hydro-distillation ou une simple pression mécanique

(*Ferhat et al., 2016*). Chez *Cucumis melo*, l'acide linoléique est l'acide gras majoritaire, bien que sa teneur varie selon la variété. Par exemple, dans la variété de melon miel, des études ont rapporté des taux de 52,1 % à 65,5 %. L'acide oléique est également présent en proportions notables, allant de 15,8 % à 31,9 %. (*Yanty et al., 2008*).

II.4. Méthodes d'extraction

II.4.1. Généralités

Les composés phénoliques, en raison de leurs effets bénéfiques, sont largement utilisés dans divers secteurs tels que l'alimentaire, la pharmacie et la cosmétique (*Wang et al., 2006*). Leur potentiel suscite un intérêt croissant pour leur extraction à partir de matières végétales, dans le but de développer des alternatives naturelles, sûres et économiques aux composés synthétiques (*Jovanovic et al., 2017*).

En plus des méthodes traditionnelles d'extraction par solvant largement utilisées pour la récupération des composés phénoliques, des techniques non conventionnelles, plus rapides et automatisées, ont récemment été mises en œuvre. Parmi celles-ci figurent L'extraction par fluide supercritique (EFS), L'extraction assistée par micro-onde (EAM) et L'extraction assistée par ultrasons (EAU). Il a été prouvé que les micro-ondes et les ultrasons peuvent accélérer le processus d'extraction en améliorant l'efficacité de l'extraction des composés bioactifs, notamment des composés phénoliques (*Dahmoune et al., 2013*).

II.4.2. Définition de l'extraction

L'extraction consiste à séparer un mélange complexe de métabolites solubles présents dans les végétaux, tels que les alcaloïdes, les glucosides, les terpénoïdes et les polyphénols, de la matrice cellulaire insoluble. Cette séparation est réalisée à l'aide de solvants sélectifs, suivant des procédures d'extraction standardisées (*Handa et al., 2008*).

Étant donné que les extraits de polyphénols sont largement utilisés dans les domaines de l'alimentation, des produits médicaux et cosmétiques, le choix du solvant est une étape cruciale. L'eau, l'éthanol, le méthanol et leurs mélanges figurent parmi les solvants les plus couramment employés pour l'extraction des polyphénols (*Jovanovic et al., 2017*).

II.4.3. Procédures d'extraction des polyphénols par ultrason**A. Définition**

L'extraction par ultrasons (20-100 kHz) est une méthode innovante pour isoler des composés bioactifs, offrant une grande reproductibilité et une efficacité accrue. Cette technique permet d'obtenir des résultats en un temps réduit, jusqu'à trois fois plus rapide qu'une extraction conventionnelle par solvant (*Chemat et al., 2011*).

B. Mécanisme d'action des ultrasons dans l'extraction

L'extraction assistée par ultrasons peut être réalisée à l'aide de bains à ultrasons ou de sondes ultrasonores. Le processus repose sur la destruction des tissus végétaux par les ondes ultrasonores, qui pénètrent dans les cellules végétales sous forme de vibrations mécaniques. Ces vibrations entraînent des cycles d'expansion et de compression des microbulles, générant ainsi une augmentation locale de la température et de la pression (*Wang et Weller., 2006*). Ces effets mécaniques et thermiques entraînent la rupture des parois cellulaires et la libération des composés intracellulaires, tout en favorisant une meilleure pénétration du solvant dans la matière végétale. Cela améliore le transfert de masse et, par conséquent, augmente le rendement d'extraction des polyphénols (*Jovanovic et al., 2017*).

La taille initiale du matériel végétal n'a pas d'influence significative sur le rendement en polyphénols, car les ondes ultrasonores provoquent une légère réduction de la taille des particules (environ 5 %), des altérations cellulaires et des modifications de la microstructure. Ces effets favorisent une meilleure pénétration du solvant dans la matrice végétale et une libération accrue des composés bioactives, indépendamment de la granulométrie de départ (*Jovanovic et al., 2017*).

De nombreuses études ont démontré que l'extraction assistée par ultrasons permet d'obtenir des extraits particulièrement riches en polyphénols, tout en réduisant considérablement le temps d'extraction par rapport aux méthodes traditionnelles. Ainsi, cette technique apparaît comme une approche rapide et efficace pour l'extraction de polyphénols bioactifs à partir de diverses sources végétales (*Jovanovic et al., 2017*).

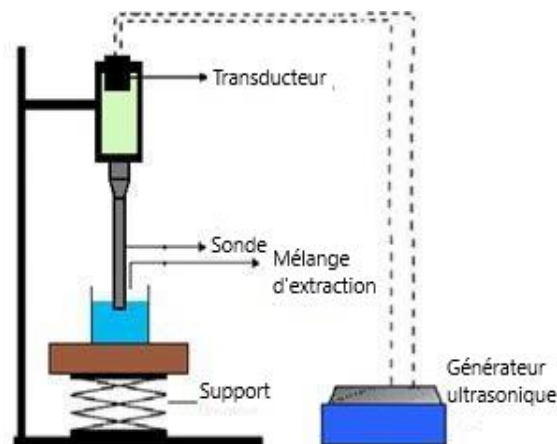


Figure 9 : Représentation schématique de l'installation UAE (*Jadhav et al., 2009*).

C. Avantages et inconvénients de la méthode d'extraction assistée par ultrasons

Tableau IV: Avantages et inconvénients de la méthode d'extraction assistée par ultrasons

La méthode d'extraction	Les avantages	Les inconvénients
Extraction assistée par ultrasons (UAE)	✓ Sa simplicité et son faible coût ✓ Facilité de mise en œuvre ✓ Extraction rapide et efficace ✓ Haut rendement d'extraction ✓ Consommation limitée de solvants (<i>Zhang et al., 2024</i>)	✓ La distribution non uniforme de l'énergie des ultrasons entraîne une dégradation des composés actifs présents dans les matrices végétales. Cette dégradation est principalement due à une pyrolyse oxydative provoquée par les radicaux hydroxyles ($\text{OH}^\cdot$) générés lors du phénomène de cavitation. (<i>Zhang et al., 2024</i>)

Partie pratique

Chapitre I :

Matériel et méthodes

I. Matériel végétal

Le matériel végétal est composé de graines de fruits de melon (*Cucumis melo*), acheté sur le marché local de la wilaya de Béjaïa durant l'été 2024.

II. Préparation des échantillons

II.1. Séchage

Le matériel végétal frais a été séché à l'air libre pendant plusieurs jours. La température constitue un facteur déterminant dans le processus de déshydratation des produits végétaux.

II.2. Broyage et tamisage

Les graines de melon sèches ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique (KIT chef), permettant leur réduction en particules plus ou moins fines. La poudre obtenue a ensuite été tamisée à l'aide d'un tamiseur (SAULAS) muni de mailles de 500 μm de diamètre, afin d'obtenir une poudre homogène. Celle-ci a été ensuite stockée dans des bocaux en verre opaques, hermétiquement fermés, à l'abri de la lumière et de l'humidité, et conservée à température ambiante jusqu'à son utilisation.

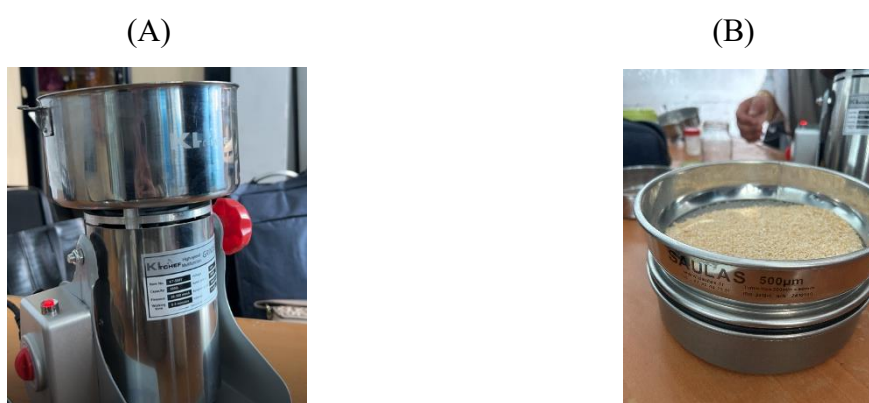


Figure 10 : Illustration représentant les différentes étapes de préparation de l'échantillon : (A) broyage, (B) tamisage.

III. Optimisation d'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante

III.1. Préparation des extraits phénoliques

L'extraction constitue une étape cruciale préalable à l'analyse qualitative et quantitative des composés phénoliques. De nombreux facteurs influencent à la fois le rendement et la qualité des extraits, tels que la méthode d'extraction choisie, le pH, la température, l'exposition à la lumière, le stade de récolte du matériel végétal. Par ailleurs, la solubilité des composés phénoliques dépend fortement de la polarité du solvant utilisé.

