

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 cantaloup

Présenté par :

AMMARI Aya & BOURAHLA Khadidja

Soutenu le : 03 Juillet 2025

Devant le jury composé de :

Mme AIDLI Amel	MAA	Présidente
Mr BOUDRIES Hafid	Prof	Encadrant
Mme MEDOUNI Sonia	MCA	Examinateuse

Année universitaire : 2024/2025

Remerciement

Avant tout, nous remercions notre créateur Allah, le tout puissant pour la santé et le courage

qu'il nous a donné pour mener ce travail jusqu'à son bout.

Nous exprimons toute notre gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrant **Mr**

BOUDRIES Hafid pour avoir accepté de nous encadrer, et d'avoir guider nos efforts, par ses

conseils et orientations ainsi que sa grande patience et ses encouragements qu'elle nous a donnés

tout au long de ce travail

Nous tenons également à remercier **Mme AIDLI Amel** d'avoir accepté de présider ce jury.

Ainsi que **Mme MEDOUNI Sonia** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers la Doctorante **Mme KANTAOUI Aicha**,

pour sa précieuse contribution, son soutien inestimable et ses encouragements constants tout au

long de ce travail.

Nous tenons également à remercier du fond du cœur l'ensemble des enseignants de la spécialité «

contrôle de qualité » pour leurs engagements sans faille à nous former, ainsi que tous les

enseignants de la faculté **SNV**.

Nous remercions nos amis nos familles et en particulier nos chers parents pour tous les efforts

qu'ils ont faits pour que ce travail puisse voir le jour.

Dédicace

À la mémoire de mon cher père,

Ton absence me pèse chaque jour, mais ton amour, tes valeurs et tes conseils continuent de me guider. Ce travail, je te le dédie avec tout mon cœur, en espérant qu'il soit à la hauteur de ce que tu aurais souhaité pour moi. Qu'Allah t'accorde Sa miséricorde et t'accueille en Son vaste Paradis.

À ma douce mère,

Pilier de ma vie, source de courage et d'amour inépuisable. Merci pour tes sacrifices, tes prières, ton soutien indéfectible et ta patience. C'est grâce à toi que j'ai pu avancer, malgré les difficultés. Que Dieu te protège et te comble de Ses bienfaits.

À mes frères *Mohammed et Islam*, mes sœurs *Hamida, Mariama et Oumaima*,

Merci pour votre soutien, vos mots d'encouragement et votre présence rassurante tout au long de ce chemin.

À mon petit *Ilyane*,

Ta joie, ton innocence et ton sourire m'ont donné du courage dans les moments de fatigue. Ce mémoire t'est aussi dédié, petit ange.

À mes tantes *Djohra et Malika*, ces anges qui veillent sur moi.

À mes amies fidèles ;

Bouthaina, Sara, Dina, Asma et Aya pour leur écoute, leurs conseils et les moments de répit partagés.

Et tout particulièrement à ma binôme Khadidja, avec qui j'ai partagé cette belle aventure, les défis comme les réussites, dans l'entraide et la complicité.



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À mes chers parents,

Pour leur soutien moral et leurs sacrifices qui m'ont permis de poursuivre mes études dans les meilleures conditions. Que ce travail soit le fruit de leur patience et de leurs encouragements constants.

À Madame Aïcha,

Pour sa bienveillance, son accompagnement et ses précieux conseils qui m'ont été d'une grande aide.

À mon âme sœur et ma binôme Aya

À tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu dans cette aventure, de près ou de loin.

KHADIDJA

Table des matières

Table des matières

Liste d'abréviation	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction.....	1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Cantaloup

I.1. Historique.....	3
I.2. Description botanique et Cycle de développement	3
I.3. Classification et caractérisation.....	4
I.4. Statistique de production.....	5
I.5. Composition chimique	7
I.6. Intérêt thérapeutique	7
I.7. Les composés bioactifs du cantaloup et de ses graines.....	8
I.7.1. Composition du fruit	8
I.7.2. Composition des graines	9

Chapitre II : Les composés phénoliques

II.1. Définition.....	12
II.2. Structure et classification des polyphénols	12
II.2.1. Les non flavonoïdes.....	13
II.2.2. Les flavonoïdes.....	14
II.3. Le rôle des polyphénols	15
II.4. Méthodes d'extraction	16
II.4.1. Extraction par ultrason.....	16
II.4.2. Extraction par décoction.....	16
II.4.3. Extraction par macération.....	16

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

I. Objectif	18
II. Méthodes	18
II.1. Échantillonnage	18
II.2. Broyage et tamisage	18
II.3. Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques	18
II.4. Études préliminaires	18
4.1. Choix la concentration du solvant d'extraction	19
4.2. Ratio solide/liquide	19
4.3. Temps d'extraction.....	19
II.5. Méthodologie de surface de réponse (MSR).....	19
II.6. Application du plan d'expérience.....	20
II.7. Analyses effectuées	20
II.7.1 Dosage des composés phénoliques.....	20
II.7.2. Test de piégeage du radical DPPH	21
II.7.3. Les analyses effectuées pour le lait des graines :	
II.7.3.1. Dosage des protéines	21
II.7.3.2. Acidité titrable.....	22
II.7.3.3. Taux de cendres.....	22
II.7.3.4. Taux de sucres.....	22
II.7.4 Activité microbienne du lait et de l'extrait des graines de cantaloup.....	23

Résultats et discussion

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

I.1. Effets des facteurs pour l'étude préliminaire.....	25
I.1.1 Effet du temps.....	25
I.1.2. Effet de la concentration du solvant.....	25
I.1.3. Effet du ratio échantillon/solvant.....	26
I.1.4. Effet de la température	28
I.2 Construction du plan d'expérience.....	28
I.3. Modèle mathématique.....	30
I.4. Effet des facteurs	31
I.4.1. Effet linéaire	32
I.4.2. Effet d'interaction	32
I.4.3. Effet quadratique.....	32
I.5. Coefficient de détermination R^2	32
I.6. Représentation spatiale et analyse des modèles de surfaces de réponses.....	33
I.7. Détermination et validation expérimentale des conditions optimales.....	35
I.8. Détermination et validation expérimentale des conditions optimales.....	36
II. Lait végétal des graines de cantaloup	
II.1.1. Caractéristiques physico-chimiques	37
II.1.1. Acidité titrable.....	37
II.1.2. Taux de sucre	37
II.1.4. Teneur de protéine.....	38
II.1.4. Taux de cendres.....	38
II.1.5. Teneur en composés phénoliques.....	39
II.2. 2. Activité microbiologique	39
Conclusion	40