III.1.2. Extraction assistée par ultrason

L'extraction des polyphénols à partir de la poudre de graines de melon a été effectuée par sonication à l'aide d'une sonde ultrasonique (Figure 11), fonctionnant à différentes amplitudes (20 %, 60 %, 100 %) et pendant des durées variables (30 s, 60 s, 90 s). Pour chaque essai, 0,5 g de poudre ont été mélangés avec 10 ml d'un mélange éthanol/eau à différentes concentrations (30 %, 55 %, 80 %). Après traitement, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre, et le surnageant obtenu a été récupéré pour les diverses analyses.



Figure 11 : Illustration de l'extraction des PPT à partir des graines de melon (**ultrason**).

Dans le but d'optimiser les paramètres d'extraction, les extraits obtenus ont été soumis à des dosages des polyphénols totaux (TPC) et l'activité antioxydante (AA). Les résultats de ces dosages ont été obtenus à partir des équations de régression linéaire établies à partir des courbes d'étalonnage, présentées en annexe, et exprimés en mg équivalent de l'acide gallique pour 1g de matière végétale sèche.

III.2. Etude quantitative

III.2.1. Dosage des composés phénoliques totaux

A-Principe

La détermination des polyphénols totaux repose sur la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce réactif est un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), qui est réduit en présence de composés phénoliques et de carbonate de sodium. Cette réduction conduit à la formation d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}), responsables d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en polyphénols (*Georgé et al., 2005 ; Lapornik et al., 2005 ; Boizot et al., 2006.*)

B-Mode opératoire

La concentration en composés phénoliques (CP) dans les extraits obtenus a été déterminée par une méthode de dosage colorimétrique, basée sur le protocole décrit par Singleton et al., avec quelques modifications. Un volume de 100 µL de l'extrait a été mélangé à 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué à 10 %). Le mélange a été homogénéisé à l'aide d'un vortex, puis 2 ml de carbonate de sodium (Na₂CO₃ à 7,5 %) ont été ajoutés, le mélange a été incubé au bain-marie à 45 °C pendant 40 minutes. L'absorbance a ensuite été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (*Ait Bella et al., 2023*). Les résultats sont exprimés en mg équivalents d'acide gallique par 1 g MS par rapport à une courbe d'étalonnage (Annexe I).

III.2.2. Mesure de l'activité antioxydante**A-Principe**

Cette méthode repose sur la capacité des antioxydants à piéger le radical libre 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH). Lorsqu'une solution de DPPH est mise en présence d'une substance capable de céder un atome d'hydrogène, le radical DPPH est réduit en sa forme non radicalaire (*Sharif et al., 2008*).

La solution alcoolique de DPPH° présente une couleur violette intense, qui s'estompe en présence d'un piègeur de radicaux dans le système réactif, lorsque l'électron célibataire de l'atome d'azote du DPPH est neutralisé (*Deng et al., 2011*).

B-Mode opératoire

L'activité antioxydante, basée sur le piégeage du radical libre DPPH•, a été évaluée selon la méthode décrite par (*Dudonne et al., 2009*). Pour ce faire, 3 ml de la solution de DPPH ont été ajoutés à 100 µL d'extrait d'échantillon. Les mélanges obtenus ont été incubés pendant 20 minutes à 37 °C dans un bain-marie. L'absorbance a ensuite été mesurée à une longueur d'onde de 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (*Dairi et al., (2021)*).

L'activité antiradicalaire de l'extrait a été déterminée en calculant le pourcentage d'inhibition du radical DPPH (% DPPH) selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(A (\text{contrôle}) - A (\text{échantillon})) / A (\text{contrôle})] \times 100$$

Avec : A (Contrôle) : absorbance de la solution de DPPH sans l'échantillon ;

A (Echantillon) : absorbance de l'extrait (*Dairi et al., (2021)*).

III.3. Test de l'activité antimicrobienne de la poudre et du lait issus des graines de melon

- **Extraction ultrasonique de la poudre des graines de melon**

Une extraction par ultrason a été réalisée dans des conditions optimales, pour cela, 5g de poudre ont été pesés puis ajouté 100 ml d'éthanol à 55 %. L'extraction a été effectuée pendant 60 secondes à une amplitude de 60%.

A la fin de l'extraction, le mélange a été placé dans une étuve de 40°C pendant 2 jours afin de permettre l'évaporation du solvant et l'obtention de l'extrait sèche.

III.3.1. Préparation d'une solution d'extrait sec de melon pour les tests antimicrobiens

Pour préparer la suspension destinée aux tests microbiologique, 200 mg de cette poudre sèche ont été prélevés puis dissous dans 2ml de diméthyl-sulfoxyde (DMSO).



Figure 12 : Photographie de l'extrait de la poudre de graines de melon.

III.3.2. Préparation des suspensions microbiennes et réalisation du test antimicrobien

Avant d'effectuer le test antimicrobien, il est essentiel de préparer les suspensions des micro-organismes cibles. Cette préparation a été réalisée 24 heures à l'avance afin d'assurer une croissance optimale et une viabilité suffisante des germes au moment de l'expérimentation.

Chaque germe a été cultivé sur un milieu spécifique adapté à ses besoins :

- *E. coli* : milieu EMB
- *Vibrio cholerae* : milieu GN
- *Salmonella enterica* : milieu SS
- *Staphylococcus aureus* : milieu Chapman
- *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus* et *Candida albicans* : milieu GN
- *Aspergillus romania* et *Penicillium romania* : milieu GN également

Après la solidification des milieux dans des boîtes de Pétri stériles, chaque germe a été soigneusement ensemencé. L'incubation a ensuite été réalisée selon les conditions adaptées à chaque type de micro-organisme :

- À 37°C pour les bactéries pathogènes
- À 25°C pour les champignons

Le lendemain, des suspensions microbiennes standardisées ont été préparées :

- Une colonie de chaque souche a été prélevée et transférée dans un tube contenant 5 ml de solution physiologique stérile.
- Les suspensions ont été homogénéisées à l'aide d'un vortex.
- La densité optique (DO) a été ajustée à 600 nm, correspondant à une concentration d'environ 10^6 UFC/ml, afin d'assurer une inoculation uniforme.

En parallèle, des boîtes de Pétri contenant du milieu Mueller-Hinton (MH) ont été préparées.

Une fois le milieu solidifié :

- Des puits ont été créés à l'aide d'une pipette Pasteur stérile.
- Dans chaque puits, 100 μ L d'extrait préparé à partir de lait (sa préparation est détaillée en page 24) et de l'extrait de graine dissous dans du DMSO ont été déposés.
- Les boîtes ont ensuite été incubées à :
 - 37°C pour les bactéries.
 - 25°C pour les champignons.

Après 24 heures d'incubation pour les bactéries et 48 heures pour les champignons, les boîtes ont été examinées afin d'évaluer l'effet inhibiteur des extraits. Cette dernière étape permet de déterminer la présence éventuelle d'une activité antimicrobienne liée aux substances testées.

III.4. Etude préliminaire

Une étude préliminaire a été menée afin de déterminer les conditions optimales d'extraction assistée par ultrasons (UAE) des PPT à partir de la poudre de graines de melon, ainsi que pour évaluer leur AA.

III.4.1. Choix de la concentration du solvant d'extraction

L'extraction a été réalisée en utilisant un seul type de solvant, un mélange éthanol/eau, à différentes concentrations (30 %, 55 % et 80 %), en variant le temps et l'amplitude d'extraction. La proportion optimale du solvant a été déterminée en fonction des résultats obtenus, en privilégiant celle ayant permis d'extraire la plus grande quantité de polyphénols totaux et présentant la meilleure activité antioxydante.

III.4.2. Temps d'extraction

Différentes durées d'extraction ont été testées afin de déterminer le temps optimal. Ce dernier a été choisi sur la base de la concentration la plus élevée en PPT et de L'AA correspondante.

III.4.3. Amplitude d'extraction

L'amplitude d'extraction a été fixée après plusieurs essais, dans le but d'identifier celle permettant d'obtenir la concentration la plus élevée en PPT ainsi qu'en AA.

IV. Méthodologie de surface de réponse (MSR)

L'optimisation de l'extraction des polyphénols totaux (PPT) et de l'activité antioxydante (AA) à partir des extraits de la poudre des grains de melon a été effectuée à l'aide de la méthodologie de surface de réponse, en appliquant le plan Box-Behnken (BBD) via le logiciel JMP.

L'objectif de cette étude est d'analyser l'interaction entre les différents paramètres d'extraction afin de déterminer les combinaisons optimales permettant de maximiser les rendements en PPT et en AA.

IV.1. Application du plan d'expérience

L'optimisation de la méthode d'extraction a été réalisée en utilisant un plan Box-Behnken à trois niveaux, afin d'évaluer l'effet combiné de trois variables indépendantes : la concentration du solvant (X1), le temps d'extraction (X2) et l'amplitude (X3).

Une étude préliminaire a permis de définir les valeurs minimale et maximale de ces variables influentes, lesquelles sont présentées dans le tableau V.

Tableau V: Valeurs minimale et maximale des facteurs retenus ont été définies en vue de la conception du plan d'expérience.