Références bibliographiques

Annexes

Liste d'abréviation

AA: Activité antioxydante

AAG : Acide ascorbique équivalent en mg/g

AOAC : Association of Official Analytical Chemists

BAS : Bovin Serum Albumin

BBD : Box-Behnken Design (plan d'expérience de Box-Behnken)

CP : Composé phénolique

DPPH : 1 ;1-dephenyl picryldrazyl

ER : équivalent Rutine

GAE : Gallic Acid Equivalent / Equivalant d'acide gallique

G250 : Bleu de coumassie

Ha : Hectare

MSR : méthode de surface de réponse

Qx : Quintal

RSA : Radical Scavenging Activity (activité de piégeage des radicaux libres) coefficient de détermination

SOD : Superoxyde Ddismutase

TPC : Total Phenolic Compounds / Composés phénoliques totaux

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I	Classification taxonomique de Cucumis melon.	4
II	Différentes variétés de melon.	4
III	Principaux phytoconstituants du melon.	11
IV	Matériel utilisé pendant les expériences.	18
V	Variables indépendantes et les niveaux des facteurs influençant sur l'extraction.	20
VI	Identification des germes cibles et types de milieux utilisés pour leur isolement.	23
VII	Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols par le plan d'expérience Box-Behnken de la poudre des graines de cantaloup.	29
VIII	Les principaux coefficients de régression appliqués dans l'analyse statistique du modèle Box-Behnken.	31
IX	Les conditions et les valeurs théoriques et expérimentales optimales pour l'extraction par ultrason des composés phénoliques et l'activité antioxydantes des graines de cantaloup	36
X	Les paramètres physico-chimiques du lait des graines de cantaloup	37

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Production du melon à Bejaia entre 2015 et 2024	6
2	Structures des principaux caroténoïdes présents dans le melon (A) α -carotène ; (B) β -cryptoxanthine.	8
3	La teneur en composés phénoliques et flavonoïdes des différentes parties de cantaloup.	9
4	La composition minérale des graines de cantaloup.	10
5	Structure de base d'un phénol.	12
6	Quelques exemples des structures chimiques des coumarines.	13
7	Principe de l'extraction par macération.	17
8	Figure représentative de la réduction du radical DPPH.	21
9	L'effet du temps sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques.	25
10	L'effet de la concentration de l'éthanol sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques.	26
11	L'effet du rapport échantillon/solvant sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques.	27
12	L'effet du rapport échantillon/solvant sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques.	28
13	Représentation spatiale des modèles de surfaces de réponses de l'effet de la température et du temps sur l'extraction de TPC (A) et l'AA (B) de la poudre des graines de cantaloup.	34
14	Représentation spatiale des modèles de surfaces de réponses de l'effet de la Concentration du solvant et de la température sur l'extraction de TPC (A) et l'AA (B) de la poudre des graines de cantaloup.	34
15	Représentation spatiale des modèles de surfaces de réponses de l'effet de la Concentration du solvant et du temps sur l'extraction de TPC (A) et l'AA (B) de la poudre des graines de cantaloup.	35

Introduction

Introduction

L'extraction de substances bioactifs aux propriétés bénéfiques dans l'industrie alimentaire pourrait répondre à la demande croissante en aliments fonctionnels à l'échelle mondiale. Parallèlement, la valorisation des sous-produits issus des fruits est perçue comme une démarche essentielle pour réduire l'impact environnemental des déchets alimentaires, tout en permettant la récupération de composés essentiels à forte valeur ajoutée et la création de nouvelles sources de revenus (**Gómez-García *et al.*, 2020**).

Chaque année, les industries agroalimentaires produisent d'importantes quantités de déchets de biomasse végétale. Ces déchets constituent des sources intéressantes d'antioxydants naturels. La forte concentration en composés phénoliques présents dans les pelures, les peaux et les graines favorise l'utilisation de ces résidus comme source d'antioxydants naturels (**Ezz El-Din, 2016**).

Les sous-produits du cantaloup constituent une ressource naturelle riche en composés bioactifs. Leur incorporation dans l'industrie alimentaire pourrait favoriser le développement d'aliments à propriétés fonctionnelles, offrant ainsi des bénéfices pour la santé tout en rendant ces produits plus accessibles aux consommateurs. (**da Cunha *et al.*, 2020**).

Actuellement, les laits végétaux ou boissons végétales, sont bien appréciés par les consommateurs et occupent une place importante dans la nutrition. Des laits particulièrement adaptés aux besoins nutritionnels et protègent la santé. Les laits végétaux (lait de soja, lait d'amande, lait de noisette, lait de Riz, lait de chanvre) sont considérés comme une alternative saine au lait animal, en particulier pour les personnes qui adoptent un régime végétarien.

L'optimisation du processus d'extraction est réalisée par méthodes empiriques ou statistiques. La méthodologie de surface de réponse (MSR) est un ensemble de techniques statistiques et mathématiques utiles au développement, à l'optimisation des processus et à l'améliorer. La MSR permet de réduire le nombre d'essais expérimentaux, nécessaire pour évaluer et étudier l'effet plusieurs variables et leurs interactions (**Chen *et al.*, 2016**).

Introduction

Dans ce contexte, notre travail s'inscrit dans le cadre d'étudier l'optimisation de quelques paramètres d'extraction par macération, en utilisant le modèle de plan d'expérience de Box-Behnken, sur la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante graine de cantaloup, également de valoriser le lait végétal des graines de cantaloup en étudiant quelques de ses propriétés physicochimiques

Synthèse

bibliographique

Chapitre I : Cantaloup

I.1. Historique

L'Afrique et l'Asie ont été proposées comme sites d'origine possibles. Cependant, (**Kerje et Grum (2000)**) rapportent que les melons semblent avoir originaire d'Afrique sur la base d'études génétiques. Le processus de domestication du melon a commencé en Egypte il y a plus de 3000 ans. Ensuite, le melon s'est dispersé dans tout le Moyen-Orient et en Asie, où un développement secondaire de la domestication et de la diversification peuvent avoir eu lieu (**Vouldoukis et Dugas, 2004**).

I.2. Description botanique et cycle de développement

Le terme « melon » vient du latin melo, melonis, dérivant d'une racine grecque qui désigne la pomme. Le nom scientifique du melon est *Cucumis melon*. Il est largement cultivé comme plante potagère pour son fruit comestible ; le terme désigne lui-même très savoureux, sucré et parfumé (**Mallek-Ayadi et al., 2017**).

C'est une plante grimpante annuelle à tige anguleuse et scabre. Les feuilles d'environ 7,5 cm, de contour orbiculaire-réniforme, avec des poils mous. Les graines sont obovoïdes et arrondies à l'apex. Ce fruit pèse de 0,4 à 2,2 kg, il est très savoureux, sucré et parfumé, il contient à l'intérieur un grand nombre de graines. Ces dernières sont lisses, elliptiques et aplatis (**Walshaw, 2005**).

Le melon Cantaloup se caractérise par une écorce réticulée, légèrement côtelée, dont la teinte varie du gris-vert au brun clair. Il compte parmi les melons les plus appréciés au monde pour sa forte teneur en sucres, sa chair juteuse, son parfum agréable et ses qualités nutritionnelles (**Hussain et al., 2024**).

Le melon est très sensible à la température et à la lumière (intensité lumineuse et durée du jour). Si les conditions sont favorables, le calendrier de production peut être le suivant :

- Un mois du semis à l'apparition des premières fleurs mâles ;
- Un mois de plus pour l'apparition des fleurs femelles ;
- Un à deux mois entre la pollinisation et la maturation du fruit suivant la taille et le type de fruit.

I.3. Classification et caractérisation

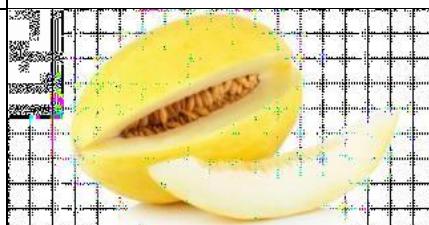
La grande diversité morphologique des fruits dans les melons cultivés a conduit les botanistes à proposer différentes classifications interspécifiques. Une étude excellente, mise à jour et complète sur le genre *Cucumis* a été effectuée par le **Dr Joseph H. Kirkbride (1993)**. Son livre intitulé « Monographie biochimique du genre *Cucumis* (Cucurbitaceae) » est une pierre angulaire de la classification du melon.

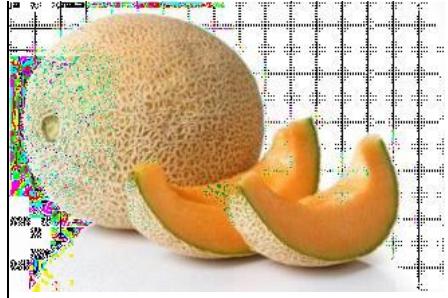
Tableau I : Classification taxonomique de *Cucumis melo* L (Vouldoukis et Dugas, 2004) ;

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

L'espèce de *Cucumis melo* inclut plusieurs variétés, Les caractéristiques des variétés les plus cultivées dans le monde sont illustrées dans **le Tableau II** :

Tableau II : Différentes variétés de melon (Narayanan *et al.*, 2024).

Fruit	Image
<p>Melon jaune</p> <p>Il a été importé d'Espagne, aussi appelé melon jaune Espagnol. Ce produit est sans odeur, Possède une peau de couleur jaune et une chair de teinte blanche.</p>	

<p>Melon cantaloup</p> <p>Issu des États-Unis, c'est l'un des produits les plus répandus à travers le monde.</p> <p>Des fruits ronds, une chair orange et plutôt parfumée.</p> <p>Une classification courante est celle du melon japonais, un type de melon cantaloup.</p>	
<p>Melon charentais</p> <p>Provenant de France, ces aromatiques présentent une écorce verte légèrement réticulée, une forme généralement arrondie et occasionnellement aplatie, ornée de sutures. Peau verte avec vert sombre. De forme circulaire ou semi-oval elle possède une chair orange et un arôme très prononcé.</p>	
<p>Melon Net / Honey Dew</p> <p>Elle possède une forme sphérique, une peau lisse dont la couleur oscille entre le blanc et le jaune et sa chair peut présenter une teinte verte.</p>	

I.4. Statistiques de production du melon

I.4.1. Production algérienne

En Algérie, selon les services agricoles, chaque wilaya consacre environ 400 hectares à cette culture, pour une production globale de plus de 44 000 tonnes (Benalia, 2016). Dans les plaines fertiles de Naciria (Laâziv), à l'est de Boumerdès, le melon cultivé dans plusieurs formes et variétés, La région, réputée pour ses terres agricoles favorables, offre des conditions idéales à cette culture. Toutefois, selon la Chambre d'agriculture, les superficies ont fortement diminué, passant de plus de 10 000 hectares il y a dix ans à une superficie nettement réduite aujourd'hui. Ce recul est attribué aux changements climatiques et au manque de pluviométrie. (**Culture du melon à Naciria (Boumerdès) : Un héritage familial tourné vers l'export**)

L'histogramme ci-dessous illustre l'évolution des rendements de production du melon dans la wilaya de Bejaïa entre 2015 et 2024. Les données utilisées intègrent aussi le cantaloup qui est considéré comme variétés de melon selon les classifications agricoles officielles

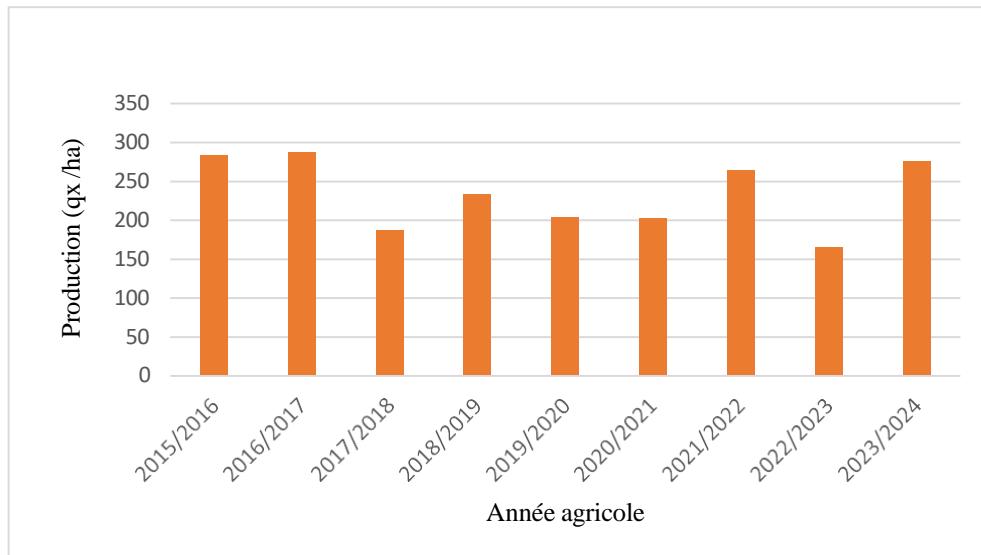


Figure 01 : production du melon à Bejaïa entre 2015 et 2024 (**DSA Béjaïa**).