Variables indépendantes	Niveau des facteurs		
	-1	0	+1
X ₁ : solvant (éthanol%)	30	55	80
X ₂ : temps(seconds)	30	60	90
X ₃ : Amplitude (%)	20	60	100

Les différentes combinaisons utilisées pour optimiser les conditions d'extraction sont présentées dans le tableau V

Tableau VI: Combinaisons effectuées pour l'optimisation des conditions d'extraction.

Essai n°	EthOH (%)	Time(sec)	Amplitude	X1 (%)	X2 (sec)	X3
1	30	30	60	-1	-1	0
2	30	90	60	-1	1	0
3	80	30	60	1	-1	0
4	80	90	60	1	1	0
5	55	30	20	0	-1	-1
6	55	30	100	0	-1	1
7	55	90	20	0	1	-1
8	55	90	100	0	1	1
9	30	60	20	-1	0	-1
10	80	60	20	1	0	-1
11	30	60	100	-1	0	1
12	80	60	100	1	0	1
13	55	60	60	0	0	0
14	55	60	60	0	0	0
15	55	60	60	0	0	0

V. Valorisation des graines de melon

V.1.Récupération du lait végétal

10 g de poudre de graines de melon ont été pesés et mélangés à 40 ml d'eau distillée. Le mélange a ensuite été agité pendant 10 minutes à l'aide d'une plaque agitante. Après agitation, les graines ont été laissées au repos pendant quelques minutes afin de permettre leur sédimentation. Le lait végétal a alors été récupéré.

L'opération a été répétée à l'aide de quatre rinçages successifs avec des volumes d'eau différents (40 ml, 40 ml, 10 ml et 2 ml). Le lait végétal obtenu a été filtré à l'aide d'un papier filtre afin d'éliminer les résidus de graines de melon, puis conservé dans des flacons en verre, placés au congélateur jusqu'à son utilisation.

V.2.Analyses physico-chimiques

Le lait végétal est décongelé à température ambiante.



Figure 13 : Photographie du lait décongelé.

A-Acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée à partir d'un échantillon de 10 ml de lait de melon, titré à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 0,1 M, en présence de phénolphthaléine comme indicateur de virage. Le résultat a été exprimé en pourcentage d'acide citrique, en utilisant la formule suivante : *(Omole, J. O., et al., 2012)*.

$$\text{Acidité titrable (g/100g)} = \frac{C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 0,064}{\text{Prise d'essai}} \times 100$$

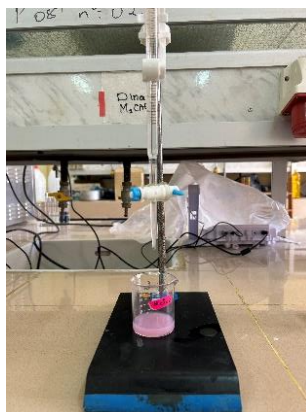


Figure 14 : Photographie du test d'acidité titrable.

B-Taux en matières solides solubles (TSS)

La valeur est obtenue en plaçant quelques gouttes de l'échantillon sur le prisme du réfractomètre. La lecture se fait à l'intersection des zones claire et sombre sur l'échelle graduée. Afin de garantir la fiabilité des résultats, la mesure est réalisée plusieurs fois. Entre chaque utilisation, le prisme est soigneusement nettoyé à l'eau distillée.



Figure 15 : Photographie d'un réfractomètre de paillasse.

C-Taux de cendres

La teneur en cendres du lait a été déterminée selon la méthode officielle AOAC 972.15 (AOAC, 2006). Cette méthode consiste à incinérer l'échantillon à 500 °C dans un four à moufle jusqu'à obtention d'une cendre blanchâtre. Un volume de 5 ml de lait est d'abord versé dans des creusets en porcelaine, puis soumis à une incinération à 500 °C pendant 5 heures (M'hiri., 2015).

Après incinération, les creusets sont retirés du four, refroidis dans un dessiccateur, puis pesés (M'hiri., 2015).

Le pourcentage de cendres est ensuite calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Teneur en cendres (\%)} = (\text{masse de cendre} / \text{masse initiale de l'échantillon}) \times 100$$

NB : la masse initiale de l'échantillon est exprimé par rapport à la matière sèche (*M'hiri 2015*).

D-Dosage des protéines

Le dosage des protéines est effectué selon la méthode décrite par (*Bradford et al.,1976*). Pour cela, 200 μ l de lait sont mélangés avec 2,5 ml de réactif de Bradford. Après une incubation de 5 minutes, l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 595 nm. La concentration en protéines est ensuite déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage réalisée avec de la sérumalbumine bovine (BSA) (voir Figure 22, Annexe 1) (*Bradford.,1976*).



Figure 16 : Photographie du dosage des protéines.

E-Dosage des composés phénoliques totaux (Cette expérience a été réalisée selon le protocole déjà détaillé à la page 19)



Figure17 : Photographie du dosage des composés phénoliques.

Chapitre II :

Résultats et discussion

I. Optimisation d'extraction des composés phénoliques et activité antioxydante

I.1. Extraction assistée aux ultrasons

Dans le cadre de ce travail, la méthode d'extraction assistée par ultrasons (EAU) a été mise en œuvre afin d'optimiser les conditions d'extraction des PPT ainsi que de l'activité des gaines de melon.

Trois paramètres ont été étudiés pour chaque méthode : la concentration du solvant, le temps d'extraction, l'amplitude.

I.2. Etude préliminaire

Dans le cadre de cette étude, l'éthanol a été sélectionné comme solvant d'extraction. Plusieurs paramètres ont ensuite été optimisés, notamment la concentration en éthanol (30 %, 55 % et 80 %), l'amplitude (20 %, 60 % et 100 %), le temps d'extraction (30 s, 60 s et 90 s), ainsi que le ratio solvant/matière (0,5/10 ml, v/v). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide gallique (EAG) pour 1g de matière sèche pour la teneur en composés phénoliques totaux, et en pourcentage d'inhibition du radical DPPH pour l'évaluation de l'activité antioxydante.

I.2.1. Effet de la concentration de solvant d'extraction assistée aux ultrasons

L'extraction par solvant constitue un facteur déterminant dans l'extraction des composés phénoliques et dans l'efficacité de l'activité antioxydante. Cette dernière varie en fonction du solvant utilisé, en raison des différences de potentiel antioxydant entre les composés de polarités distinctes (*Asséfa., 2016*).

Divers solvants, tels que l'eau acidifiée, l'éthanol, les alcools, l'acétone ou encore l'eau pure, ont été largement utilisés pour l'extraction des composés phénoliques à partir de matrices végétales. Parmi eux l'éthanol en particulier a démontré une forte affinité pour les composés phénoliques dans de nombreux systèmes, ce qui en fait le solvant de choix pour l'extraction de ces composés à partir de fruits et légumes. (*Kumar et al.,2021*).

Outre son efficacité, plusieurs raisons justifient l'utilisation préférentielle de l'éthanol : son coût relativement bas, son origine renouvelable (notamment à partir de la canne à sucre), ainsi que sa classification comme solvant sans danger (*Kumar et al.,2021*).

En effet, l'augmentation de la concentration permet d'améliorer le rendement en composés phénoliques jusqu'à un seuil optimal. Au-delà de ce seuil, une concentration plus

élevée peut entraîner une baisse du rendement, comme l'ont montré (*Kumar et al.,2021*) dans leur étude menée sur la peau de pamplemousse.

I-2-2- Effet du temps d'extraction

Le temps d'extraction constitue un paramètre clé influençant le taux d'extraction des composés antioxydants.

La durée de l'extraction assistée par ultrasons (UAE) influence fortement la libération des composés bioactifs. Un temps de sonication modéré augmente le rendement, mais un excès entraîne une baisse, comme avec une température ou une puissance trop élevée. (*Kumar et al.,2021*), dans leur étude sur la peau de pamplemousse, montrent que le temps optimal de sonication améliore l'extraction, mais qu'un excès nuit au rendement.

Cette amélioration initiale est attribuée à l'effet de cavitation provoqué par les ultrasons, qui favorise le gonflement, l'hydratation, la fragmentation ainsi que la formation de pores au sein de la matrice tissulaire végétale. Ces mécanismes facilitent la libération des composés solubles en augmentant leur accessibilité au solvant d'extraction, ce qui améliore temporairement le rendement (*Kumar et al.,2021*).

I-2-3 – Effet de l'intensité des ultrasons (amplitude)

L'amplitude de sortie et le cycle d'utilisation de la sonde à ultrasons influencent directement l'énergie transmise au système. Cette énergie est essentielle pour extraire les composés cibles de la matrice. Toutefois, une intensité ultrasonore trop élevée peut également accélérer la dégradation des composés phénoliques (*Carrera et al., (2012)*).

Lors d'une extraction assistée par ultrasons d'une durée de 30 minutes, une dégradation pouvant atteindre 75 % a été observée. Ce phénomène s'accroît avec l'augmentation de l'amplitude, favorisant diverses réactions, notamment la formation de radicaux libres. Dans de telles conditions, les composés phénoliques peuvent agir comme piègeurs de ces espèces réactives de l'oxygène, subissant à leur tour des réactions d'oxydation (*Carrera et al., 2012*).