L'étude sur la production de melon dans la Wilaya de Bejaïa entre 2015 et 2024 montre des variations de rendement significatives, passant de 165,22 qx/ha à 286,63 qx/ha. Une telle production peut être affectée par plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, les pratiques culturelles, les intrants utilisés et la santé des cultures. Avec toutes ces circonstances, il semble y avoir une instabilité d'une saison de récolte à l'autre ; il est donc urgent de renforcer le soutien agronomique et technique pour optimiser les rendements et améliorer la qualité de la production.

I.4.2. La production mondiale de melons

La production mondiale de melons est de 28,3 millions de tonnes. Le melon se récolte dans tous les pays chauds de la planète. Les principaux pays producteurs de melon sont la Chine (50 % de la production mondiale) suivie par la Turquie. La Turquie est le 2e producteur mondiale de melons avec près de 1,7 Mt mais n'exporte que peu. Ensuite vient l'Iran avec 1,2 Mt. de melons par an. Ces trois pays producteurs de melon ne représente qu'une petite partie des échanges mondiaux de melons.

I.5. Composition chimique

L'analyse phytochimique des plantes de la famille des cucurbitacées révèle la présence de divers composés phytochimiques et une quantité significative de métabolites secondaires. Parmi ces métabolites figurent les tanins, les flavonoïdes, les pigments, les glycosides cardiotoniques, les terpénoïdes, les résines, les saponines, les caroténoïdes et les phytostérols (**Irfan et al., 2017**).

Le melon présente un intérêt nutritionnel intéressant, sa teneur en pulpe est de 71%, le reste du fruit est constitué de la peau (20%) et des graines (9%) (**Ayadi et al., 2025**).

Les graines sont une bonne source de protéines, de lipides, d'acides gras insaturés, de vitamine E et de certains minéraux tels que Mn, Zn et Cu. Tandis que les polysaccharides sont rares dans les cucurbitacées mais liés aux protéines, sont souvent considérés comme des composés actifs clés chez certaines espèces (**Soto-Hernández et al., 2015**).

Dans leur analyse comparative des composants du melon cantaloup, (**Ismail et al., 2010**) ont relevé des concentrations de flavonoïdes totaux de 162 µg ER/100 g d'extrait, ainsi qu'une teneur en polyphénols de 285 mg EAG/100 g d'extrait.

Les graines de melon contenaient 4,5 % d'humidité, 19,8 % de glucides, 25 % de matières grasses brutes, 25 % de protéines, 2,4 % de cendres et 23,3 % de fibres brutes (**Khalid et al., 2021**). Ils renferment aussi une enzyme, la superoxyde dismutase (SOD) qui catalyse la dismutation des superoxydes en oxygène et peroxyde d'hydrogène (**Vouldoukis et Dugas, 2004**).

I.6. Intérêt thérapeutique

L'extrait méthanolique des graines de melon est reconnu pour ses diverses propriétés bénéfiques sur la santé. Il présente une activité anti-inflammatoire en réduisant l'accumulation des cellules immunitaires sur les sites inflammatoires, ainsi qu'une activité antioxydante élevée grâce à sa teneur en flavonoïdes et en composés phénoliques (**Bajwa et al., 2011 ; Ismail, 2010**). Il a également un effet protecteur contre les ulcères gastriques, en renforçant la muqueuse de l'estomac et en réduisant les dommages oxydatifs, principalement grâce aux triterpénoïdes et stérols qu'il contient (**Gill et al., 2010**). Les graines contiennent également des cucurbitacines A, B et E, des triterpènes spécifiques reconnus pour leurs propriétés anticancéreuses (**Chan et al., 2010 ; Wu et al., 2019**).

En outre, le pédicelle séché de melon a montré une activité hépatoprotectrice notable, aidant à protéger le foie contre les effets toxiques du tétrachlorure de carbone (CCl_4) et participant à la prévention de certaines pathologies hépatiques (Parmar et Kar, 2009).

L'activité diurétique de *Cucumis melo* a été observée lors d'expérimentations sur des chiens anesthésiés. L'administration de l'extrait éthéré issu des graines a provoqué une augmentation notable du volume des urines ainsi qu'une élévation de l'excrétion des ions chlorure. Cette réponse physiologique pourrait être liée à une diminution de la réabsorption des chlorures au niveau des tubules rénaux, associée à une amélioration du taux de filtration glomérulaire.

I.7. Les composés bioactifs du cantaloup et de ses graines

Concernant les caractéristiques chimiques, les melons, en particulier le cantaloup, présentent un taux total de 11,71 Brix de solides solubles, supérieur à l'exigence minimale de la plupart des marchés internationaux exigeants (10 Brix) (Kapoor et al., 2021).

♦ I.7.1 Composition du fruit

Les polyphénols les plus courants des fruits de melon/cantaloup sont des flavonoïdes et des acides phénoliques (Tadmor et al., 2010) tels que les acides férulique, caféique et chlorogénique (Fahamiya, 2016). En outre, dans le melon, il est possible de trouver des caroténoïdes dont l' α -carotène, du β -carotène (Figure 02), de la lutéine, de la β -cryptoxanthine, du phytoène, de la violaxanthine, de la néoxanthine et de la zéaxanthine (Gómez-García et al., 2020).

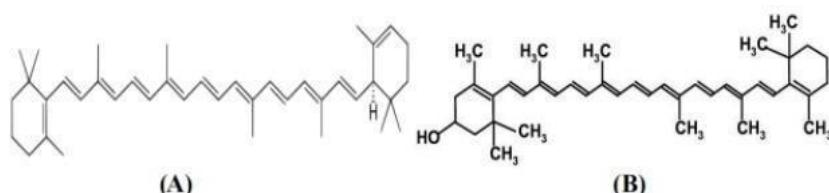


Figure 02: Structures des principaux caroténoïdes présents dans le melon (A) α -carotène ; (B) β -cryptoxanthine (Fahamiya, 2016).

Le fruit renferme aussi de l'uréase, de la peptidase, de la protéase et des vitamines A, B, C. La tige du fruit contient de la cucurbitacine B et E (Fahamiya, 2016). La teneur en composés phénoliques et en flavonoïdes des différentes parties de cantaloup et représentée dans la figure suivante (Ismail et al., 2010).

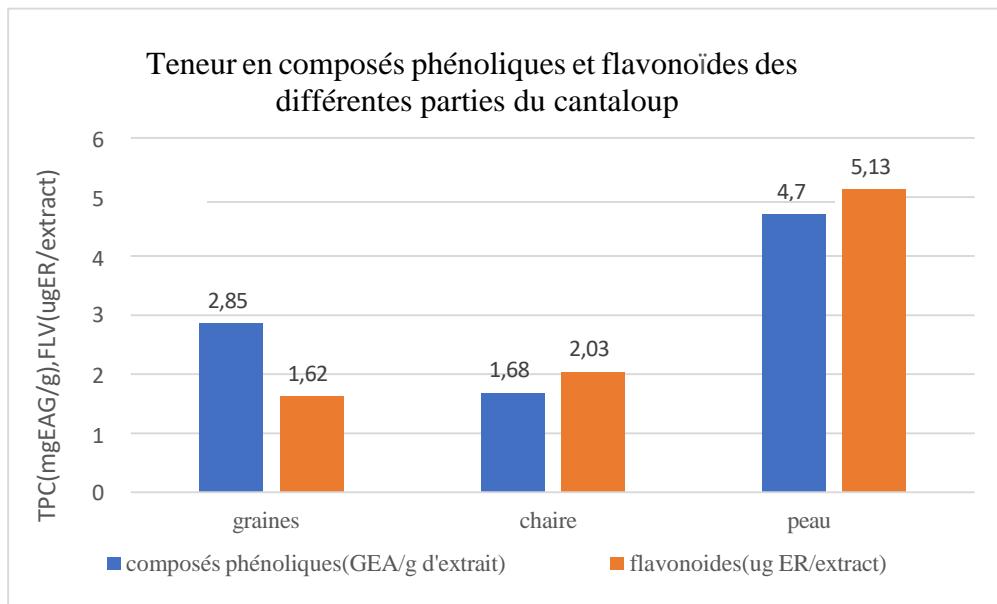


Figure 03 : la teneur en composés phénoliques et flavonoïdes des différentes parties de cantaloup (**Ismail et al., 2010**).

◆ **I.7.2. Composition des graines**

Les graines ont des pourcentages élevés de lipides (25% à 31%), de fibres (25% à 30%) et de protéines (20% à 27%) (**Rolim et al., 2019**), la teneur en protéines de la farine de graines est de 49,93% (**Fahamiya, 2016**). Les acides linoléique, oléique, palmitique et stéarique sont les principaux acides gras contribuant avec 53,9%, 12,1%, 23,9% et 5,7%, respectivement (**Rolim et al., 2019**).

Le potassium est l'élément minéral le prédominant dans les graines de cantaloup, suivi par ordre décroissant du magnésium et de calcium. Les minéraux zinc, fer, cuivre et sodium sont présents en concentration faible (**figure 04**) (**Mallek-Ayadi et al., 2017**).

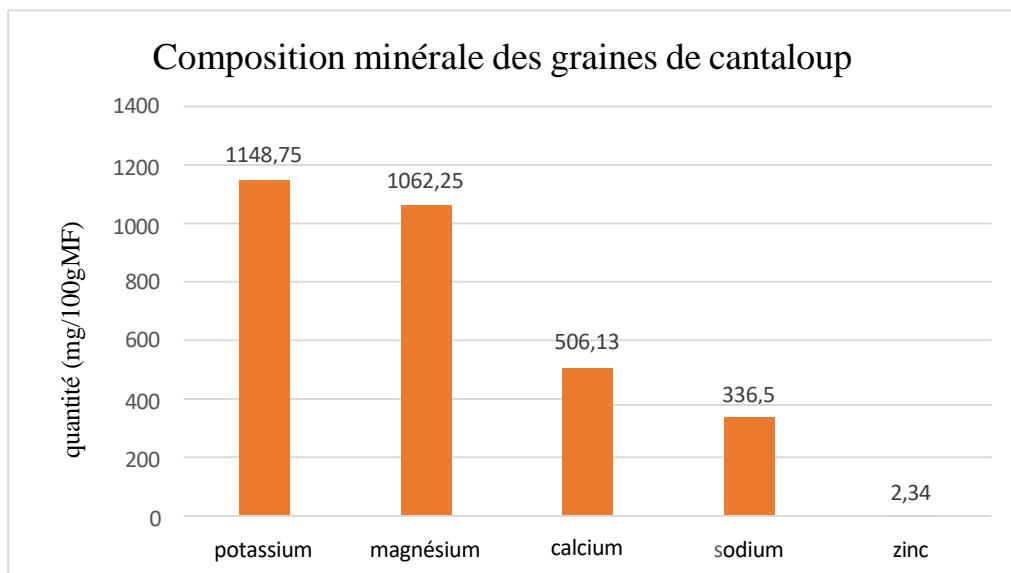


Figure 04: La composition minérale des graines de cantaloup (**Mallek-Ayadi et al., 2017**)

Les graines contiennent aussi de l'acide myristique, du triterpеноïdes glucosides, des phosphates, du galactane et de la citrulline (**Fahamiya, 2016**). Elles sont également riches en acides aminés essentiels tels que l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, la valine et le tryptophane. De plus, l'acide glutamique est l'acide aminé majoritaire (23,32%) dans les protéines de graines de melon (**Mallek-Ayadi et al., 2017**).

Les acides phénoliques (44,66%) représentent la classe dominante de composés phénoliques présents dans les graines de melon suivie par la classe des flavonoïdes qui constituent 28,15% (**Mallek-Ayadi et al., 2017**).

Les composants de différentes parties du melon rapportés dans la littérature sont résumé dans le tableau ci-dessous.

Tableau III: Principaux phytoconstituants du melon (**Kapoor et al., 2021**)

Partie de la plante	Constituants
Fruit	β -Carotène et apocaroténoïdes, Vitamine C (acide ascorbique).
Fruit, feuilles, tiges et graines	Composés phénoliques, Vitamine C (acide ascorbique).
Fruit, graines	Minéraux : fer, potassium, sodium, calcium, phosphore et potassium.
Graines	Acides gras: acide linoléique, et acide linoléiques. Acides aminés. Glycosides phénoliques. Dérivés de la chromone
Tiges	Cucurbitacines A, B et E

Chapitre II : Les composés phénoliques

II.1. Définition

Les composés phénoliques, également appelés polyphénols, sont des phytonutriments secondaires synthétisés par les plantes. Ils participent à la défense des plantes contre les agressions environnementales (Gee, 2001). L'une des caractéristiques d'une sous-classe des flavonoïdes est la coloration des fruits, des fleurs et des feuilles (El Gharras, 2009).

Les polyphénols, une famille de plus de 8000 composés naturels, sont divisés en plusieurs classes : les flavonoïdes qui représentent plus de la moitié des polyphénols ; les tanins qui sont des produits de la polymérisation des flavonoïdes ; les acides phénoliques, les coumarines, les lignanes et d'autres classes existent en nombres considérables (Dacosta, 2003). De plus, une grande partie des propriétés comme la saveur et le goût des aliments et des boissons sont associés à la présence de ces composés (Bravo, 1998).

II.2. Structure et classification des polyphénols

Ces composés présentent un cycle aromatique et un ou plusieurs groupements hydroxyliques dans leur structure (figure 05). Ils se distinguent par le nombre et la position des groupes hydroxyles, ainsi que par la présence de différents substituants tels que les acides organiques et les groupements alkyles (M'hiri, 2015).