Ainsi, différentes valeurs d'amplitude et de cycles d'utilisation ont été testées, en commençant par les plus faibles autorisées, afin de limiter ces effets indésirables tout en assurant une extraction efficace. (*Carrera et al., 2012*).

II. Conditions optimales

II.1. Méthodologie de surface de réponse

À l'issue de l'étude de l'influence de trois paramètres sur l'extraction des composés phénoliques et de l'activité antioxydante de la poudre de graines de melon, ces trois facteurs se sont révélés pertinents, en raison de leur impact significatif sur l'efficacité de l'extraction des antioxydants.

Dans cette section, l'optimisation de l'extraction des antioxydants est réalisée à l'aide de la méthodologie de surface de réponse, selon le protocole décrit par (*Goupy, 2006*). La MSR est une technique statistique de modélisation mathématique permettant d'optimiser les expériences, de simplifier l'analyse statistique et d'identifier les interactions entre les variables (*Bachir et al., 2014*).

La méthodologie de surface de réponse est l'une des approches les plus répandues pour l'optimisation expérimentale. Elle permet d'explorer les relations entre les variables à l'aide de plans d'expériences, tout en maximisant l'information obtenue avec un nombre minimal d'essais. La construction des surfaces de réponse repose sur l'ajustement de modèles mathématiques aux données expérimentales (*Goupy, 2006*).

La méthodologie de surface de réponse (MSR) repose sur trois étapes principales :

1. L'élaboration du plan expérimental ;
2. La modélisation de la réponse ;
3. La représentation graphique des résultats.

Dans le cadre d'une étude MSR, des plans quadratiques sont généralement utilisés, tels que le plan de Box-Behnken. Ce dernier a été retenu pour optimiser les conditions d'extraction des antioxydants à partir de la poudre de graines de melon.

II.2. Application du plan d'expérience

Sur la base des résultats de l'étude préliminaire, les plages de variation des variables indépendantes à savoir l'amplitude (20 à 100 %), la concentration en solvant (éthanol/eau à 30 à 80 % v/v) et le temps d'extraction (30 à 90 secondes) ont été définies pour l'élaboration du plan d'expérience. Ce plan a été construit à l'aide du logiciel JMP, selon le modèle Box-Behnken, afin d'évaluer l'effet de ces variables sur la teneur en composés phénoliques totaux et l'activité antioxydante de la poudre de graines de melon.

II.2.1. Vérification du modèle

Les conditions optimales d'extraction des composés phénoliques et de l'activité antioxydante à partir de la poudre de graines de melon dépendant de la concentration en solvant, de l'amplitude et du temps d'extraction ont été déterminées à l'aide des équations prédictives issues de la méthode de surface de réponse. Les valeurs expérimentales obtenues ont ensuite été comparées aux valeurs prédites afin d'évaluer la validité du modèle (Tableau VII).

Tableau VII: Valeurs expérimentales de l'optimisation des conditions d'extraction des polyphénols totaux et l'activité antioxydante par le plan BBD pour la poudre des graines de melon.

Essai n°	Ethan (%)	Time(se c)	Amplitu de (%)	X1 (%)	X2 (sec)	X3	Y1(%)	Y2 (mg/g)
1	30	30	60	-1	-1	0	9,02	3,00
2	30	90	60	-1	1	0	12,94	5,67
3	80	30	60	1	-1	0	10,20	1,57
4	80	90	60	1	1	0	5,75	1,48
5	55	30	20	0	-1	-1	14,64	0,51
6	55	30	100	0	-1	1	8,76	5,76
7	55	90	20	0	1	-1	14,51	0,31
8	55	90	100	0	1	1	4,84	6,25
9	30	60	20	-1	0	-1	17,78	1,36
10	80	60	20	1	0	-1	10,33	0,62
11	30	60	100	-1	0	1	2,75	1,04
12	80	60	100	1	0	1	8,10	3,47
13	55	60	60	0	0	0	13,59	5,53
14	55	60	60	0	0	0	13,20	4,07
15	55	60	60	0	0	0	8,89	3,61

Avec :

Y1 : rendement en activité antioxydante

Y2 : rendement en polyphénols totaux

- X1 : pourcentage d'éthanol (codé)

- X2 : temps d'extraction (codé)
- X3 : amplitude (codé)

Les résultats montrent que le taux d'extraction des PPT varie entre 0,31 à 6,25 mg EAG/g et ceux de l'AA varient entre 2,75% à 17,78%.

Selon *Nagendra et al (2011)*, d'autres paramètres tels que le rapport solide/liquide, le pH et la granulométrie peuvent également influencer l'extraction des polyphénols totaux. Par ailleurs, d'après *Amor (2008)*, la fréquence et la pression des ultrasons appliqués peuvent moduler l'efficacité de l'action ultrasonore, impactant ainsi le rendement de l'extraction.

II.2.2. Analyse de la variance

L'analyse de la variance permet de déterminer un paramètre statistique essentiel : le coefficient de détermination (R^2). Ce coefficient évalue la qualité du modèle utilisé. Plus sa valeur est proche de 1, plus le modèle possède une forte capacité explicative ; à l'inverse, une valeur proche de 0 indique une faible capacité explicative (*Bachir-Bey., 2015*).

Les valeurs de R^2 , respectivement de 0,705 pour les composés phénoliques et de 0,926 pour l'activité antioxydante, indiquent que les deux modèles de réponse sont statistiquement significatifs pour le premier, et hautement significatif pour le second.

Tableau VIII : Coefficient de détermination R^2 et R^2 ajusté des composés phénoliques et de l'activité antioxydante.

Composés phénoliques	
R^2	0,705
R^2 ajusté	0,173
Activité antioxydante	
R^2	0,926
R^2 ajusté	0,794

Le R^2 ajusté est une version corrigée du R^2 , qui tient compte de l'élimination des termes non significatifs du modèle. Lorsqu'un grand nombre de variables non significatives sont incluses dans un modèle, le R^2 ajusté tend à être inférieur au R^2 (plus petit). C'est ce que l'on observe, par exemple, pour les composés phénoliques présentés dans le tableau VIII (*Chan et al., 2009*).

II.2.3. Analyse du manque d'ajustement

Les valeurs de p sont utilisées pour évaluer la signification statistique de chaque coefficient du modèle, ainsi que pour estimer l'intensité des interactions entre les paramètres. Plus la valeur de p est faible, plus le coefficient correspondant est considéré comme significatif (*Chan et al., 2009*). En d'autres termes, la probabilité associée à un paramètre reflète son influence : un paramètre est jugé significatif lorsque p est inférieur à 0,05 ($p < 0,05$).

Le tableau IX indique des probabilités de manque d'ajustement de 0,396 pour les composés phénoliques et de 0,0226 pour l'activité antioxydante. Ces résultats montrent que le manque d'ajustement n'est pas significatif pour les composés phénoliques, tandis qu'il est significatif pour l'activité antioxydante ($\text{Prob} < 0,05$).

Tableau IX : Synthèse des effets des facteurs sur les polyphénols totaux (PPT) et l'activité antioxydante (AA)

Modèle	Facteur	Type d'effet	Direction	Significativité (p)
RSA (Y1)	L'amplitude (X_3)	Principal	Négative	0,002 Significatif
	L'interaction positive $X_1 X_3$	Interaction	Positive	0,019 Significatif
TPC (Y2)	L'amplitude (X_3)	Principal	Positive	0,054 Limite de Significativité
	Ethanol (X)	Principal		
	Temps (X)	Principal		

- D'après ce tableau, on peut interpréter que pour le RSA (Y_1), le facteur "amplitude" (X_3) exerce un effet fortement négatif sur l'activité antioxydante : plus l'amplitude est élevée, plus l'inhibition du DPPH diminue. Par ailleurs, l'interaction positive entre X_1 (éthanol) et X_3 indique que l'impact de l'éthanol varie en fonction de l'amplitude : à forte amplitude, une augmentation de la concentration en éthanol peut contribuer à limiter la diminution du RSA.

- D'après ce tableau, on peut interpréter que pour le TPC (Y_2), l'amplitude (X_3) exerce un effet positif, bien que non significatif au seuil de 5 %. Les autres facteurs et interactions ne

présentent pas d'influence statistiquement significative. Ces résultats suggèrent que d'autres paramètres ou une optimisation plus précise seraient nécessaires pour améliorer l'extraction des composés phénoliques.

II.2.4. Analyse du modèle mathématique

Dans cette étude, le modèle mathématique adopté en conjonction avec le plan Box-Behnken à trois facteurs (la concentration du solvant, le temps d'extraction et l'amplitude) est un modèle quadratique classique (de second degré). Celui-ci a été volontairement simplifié par l'élimination des effets d'interactions jugés non significatifs lors de l'analyse statistique.

Cette simplification permet une manipulation plus aisée de l'expression réduite du modèle, tout en conservant une qualité d'ajustement quasiment équivalente à celle du modèle complet.