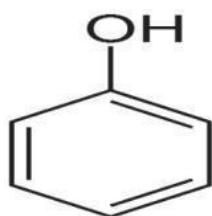


Figure 05 : structure de base d'un phénol (Guo, 2001).

Les composés phénoliques sont répartis en diverses sous-catégories selon les unités phénol présents dans la molécule, les groupes de substituants et le genre de liaison qui unit les unités phénol (Vuolo, 2019).

Donc il existe deux classes majeures : Les non flavonoïdes et les flavonoïdes, sans

oublier les tannins qui sont des polyphénols complexes (**DIA, 2019**).

II.2.1. Les non flavonoïdes

Cette classe contient plusieurs composés chimiques, parmi lesquels : les acides phénoliques, les stilbenes hydroxylés, les coumarines, les lignanes, les lignines et les xanthones.

Les acides phénoliques

Ce sont les composés les plus simples parmi les composés phénoliques et se séparent en deux classes appartenant à cette sous-famille. Les dérivés d'acide benzoïque et les dérivés d'acide cinnamique. Les acides hydroxy benzoïques ont des structures complexes comme les tanins hydrolysables présents dans les mangues, et les fruits rouges comme les fraises, les framboises ou encore les mûres (**Manach et al., 2004**). Les acides hydroxycinnamiques sont plus abondants que les acides hydroxy benzoïques. Ils sont principalement composés d'acide p-coumarique, caféïque, férulique et sinapique (**El Gharris, 2009**).

Les stilbènes hydroxylés et les coumarines

Les stilbènes se trouvent en petites quantités dans l'alimentation humaine, parmi ces composés on trouve le resveratrol qui est un anticancéreux présent dans certaines plantes médicinales (**Fleuriet, 2005**).

Les coumarines sont des composés dérivés de la lactonisation de l'acide orthocoumarique. Une fois hydroxylées sur le cycle aromatique, les coumarines deviennent des composés phénoliques aux structures variées. Elles sont généralement substituées en C7 par un groupe hydroxyle. La structure de base de ces composés est le benzo-2-pyrone. À ce jour, plus de 1 000 composés de coumarine ont été isolés, dont plus de 800 proviennent de plantes et de micro-organismes. Les coumarines ont la capacité de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et d'éliminer les radicaux hydroxyles, superoxydes et pyroxyles (**DIA, 2019**).

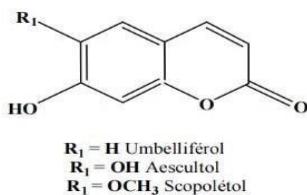


Figure 06 : Quelques exemples des structures chimiques des coumarines (**DIA, 2019**).

Les lignines, les lignanes et les xanthones :

Les lignanes représentent une catégorie des composés naturels issus du règne végétal. Ce sont des dimères ramifiés de phénylpropènes, résultant de la dimérisation de trois types d'alcools : l'alcool p-coumarique, l'alcool coniférique et l'alcool sinapique. Le sécoisolaricirésinol et le matairésinol sont les lignanes végétales les plus notables (**Manach *et al.*, 2004**).

C'est une famille comprend des composés polyphénoliques généralement extraits dans les plantes supérieures et dans les micro-organismes caractérisés par une structure de base (C6-C1- C6), c'est les xanthones (**Muanda, 2010**).

II.2.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des molécules à structure phénolique benzopyrène et n'existent que dans les plantes, où ils sont sous forme de glycosides. Les flavonoïdes peuvent être divisés en six sous-classes en fonction du type d'hétérocycle impliqué en fonction du type d'hétérocycle impliqué : flavonols, flavones, isoflavones, flavanones, anthocyanidines et flavanols (**El Gharris, 2009**).

Les flavonols

Les flavonols sont les flavonoïdes les plus répandus dans les aliments, et les principaux représentants sont le kaempférone et la quercétine. Ce dernier est considéré comme l'antioxydant alimentaire le plus puissant car elle possède toutes les caractéristiques structurelles nécessaires à l'activité de piégeage des radicaux libres. Les flavonols sont généralement présents à des concentrations relativement faibles de 15 à 30 mg/kg de poids frais. Les sources les plus riches sont les oignons (jusqu'à 1,2 g/kg de poids frais), le chou frisé, le poireau, le brocoli et les myrtilles. Ces composés sont présents sous des formes glycosylées. Le sucre associé est très souvent le glucose ou le rhamnose, mais d'autres sucres peuvent également être impliqués (ex. galactose, arabinose, xylose, acide glucuronique), xylose, acide glucuronique). Dans les fruits du palmier, les analyses des flavonols et de l'indice phénolique ont montré des fourchettes comprises entre 3,62-95,33 g UR/L et 15,90-247,22 g EAG /L, respectivement (**El Gharris, 2009**).

Les flavons

Dans les fruits et légumes, les flavones sont beaucoup moins fréquents que les flavonols. Les flavones se composent principalement de glycosides de lutéoline et de l'apigénine. Les seules sources comestibles importantes de flavones identifiées à ce jour sont le persil et le céleri (**Manach et al., 2005**). De grandes quantités de flavones polyméthoxylées : tangerétine, nobiletine et sinensétine (jusqu'à 6,5 %). sinensétine (jusqu'à 6,5 g/L d'huile essentielle de mandarine).

De grandes quantités de flavones polyméthoxylées : la tangerétine, la nobilétine et la sinensétine (jusqu'à 6,5 g/L d'huile essentielle de mandarine) sont les flavonoïdes les plus hydrophobes (**El Gharras, 2009**).

Polyphénols complexes

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structures variées, ayant en commun la propriété de tanner la peau, c'est-à-dire de la rendre imputrescible. Ces substances ont en effet la propriété de se combiner aux protéines, ce qui explique leur pouvoir tannant. Très répandu dans le règne végétal, ils peuvent exister dans divers organes, mais on note une accumulation plus particulièrement dans les tissus âgés ou d'origine pathologique. Ils sont localisés dans les vacuoles, quelques fois combinés aux protéines et aux alcaloïdes. On distingue : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Catier, 2007**).

II.3. Le rôle des polyphénols

Chez les plantes, les composés phénoliques, notamment les flavonoïdes, jouent un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions biologiques. Ils contribuent à la coloration des fleurs, des fruits et des graines, ce qui favorise l'attraction des polliniseurs et des animaux dispersant les graines. En outre, ils constituent un système de défense contre les micro-organismes pathogènes, contribuant à la protection de la plante. Les flavonoïdes agissent également comme filtres naturels contre les radiations ultraviolettes en absorbant ces rayonnements ainsi que les espèces réactives de l'oxygène produites, limitant ainsi les dommages cellulaires. Par ailleurs, ils interviennent dans des processus liés à la fertilité des plantes et la germination du pollen (**Vuolo, 2009**).

II.4. Méthodes d'extraction des polyphénols

Il existe plusieurs techniques pour extraire les produits les plus intéressants des plantes. Ces techniques sont soit « traditionnelles » ou dites conventionnelles, comme la macération, décoction et extraction par soxhet, soit « nouvelles » ou assistées tels que l'extraction par micro- ondes ou par ultrason (Garcia-Ayuso., 1998).

II.4.1. Extraction par ultrason

L'extraction par ultrasons (UAE) est une technique utilisée pour isoler des composés naturels. Elle permet d'effectuer des extractions en un court temps (quelques secondes) avec une grande reproductibilité (Chemat, 2011). Le mécanisme d'extraction par ultrasons implique deux types principaux de phénomènes physiques, la diffusion à travers la paroi cellulaire et rinçage du contenu de la cellule après rupture des parois (Dolatowski, 2007).

II.4.2. La décoction

La décoction est une méthode d'extraction qui consiste à faire bouillir une substance végétale dans un liquide, généralement de l'eau, pendant un certain temps afin d'extraire les principes actifs et les composés solubles. Cette technique est principalement utilisée pour extraire les constituants durs et ligneux des plantes, tels que les racines, les écorces et les tiges épaisses (Pierre et lis, 2007).

II.4.3. Extraction par macération

L'extraction conventionnelle par solvant appelée également l'extraction directe, est la méthode couramment utilisée pour l'extraction des composés phénoliques. Parmi ce type d'extraction la macération qui consiste à immerger à froid un solide dans un liquide et à laisser reposer le tout à la température ambiante pendant une période afin d'extraire les constituants solubles dans ce liquide comme montré dans la (Figure 7) (Benabdallah, 2016).

D'après (Pierre, 2007), les plantes doivent être ajoutées au liquide, qu'il soit froid ou tiède, dans un délai maximal de 10 à 12 heures pour prévenir les risques d'oxydation, la fermentation ou toute contamination bactérienne. Pour éviter ces effets indésirables, la macération doit se faire dans un récipient couvert, protégé de la lumière, et

éventuellement conservé au réfrigérateur selon les besoins (Groubert, 1984).

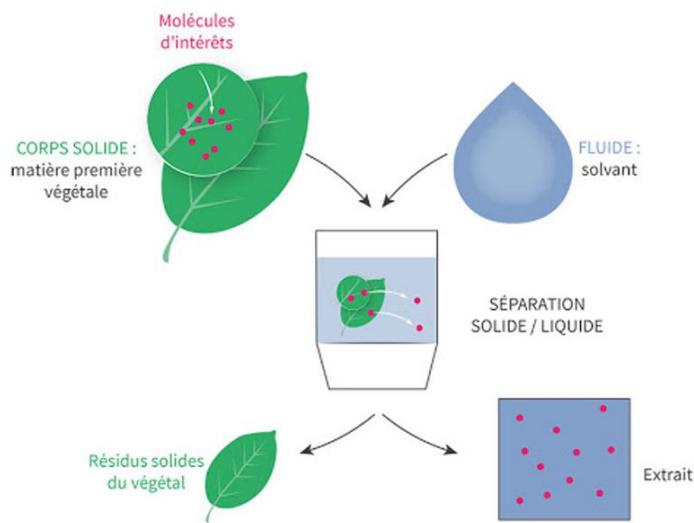


Figure 07: Principe de l'extraction par macération (Sadou, 2019)

Matériel

Et

Méthodes

I. Objectif

L'objectif principal de ce travail est d'optimiser les conditions d'extraction des substances bioactives à partir des graines de cantaloup (*Cucumis melo*). Cette optimisation vise à améliorer le rendement et la qualité des extraits obtenus, en tenant compte des paramètres influençant le processus d'extraction. Les travaux expérimentaux ont été réalisés au niveau du Laboratoire de Sciences Alimentaires de l'Université de Béjaïa (Algérie).

II. Méthodes

II.1. Echantillonnage

Les melons cantaloups ont été achetés sur un marché local. Après avoir été séparés, les graines ont été lavées à l'eau distillée, puis séchées naturellement au soleil, à l'air libre, jusqu'à ce qu'elles soient complètement déshydratées.

II.2. Broyage et tamisage

L'échantillon a été broyé avec un broyeur électrique et la poudre a été tamisée à travers un tamis d'une porosité de 500 µm, ensuite elle a été conservée au réfrigérateur dans des flacons à labrit de la lumière en attendant l'étape d'extraction.

II.3 Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante

Afin de déterminer les facteurs influençant l'extraction de composés phénoliques et l'activité antioxydante à partir des graines de cantaloup, une étude préliminaire est effectuée. Les essais ont été effectués dans le laboratoire des analyses physico-chimiques et aussi de biochimie alimentaire. Parmi les facteurs qu'ont des effets sur l'efficacité de l'extraction on trouve ; la température, le rapport solvant/soluté, la concentration du solvant, et la durée de l'extraction (**Nelly et al., 2017 ; Fazila et al., 2021**).

Dans notre étude, le rapport solvant/soluté a été fixé tandis que les autres paramètres ont été modifiés au cours des expérimentations.

II.4. Etudes préliminaires

Une étude préliminaire a été réalisée, pour déterminer les conditions optimales de l'extraction des CP sur les graines de cantaloup et évaluer l'activité antioxydante de ces derniers.

II.4.1. Choix la concentration du solvant d'extraction

En raison de sa polarité modérée, de sa faible toxicité et de sa capacité à solubiliser une large gamme de composés bioactifs, l'éthanol a été choisi comme solvant d'extraction pour les composés phénoliques. Des extractions ont été effectuées en utilisant trois concentrations différentes d'éthanol (20 %, 55 % et 100 % v/v), afin d'évaluer l'influence de la polarité du solvant sur le rendement en composés phénoliques totaux (TPC).

II.4.2. Le ratio solide/liquide

La mesure du ratio solide/liquide a été réalisée en maintenant fixe la concentration en éthanol (55 %) et la durée d'extraction (3 heures). Trois rapports ont été utilisés : 1:10, 1:20 et 1:50 (g/mL), avec l'objectif de savoir l'effet de la dilution sur l'extraction des composés phénoliques et activité antioxydante. La mise en œuvre du ratio optimal s'est basée sur les valeurs maximales obtenues en TPC.

II.4.3. Temps d'extraction

La variation du temps d'extraction (60, 120 et 180 min) a été réalisée après avoir fixé le paramètre précédent (concentration en solvant et le Ratio). Le meilleur temps d'extraction a été choisi sur la base de la valeur la plus élevée en TPC.