Selon les résultats de l'étude (basée sur les 15 essais réalisés), les valeurs des coefficients significatifs ainsi que la fonction décrivant le processus d'extraction des PPT et de AA à partir de la poudre de graines de melon sont désormais bien établies.

Pour les composés phénoliques

$$Y_{\text{PPT}} = 4,40 - 0,49X_1 + 0,36X_2 + 1,72X_3 - 1,53X_1^2 + 0,06X_2^2 - 1,25X_3^2 - 0,69X_1X_2 + 0,79X_1X_3 + 0,17X_2X_3$$

Pour l'activité antioxydante

$$Y_{\text{AA}} = 11,89 - 1,01X_1 - 0,57X_2 - 4,10X_3 - 1,68X_1^2 - 0,73X_2^2 - 0,47X_3^2 - 2,09X_1X_2 + 3,20X_1X_3 - 0,95X_2X_3$$

Avec :

Y_{PPT} : rendement en polyphénols totaux

Y_{AA} : rendement en activité antioxydante

- X_1 : pourcentage d'éthanol
- X_2 : temps d'extraction (codé)
- X_3 : amplitude (codé)

Il est bien établi que les conditions d'extraction ainsi que les caractéristiques de l'échantillon influencent de manière significative la fiabilité et l'efficacité du processus d'extraction.

L'extraction des PPT constitue une étape cruciale, nécessitant des conditions optimales afin de maximiser le rendement tout en minimisant la dégradation des composés. L'utilisation de l'extraction assistée par ultrasons présente un intérêt particulier sur le plan industriel dans le

domaine de la transformation alimentaire, car elle favorise l'extraction des PPT à partir de matrices végétales et permet d'en améliorer le rendement (*Garcia-Salas et al., 2010*).

II.2.5. Détermination des conditions optimales

Les conditions requises pour maximiser l'extraction des composés phénoliques et de l'activité antioxydante sont déterminés à l'aide du logiciel JMP. Les niveaux des trois facteurs étudiés concentration du solvant, temps et L'amplitude d'extraction sont l'éthanol 55%, et temps 60 s et L'amplitude 60 % respectivement. Des conditions qui permettent de donner des prédictions de 4,37mg EAG/ g MS pour les composés phénoliques et de 13,53% pour l'activité antioxydante (tableau X).

Tableau X : Conditions et valeurs optimales pour l'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante des graines de melon par la MSR.

Paramètre optimisé	Valeur optimal
Concentration de solvant	55 %
Temps d'extraction	60 s
L'amplitude	60 %
Composés phénoliques	4,37mg EAG/ g MS
Activité antioxydante	13,53%

Afin de valider les résultats obtenus par MSR et le plan de plan Box-Behnken concernant l'optimisation de l'extraction des polyphénols et de l'activité antioxydante de la poudre de graines de melon, une extraction supplémentaire a été réalisée. Les valeurs mesurées (4,37 mg EAG/ g MS et 13,53 %, respectivement) se sont révélées très proches des valeurs théoriques prédites (4,72 mg EAG/ g MS et 13,39 %, respectivement).

Nos résultats concernant les extraits de poudre de graines de melon sont supérieurs à ceux rapportés par (*Rolim et al.,2018*), qui ont étudié la même variété de melon en utilisant la méthode HPLC et le réactif de Folin-Ciocalteu pour l'identification et la quantification des composés phénoliques, ont rapporté une teneur en composés phénoliques totaux de 2,56 mg EAG/g MS. En comparaison, notre étude a révélé une teneur plus élevée de 4,37 mg EAG/g MS, ainsi qu'une activité antioxydante de 13,53 %, nettement supérieure aux 8,87 % observés dans leur analyse.

Ces différences peuvent s'expliquer par la variation du profil polyphénolique des extraits végétaux, influencé par divers facteurs tels que la variété, le climat, la localisation géographique

(Bentabet *et al.*, 2014), la présence éventuelle de maladies, le stade de maturité des plantes, ainsi que la température et le type de solvant utilisé pour l'extraction (Sousa *et al.*, 2008). Par ailleurs, la teneur en composés phénoliques dépend fortement de la polarité du solvant d'extraction, les solvants polaires permettant une meilleure solubilité des phénols et, par conséquent, une concentration plus élevée dans les extraits (Conde *et al.*, 2009). La méthode d'extraction elle-même peut également influencer significativement sur la quantité de composés phénoliques obtenue.

III. Activité antimicrobienne

Suite aux tests effectués, aucune activité antimicrobienne n'a été observée avec les extraits de graines de melon, ni avec le lait obtenu à partir de la poudre de ces graines, que ce soit vis-à-vis des bactéries ou des champignons, dans les conditions expérimentales appliquées (puits contenant 100 μ L d'extrait). Cette absence d'activité pourrait être due à une concentration insuffisante en composés actifs. Il est donc envisageable que, par une modification des conditions expérimentales, notamment en augmentant le volume ou la concentration des extraits, une activité antimicrobienne puisse être révélée.

IV. Caractéristiques physico-chimiques du lait de la poudre des graines de melon

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'analyse des caractéristiques physico-chimiques du lait de la poudre des graines de melon.

Tableau VIII: Caractéristiques physico-chimiques du lait de la poudre des graines de melon.

Les paramètres physico-chimiques	Les tenures obtenues
Taux d'acidité titrable	0,04%
Taux en matières solides solubles (TSS)	> 95%
Taux de cendres	0,10%
Teneur en protéines	1,47 mg EBSA /g MS
Teneur en TPC	3,10 mg EAG/g MS

Dans le cas du lait extrait à partir de la poudre de graines de melon, les résultats montrent un rendement élevé, notamment une forte teneur en composés solubles > 95 % ce qui reflète la richesse nutritionnelle de la poudre de graines de melon en composés solubles comme les sucres, les protéines et les minéraux. Suivie par une concentration en composés phénoliques totaux de 3,10 mg EAG/g MS, une teneur en protéines de 1,47mg EBSA/g MS, un taux de cendres de 0,10 %, et une acidité titrable de 0,04 %. Cette variabilité des teneurs peut être attribuée à plusieurs facteurs influençant l'efficacité de l'extraction : la méthode utilisée, la granulométrie des particules, la durée d'extraction, la nature et le volume du solvant (eau), ainsi que l'effet de décongélation du lait.

Selon (*Aydın.,2024*), le lait extrait des graines de melon présente une teneur en cendres relativement élevée (1,08 %), une faible concentration en protéines (0,096 mg/g MS), une acidité de 0,14 % et une teneur en composés phénoliques totaux (TPC) de 0,00785 mg GAE/ml. En revanche, notre étude a mis en évidence une teneur en protéines nettement supérieure, atteignant 1,47 mg EBSA/g MS, ce qui pourrait être attribué à une meilleure efficacité d'extraction ou à une variation dans la composition des graines utilisées.

Conclusion

Conclusion

Les sous-produits du melon représentent une source précieuse et inépuisable de composés bioactifs, notamment des métabolites secondaires tels que les polyphénols.

Dans le but d'optimiser l'extraction de ces composés à partir de la poudre de graines de melon, la technique d'extraction assistée par ultrasons (EAU) a été mise en œuvre. La présente étude vise à optimiser les conditions d'extraction des composés phénoliques et de l'activité antioxydante à partir des graines de melon, en appliquant la méthodologie de surface de réponse (MSR).

Une étude préliminaire a permis d'évaluer l'influence de trois facteurs principaux : la concentration en éthanol (30 %, 55 % et 80 %), l'amplitude ultrasonore (20 %, 60 % et 100 %) et la durée d'extraction (30, 60 et 90 secondes), sur la teneur en PPT et leur AA. Les résultats obtenus ont été analysés avec un niveau de signification statistique de $p < 0,05$.

L'optimisation des conditions d'extraction a été réalisée à l'aide du plan de Box-Behnken (BBD), afin d'étudier les effets d'interaction entre les trois variables mentionnées. Les réponses étudiées étaient la teneur en PPT et AA.

Les conditions optimales déterminées ont été : une amplitude de 60 %, un temps d'extraction de 60 secondes, et une concentration en éthanol de 55 %. Ces conditions ont permis d'obtenir une teneur en polyphénols de 4,37 mg EAG/ g MS et une activité antioxydante de 13,53 %. Les résultats expérimentaux étaient en accord avec les valeurs prédites par le modèle, confirmant ainsi sa validité et l'efficacité de la MSR pour optimiser les paramètres d'extraction. Enfin, des analyses physico-chimiques du lait issu de la poudre de graines de melon ont été réalisées. Les résultats montrent le taux en matières solides solubles (TSS) supérieur à 95 %, une teneur en cendres de 0,10 %, une acidité de 0,04 %, une teneur en polyphénols totaux 3,10 mg EAG/g MS et une teneur en protéines de 1,47 mg EBSA/g MS. Ces données suggèrent que ce lait végétal constitue une source de nutriments intéressante, capable d'offrir une alternative saine, d'origine végétale, accessible aux populations ne consommant pas ou peu de produits laitiers animaux.

Aucune activité antimicrobienne n'a été observée, que ce soit pour l'extrait optimal testé ou pour le lait de graines de melon, sur les souches bactériennes ciblées.

Comme perspectives, L'isolement et la caractérisation de ces composés constituent un champ de recherche particulièrement vaste. Il serait pertinent d'explorer d'autres variétés de

melon, d'adopter diverses méthodes d'extraction, d'étudier les écorces, et d'élargir la recherche à d'autres composés bioactifs tels que les caroténoïdes et les huiles essentielles.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Aberoumand, A. et Deokule, S. S. (2008). *Comparison of phenolic compounds of some edible plants of Iran and India.* Pakistan Journal of Nutrition, 7(4), pp. 582-585.

Ait Bella, Y., Bouda, S., Khachtib, Y. et Haddioui, A. (2023). *Biochemical composition and antioxidant activity of Moroccan plum cultivars.* Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 22(2), pp. 85-97.

Antonic, B., Zemancova, J., Dordevic, D. et Tremlova, B. (2021). *Melon seed milk: production and storage stability.* Sborník příspěvků, 11.

AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis* (18e éd.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

Assefa, A. T. (2016). *Extraction and characterization of antioxidant from orange peels.*

Atef, A. M., Abou-Zaid, N., Ibrahim, I., Ramadan, M. T. et Nadir, A. (2013). *Quality evaluation of sheets, jam and juice from prickly pear and melon blends.* Life Science Journal, 10, pp. 200–208.

Ayadi, S. M., Bahloul, N. et Kechaou, N. (2015). *Étude du profil des acides aminés et des composés phénoliques des graines de Cucumis melo L.* International Journal of Scientific Research and Engineering Technologies, 4, pp. 179-182.

Aydın, Ç. M. (2024). *Evaluation of novel plant-based milk produced from melonkernel.* Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(22), pp. 82-92.

Bachir, M. B. (2015). *Étude de l'effet du séchage sur les caractéristiques physicochimiques, les propriétés antioxydantes et les profils phénoliques de variétés de figes (Ficus carica L.)* (Thèse de doctorat). Université Abderrahmane Mira, Bejaïa, Algérie.

Bachir, M. B., Meziant, L., Benchikh, Y. et Louaileche, H. (2014). *Deployment of response surface methodology to optimize recovery of dark fresh fig (Ficus carica L., var. Azenjar) total phenolic compounds and antioxidant activity.* Food Chemistry, 162, pp. 277-282.

Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z. et Boucherit, K. (2014). *Composition chimique et activité antioxydante d'extraits organiques des racines de Fredolia aretioides de la région de Béchar en Algérie.* Phytothérapie, 12(6), pp. 364-371.

Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E. et Sapirstein, H. D. (2005). *Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions.* Cereal Chemistry, 82, pp. 390-393.

Boizot, N. et Charpentier, J. P. (2006). *Méthodes rapides d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier.* Le Cahier des Techniques de l'INRA, pp. 79-82.

Bonnaillie, C., Salacs, M., Vassiliova, E. et Saykova, I. (2012). *Étude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (Arachis hypogaea L.).* Revue de Génie Industriel, 7, pp. 35-45.

Boubekri, C. (2014). *Étude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de Solanum melongena par des techniques électrochimiques.* Université Mohamed Khider, Biskra.

Bousbia, N. (2011). *Extraction des antioxydants à partir des produits naturels et de co-produits agricoles.*

Bowman, G. L. (2011). *Nutrient biomarker patterns, cognitive function, and MRI measures of brain aging.* NeurologyWNL.

Bradford, M. M. (1976). *A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.* Analytical Biochemistry, 72, pp. 248–254.

Carrera, C., Ruiz-Rodríguez, A., Palma, M. et Barroso, C. G. (2012). *Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes.* Analytica Chimica Acta, 732, pp. 100-104.

Castelo, V. N. et Torres, A. G. (2009). *Potential application of antioxidant capacity assays to assess the quality of edible vegetable oils.* Lipid Technology, 21, pp. 152–155.

Chan, S. W., Lee, C. Y., Yap, C. F., Aida, W. W. et Ho, C. W. (2009). *Optimisation of extraction conditions for phenolic compounds from limau purut (Citrus hystrix) peels.* International Food Research Journal, 16(2), pp. 203-213.

Chemat, F. et Khan, M. K. (2011). *Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction.* Ultrasonics Sonochemistry, 18, pp. 813-835.

Chen, R., Jin, C., Tong, Z., Lu, J., Tan, L., Tian, L. et Chang, Q. (2016). *Optimization extraction, characterization and antioxidant activities of pectic polysaccharide from tangerine peels*. Carbohydrate Polymers, 136, pp. 187–197.

Ciquel (2013). *Composition nutritionnelle - Melon, frais, pulpe*. Table de composition nutritionnelle des aliments. Disponible sur : <http://www.lesfruitsetlegumesfrais.com/fruits-legumes/melon/nutritions-et-bienfaits> (Consulté le 29/04/2015).

Conde, E., Cara, C., Moure, A., Ruiz, E., Castro, E. et Dominguez, H. (2009). *Antioxidant activity of the phenolic compounds released by hydrothermal treatments of olive tree pruning*. Food Chemistry, 114(3), pp. 806–812.

Cos, P., Ying, L., Calomme, M., Hu, J. P., Cimangma, K., Poel, B. V., Pieters, L., Lietinck, A. J. et Berghe, D. V. (1998). *Structure-activity relationship and classification of flavonoids as inhibitors of xanthine oxidase and superoxide scavengers*. Journal of Natural Products, 61, pp. 71–76.

Da Silva, E. J. A., Oliveira, A. B. et Lapa, A. J. (1994). *Pharmacological evaluation of the anti-inflammatory activity of a citrus bioflavonoid, hesperidin, and the isoflavonoids, duartin and claussequinone, in rats and mice*. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 46(2), pp. 118–122.

Dahmoune, F., Boulekbache, L., Moussi, K., Aoun, O., Spigno, G. et Madani, K. (2013). *Valorization of Citrus limon residues for the recovery of antioxidants: Evaluation and optimization of microwave and ultrasound application to solvent extraction*. Industrial Crops and Products, 50, pp. 77–87.

Dairi, S., Dahmoune, F., Belbahi, A., Remini, H., Kadri, N., Aoun, O. et Madani, K. (2021). *Optimization of microwave extraction method of phenolic compounds from red onion using response surface methodology and inhibition of lipoprotein low-density oxidation*. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 22, 100301.

Destandau, E., Michel, T. et Elfakir, C. (2013). *Microwave-assisted extraction*. In: Rostagno, M. A. et Prado, J. M. (eds). Green Chemistry Series. Cambridge: Royal Society of Chemistry; Chapitre 4.

Dimtsas, V., Douma, A., Soukia, D., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Kotsou, K. et Lalas, S. I. (2024). *Exploring varied (green) extraction methods to optimize Galia melon peel antioxidant potential*. Separations, 11(5), 135.

Direction des Services Agricoles de Béjaïa (DSA). (2024). *Rapport annuel sur la production agricole dans la wilaya de Béjaïa*. DSA Béjaïa.

Dragovic-Uzelac, V., Levaj, B., Mrkic, V., Bursac, D. et Boras, M. (2007). *The content of carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region*. Food Chemistry, 102(3), pp. 966–975.

Esclapez, M., García-Pérez, J. V., Mulet, A. et Cárcel, J. (2011). *Ultrasound-assisted extraction of natural products*. Food Engineering Reviews, 3, pp. 108–120.

Fahamiya, N., Aslam, M., Siddiqui, A. et Shiffa, M. (2016). *Review on Cucumis melo: Ethnobotany and Unani medicine*. World Journal of Pharmaceutical and Pharmaceutical Sciences, 5, pp. 621–636.

FAO - FAOSTAT. (2022). *Statistiques de la production agricole mondiale de 2002 à 2022*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

Fatland, B., Ke, J., Anderson, M. D., Mentzen, W. I., Cui, L. W., Allred, C. C., ... et Wurtele, E. S. (2002). *Molecular characterization of a heteromeric ATP-citrate lyase that generates cytosolic acetyl-coenzyme A in Arabidopsis*. Plant Physiology, 130(2), pp. 740–756.

Ferhat, M. A., Boukhatem, M. N., Hazzit, M. et Chemat, F. (2016). *Rapid extraction of volatile compounds from citrus fruits using a microwave dry distillation*. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8, pp. 753–778.

Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G. et Chemat, F. (2014). *Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale*. Food Chemistry, 150, pp. 193–198.

Galati, E. M., Monforte, M. T., Kirjavainen, S., Forestieri, A. M., Trovato, A. et Tripodo, M. M. (1994). *Biological effects of hesperidin, a citrus flavonoid (Note I): Anti-inflammatory and analgesic activity*. Il Farmaco, 40(11), pp. 709–712.

Georgé, S., Brat, P., Alter, P. et Amiot, M. J. (2005). *Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, pp. 1370–1373.

Ghedira, K. (2005). *Les flavonoïdes : Structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique*. Phytothérapie, 3, pp. 162–169.

Gómez-García R., Campos D. A., Aguilar C. N., Madureira A. R., et Pintado M. (2020). *Valorization of melon fruit (Cucumis melo L.) by-products: Phytochemical and biofunctional properties with emphasis on recent trends and advances.* Trends in Food Science & Technology, 99, 507–519.

Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R. et Pintado, M. (2020). *[Titre incomplet à compléter].*

Goupy, J. (2006). *Les plans d'expériences.* Revue Modulad, 34, pp. 74–116.

Guignard, J. L. (1996). *Les composés phénoliques.* In : Biochimie végétale, Paris : Édition Masson, pp. 167–231.

Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C. et Chapelle, J. P. (2007). *Le stress oxydant.* Revue Médicale de Liège, 62, pp. 628–638.

Handa, S. S., Khanuja, S. P. S., Longo, G. et Rakesh, D. D. (2008). *Extraction technologies for medicinal and aromatic plants* (1re éd., no 66). Italy: United Nations Industrial Development Organization et International Centre for Science and High Technology.

Ismail, H. I., Chan, K. W., Mariod, A. A. et Ismail, M. (2010). *Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (Cucumis melo) methanolic extracts.* Food Chemistry, 119, pp. 643–647.

Jing, D., Cheng, W. et Guangzhong, Y. (2011). *A novel antioxidant activity index (AAU) for natural products using the DPPH assay.* Food Chemistry, 125, pp. 1430–1435.

Jovanović, A., Petrović, P., Đorđević, V., Zdunić, G., Šavikin, K. et Bugarski, B. (2017). *Polyphenols extraction from plant sources.* Lekovite sirovine, (37), pp. 45–49.

Kähköen, M. P., Hopia, A. I., Vuorela, H. J., Rauha, J., Pihlaja, K., Kujala, T. S. et Heinonen, M. (1999). *Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, pp. 3954–3962.

Kamran, K., Khan, M. (2010). Polyphénols d'agrumes (flavanones) : extraction de glycosides de la peau d'orange, synthèse de métabolites chez l'homme (glucuronides) et étude physico-chimique de leur interaction avec le sérum albumine.

Kerje, T. et Grum, M. (2000). *The origin of melon, Cucumis melo: a review of the literature.* In : Proceedings of the 7th EUCARPIA Meeting on Cucurbit Genetics and Breeding, pp. 37–44.

Khan, M. A., Ali, M. et Alam, P. (2010). *Phytochemical investigation of the fruit peels of Citrus reticulata Blanco.* Natural Product Research, 24, pp. 610–620.

Kubart, K. (2016). *The role of phenolic compounds in plant resistance.* Biotechnology and Food Sciences, 80, pp. 97–108.

Kumar, K., Srivastav, S. et Sharanagat, V. S. (2021). *Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: a review.* Ultrasonics Sonochemistry, 70, 105325.

Laaboudi, W. (2012). *Extraction des composés phénoliques à partir des zestes d'agrumes et étude de leur activité antiradicalaire.*

Lami, E. (2010). *Petite histoire du melon.* Disponible sur : <http://www.LaNutrition.fr> (Consulté le 29/04/2015).

Lapornik, B., Prošek, M. et Wondra, A. (2005). *Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction times.* Journal of Food Engineering, 71, pp. 214–222.

Laur, L. M. L. et Tian, L. (2011). *Provitamin A and vitamin C contents in selected California grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons.* Journal of Food Composition and Analysis, 24, pp. 194–201.

Lee, J. J. et Yoon, K. Y. (2021). *Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compound from bitter melon (Momordica charantia) using response surface methodology.* CyTA – Journal of Food, 19(1), pp. 721–728.

M., et Ertekin F. K. (2016). *Spray dried melon seed milk powder: Physical, rheological and sensory properties.* Journal of Food Science and Technology, 53, 2396–2404.

M'HIRI, N. (2015). *Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone.*

Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N. et Kechaou, N. (2017). *Characterization, phenolic compounds and functional properties of Cucumis melo L. peels.* Food Chemistry, 221, pp. 1691–1697.

Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N. et Kechaou, N. (2018). *Chemical composition and bioactive compounds of Cucumis melo L. seeds: potential source for new trends of plant oils.* **Process Safety and Environmental Protection**, 113, pp. 68–77.

Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N., Baklouti, S. et Kechaou, N. (2022). *Bioactive compounds from Cucumis melo L. fruits as potential nutraceutical food ingredients and juice processing using membrane technology.* Food Science & Nutrition, 10(9), pp. 2922-2934.

M'Hiri, N. (2015). *Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone.* Université de Lorraine.

Milind, P. et Kulwant, S. (2011). *Musk melon is eat-must melon.* IRJP, 2(8), pp. 52–57.

Morales-González, J. A., Barajas-Esparza, L., Valadez-Vega, C., Madrigal-Santillán, E., Esquivel-Soto, J., Esquivel-Chirino, C., Téllez-López, A. M., López-Orozco, M. et Zúñiga-Pérez, C. (2014). *The protective effect of antioxidants in alcohol liver damage.* Dans: J. A. Morales-González (éd.), Liver Regeneration. InTech.

Nakayama, T. (1994). *Suppression of hydroperoxide-induced cytotoxicity by polyphenols.* Cancer Research, 54, pp. 1991–1993.

Nissiotis, M. et Tasioula-Margari, M. (2002). *Changes in antioxidant concentration of virgin olive oil during thermal oxidation.* Food Chemistry, 77, pp. 371–376.

Omole, J. O. et Ighodaro, O. M. (2012). *Proximate composition and quality attributes of milk substitute from melon seeds (Citrullus vulgaris Schrad.).* Magnesium, 16(2), pp. 5– ?

Poojary, M. M., Barba, F. J., Aliakbarian, B., Donsì, F., Pataro, G., Dias, D. A. et Juliano, P. (2016). *Innovative alternative technologies to extract carotenoids from microalgae and seaweeds.* Marine Drugs, 14(11), 214.

Read, M. A. (1995). *Flavonoids : naturally occurring anti-inflammatory agents.* American Journal of Pathology, 147(2), pp. 235–237.

Richter G. (1993). *Les composés phénoliques : métabolisme des végétaux (physiologie et biochimie).* Paris : Éditions Dunod, pp. 331–339.

Rodriguez-Amaya D. B. (1997). *Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods*. John Snow Inc.

Rolim P. M., Fidelis G. P., Padilha C. E. A., Santos E. S., Rocha H. A. O., et Macedo G. R. (2018). *Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) and their antiproliferative effect in cancer cells*. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, **51**, e6069.

Rolim P. M., Seabra L. M. A. J., et Macedo G. R. (2020). *Melon by-products: Biopotential in human health and food processing*. *Food Reviews International*, **36**(1), 15–38.

Salta F. N., Mylona A., Chiou A., Boskou G., et Andrikopoulos N. K. (2007). *Oxidative stability of edible vegetable oils enriched in polyphenols with olive leaf extract*. *Food Science and Technology International*, **13**, 413–421.

Saxholt E., Christensen A. T., Møller A., Hartkopp H. B., Hess Ygil K., et Hels O. H. (2009). *Danish Food Composition Databank, revision 7.01*. Department of Nutrition, National Food Institute, Technical University of Denmark.

Scalbert A. (1991). *Antimicrobial properties of tannins*. *Phytochemistry*, **30**, 3875–3883.

Sharif-Ali S., Kasoju N., Luthra A., Singh A., Sharanabasava H., et Sahu-Bora U. (2008). *Indian medicinal herbs as sources of antioxidants*. *Food Research International*, **41**, 1–15.

Shu Y. Y., Lai T. L., Lin H.-S., Yang T. C., et Chang C.-P. (2003). *Study of factors affecting the extraction efficiency of polycyclic aromatic hydrocarbons from soils using open-vessel focused microwave-assisted extraction*. *Chemosphere*, **52**, 1667–1676.

Skerget M., Kotnik P., Hadolin M., Rizner Hras A., Simoncic M., et Knez Z. (2005). *Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities*. *Food Chemistry*, **89**, 191–198.

Soto-Hernández M., Cadena-Iñiguez J., Arévalo-Galarza L., Santiago-Osorio E., Aguiñiga-Sánchez I., Ruiz-Posadas L., et Ruiz-Posadas L. M. (2015). *Lead compounds from Cucurbitaceae for the treatment of cancer*. In: Rao A. V. et Rao L. G. (Éds.), *Phytochemicals—Isolation, Characterization and Role in Human Health*, pp. 289–303.

Sousa R., Dias S., et Antunes C. (2006). *Spatial subtidal macrobenthic distribution in relation to abiotic conditions in the Lima estuary, NW of Portugal*. *Hydrobiologia*, **559**, 135–148.

Tadmor Y., Burger J., Yaakov I., Feder A., Libhaber S. E., Portnoy V., ... et Katzir N. (2010). *Genetics of flavonoid, carotenoid, and chlorophyll pigments in melon fruit rinds*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(19), 10722–10728.

admor Y., Burger J., Yaakov I., Feder A., Libhaber S. E., Portnoy V. et Katzir N. (2010). *Genetics of flavonoid, carotenoid, and chlorophyll pigments in melon fruit rinds*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(19), pp. 10722–10728

Tiago B., Guerrero L., Gracos-Cubarsi M., Claret A., Argyns J., Garcia-Mas J., et Hortos M. (2016). *Textural properties of different melon (*Cucumis melo* L.) fruit types: Sensory and physicochemical evaluation*. Scientia Horticulturae, **201**, 46–56.

Tsao R., et McCallum J. (2009). *Chemistry of flavonoids*. In: de la Rosa L. A., Alvarez Parrilla E., Gonzalez-Aguilar G. (Éds), *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability*, Ames, IA, USA: Blackwell Publishing, chap. 5, pp. 131–153.

Vella F. M., Cautela D., et Laratta B. (2019). *Characterization of polyphenolic compounds in cantaloupe melon by-products*. Foods, 8(6), 196.

Vinatoru M., Mason T. J., et Calinescu I. (2017). *Ultrasonically assisted extraction (UAE) and microwave assisted extraction (MAE) of functional compounds from plant materials*. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 97, 159–178.

Wang L., et Weller C. L. (2006). *Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants*. Trends in Food Science & Technology, 17(6), 300–312.

Wang S. Y., et Zheng W. (2001). *Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 5165–5170.

Wikipédia (s.d.). *Melon (plante)*. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Melon_\(plante\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Melon_(plante)) (Consulté le 28/03/2025).

Yanty, N. A. M., Lai, O. M., Osman, A., Long, K. et Ghazali, H. M. (2008). *Physicochemical properties of *Cucumis melo* var. *inodorus* (honeydew melon) seed and seed oil*. Journal of Food Lipids, 15(1), pp. 42–55.

Zhang G., Li Z., et Charalampopoulos D. (2024). *Upcycling of melon seed (*Cucumis melo* L.) oil processing by-product: Evaluation of functional properties and nutritional components as novel ingredient*. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 11(1), 101.

Zhang G., Li Z., Liu L., et Xiang Q. (2024). *Road to valorisation of melon seeds (Cucumis melo L.) : A comprehensive review of nutritional profiles, biological activities, and food applications.* Sustainable Food Technology, en ligne. Zungur Bastioğlu A., Tomruk D., Koç .

Annexes

Annexe

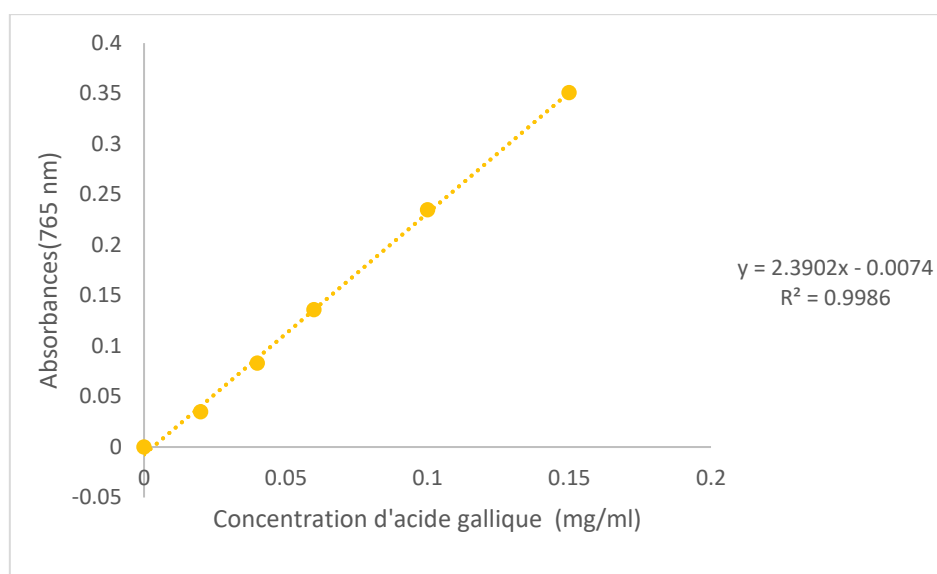


Figure 20 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des composés phénoliques.

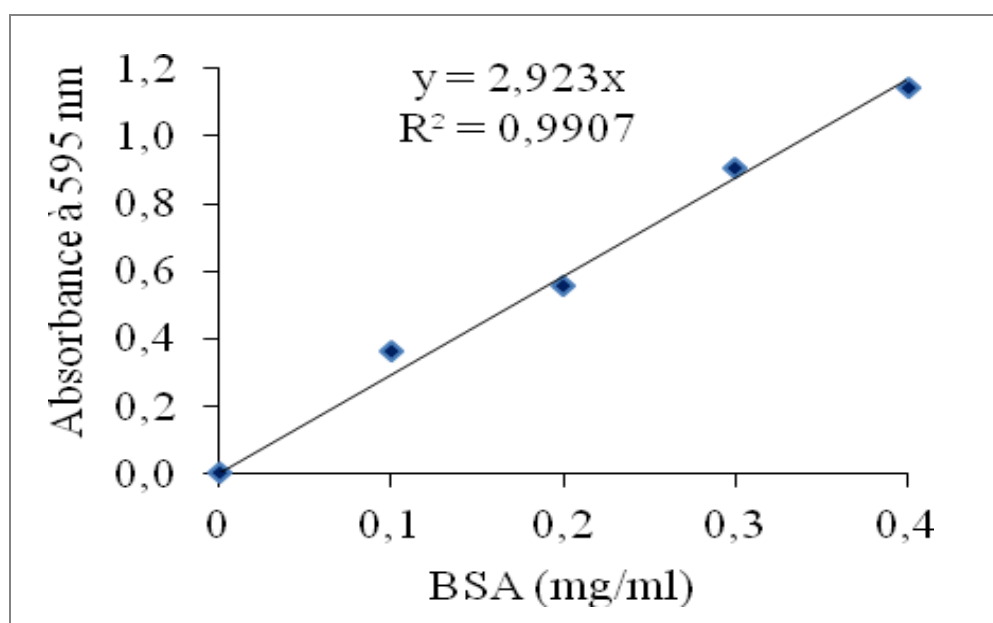


Figure 21 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des protéines.

Résumé :

L'objectif de ce travail était d'optimiser les conditions d'extraction des composés bioactifs à partir des graines de melon et de caractériser le lait végétal obtenu à partir de cette matière première. L'optimisation a été réalisée à l'aide de la MSR, selon le modèle de Box-Behnken. Les variables étudiées incluaient la concentration en solvant, le temps d'extraction et l'amplitude. L'analyse des surfaces de réponse a permis d'identifier les conditions optimales pour l'extraction des composés antioxydants : 55 % d'éthanol, 60 secondes et une amplitude de 60 %. Dans ces conditions, les PPT et l'AA obtenues étaient respectivement de 4,37 mg EAG/g MS et 13,53 %. Ces résultats concordent avec les prédictions du modèle, validant ainsi son efficacité. En parallèle, une analyse physicochimique du lait extrait à partir de la poudre de graines de melon a été menée. Ce lait présente un taux en matières solides solubles supérieur à 95 %, une teneur en cendres de 0,10 %, une acidité de 0,04 %, ainsi qu'un contenu en PPT de 3,10 mg EAG/g MS et en protéines de 1,47 mg EBSA/g MS. Aucun effet antimicrobien n'a été observé, que ce soit avec les extraits ou le lait, ce qui pourrait être dû à une concentration insuffisante en composés actifs. Une augmentation du volume ou de la concentration des extraits pourraient permettre de révéler une activité antimicrobienne.

Mots-clés : graines de melon, optimisation de l'extraction, méthodologie de surface de réponse, composés phénoliques totaux, activité antioxydante.

Abstract

The aim of this work was to optimize the conditions for extracting bioactive compounds from melon seeds and to characterize the plant milk obtained from this raw material. Optimization was carried out using the RSM, based on the Box-Behnken model. Variables studied included solvent concentration, extraction time and amplitude. Response surface analysis identified the optimum conditions for extraction of antioxidant compounds : 55% ethanol, 60 seconds and 60% amplitude. Under these conditions, the TPC content and AA obtained were 4.37 mg EAG/g MS and 13.53% respectively. These results concurred with the model predictions, validating its effectiveness. In parallel, a physicochemical analysis of the milk extracted from melon seed powder was carried out. The milk had a soluble solids content of over 95%, an ash content of 0.10%, an acidity of 0.04%, a PPT content of 3.10 mg EAG/g DM and a protein content of 1.47 mg EBSA/g DM. No antimicrobial effect was observed with either extracts or milk, which could be due to insufficient concentration of active compounds. Increasing the volume or concentration of extracts could reveal antimicrobial activity.

Keywords: melon seeds, extraction optimization, response surface methodology, total phenolic compounds, antioxidant activity.