II.4.4. Préparation du lait végétale

Pour la préparation du lait végétal, une quantité de 10 g de poudre de graines de cantaloup a été homogénéisée avec 100 mL d'eau distillée. Après agitation, le mélange a pris une couleur blanche ressemblant à celle du lait. Ce dernier a été conservé dans des flacons hermétiquement fermés et placé au réfrigérateur à une température de 4 °C pendant une durée de 10 jours, avant de procéder aux différentes analyses physico-chimiques et biochimiques.

II.5. Méthodologie de surface de réponse (MSR)

L'optimisation de l'extraction des composés phénoliques totaux et de l'activité antioxydante à partir des graines de cantaloup a été réalisée à l'aide de la méthodologie de surface de réponse (RSM). Le plan expérimental utilisé est celui de Box-Behnken (BBD), mis en œuvre à l'aide du logiciel JMP. Cette approche a permis

d'évaluer les effets et les interactions entre les paramètres d'extraction, dans le but d'identifier les conditions optimales permettant d'obtenir les rendements les plus élevés en composés bioactifs.

II.6. Application du plan d'expérience

L'optimisation de la méthode d'extraction a été réalisée en employant le plan de Box Behenken de trois niveaux.

Suite aux résultats de l'étude préliminaire, le rapport entre la masse de matière première et le volume de solvant a été fixé à 1:20. Par la suite, trois variables indépendantes ont été sélectionnées pour chaque expérience pour l'optimisation du procédé. Les niveaux de ces facteurs, ainsi que leur codification, sont présentés dans le Tableau suivant.

Tableau V : Variables indépendantes et les niveaux des facteurs influençant sur l'extraction.

	Niveau de facteur		
Variables indépendantes	-1	0	+1
Macération			
X1 : Concentration (%)	30	55	80
X2 : Temps(min)	10	80	150
X3 : Température (°C)	20	40	60

Le tableau récapitulatif des essais est présenté en annexe.

II.7. Analyses effectuées

II.7.1. Dosage des composés phénoliques

Principe: le dosage est basé sur la réduction du Folin-Ciocalteu (Mélange phosphomolybdique et phosphotungstique) par les composés phénoliques présents dans les échantillons. Cette réduction produit un complexe coloré qui absorbe à 760 nm. L'intensité de cette couleur est proportionnelle à la quantité des composés

phénoliques présents.

Méthode: La méthode adoptée pour le dosage des composés phénoliques totaux est celle décrite par (**Singleton, 1999**) avec quelques modifications.

L'extrait de l'échantillon (100 μ L) a été mélange avec 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocâlteu dilué au 1/10, et 2 ml de solution de carbonate de sodium à 7,5 %. La réaction a été maintenue dans l'obscurité pendant 40 minutes à 45°C et l'absorbance a été lue à 765 nm (**Ait Bella, 2023**).

II.7.2. Test de piégeage du radical 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH)

Principe : Le radical libre DPPH \cdot est réduit en sa forme non radicalaire (DPPH-H), de couleur jaune, lorsqu'il rentre en contact avec des molécules antioxydantes (AH) qui est capable de donner un atome d'hydrogène, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance (**Boumerfeg, 2012**).

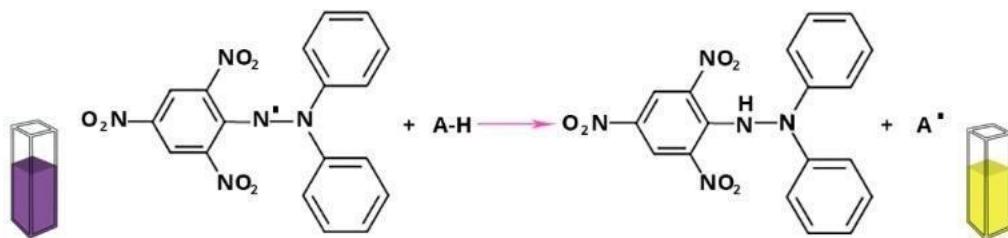


Figure 08 : Figure représentative de la réduction du radical DPPH \cdot (**Fekih, 2015**)

Méthode : Le test DPPH a été réalisé selon la méthode développée par (**Dudonne, 2009**). 3mL de solution de DPPH ont été mélangés avec 100 μ L d'extraits d'échantillons. Les mélanges ont été incubés pendant 30 minutes à une température ambiante à labrit de la lumière, et lire l'absorbance à 515 nm.

II.7.3. Les analyses effectuées pour le lait des graines

II.7.3.1. Dosage des protéines

Principe : La méthode de Bradford, développée par Marion M. Bradford en 1976, est une technique couramment utilisée pour déterminer la concentration en protéines totales dans un échantillon en utilisant le colorant bleu de Coomassie Brilliant Blue G-250, qui passe de sa forme anionique rouge ($\lambda_{\text{max}} = 465$ nm) à une forme cationique bleue ($\lambda_{\text{max}} = 595$ nm) lorsqu'il interagit avec les résidus basiques et aromatiques des protéines (**Fumex, 2019**).

Méthode : Prendre 100 µL de l'extrait et ajouter 1 ml de réactif de Bradford, laisser 15min à labrit de la lumière puis lire l'absorbance à 595nm.

II.7.3.2. Acidité titrable

Principe : L'acidité du lait est dosée par une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine servant d'indicateur.

Méthode : Un volume de 10 ml de lait extrait plus quelques gouttes de l'indicateur coloré (phénolphtaléine). Le tout est titré avec une solution d'NaOH (0,1 N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose.

L'acidité ou bien la quantité d'acide (exprimé en équivalent d'acide citrique) dans l'échantillon est obtenue selon l'équation suivante

$$\text{acidité} \left(\frac{g}{100g} \right) = \frac{C_{NaOH} * V_{NaOH} * 0,064}{\text{Prise d'essai}} * 100$$

II.7.3.3. Taux de cendres

Principe : Le taux de cendres (TC) correspond aux substances minérales contenues dans le produit, déterminé suite à une destruction des matières organiques par chauffage de l'échantillon à une température de $600^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante (AOAC, 1995).

Méthode : Une quantité de 5 ml de l'échantillon a été pesée dans des creusets en porcelaine préchauffés. Les creusets ont été ensuite placés dans un four à moufle à 550°C pendant 5 heures et ont été ensuite refroidis dans un dessiccateur, puis pesés. Le pourcentage de la teneur en cendres a été déterminé selon l'équation ci-dessous (Rachedi, 2022).

$$\text{Taux de cendre (\%)} = \frac{(m_0 - m_1) * 100}{V}$$

m_0 et m_1 sont respectivement la masse en grammes du creuset vide et la masse en grammes du creuset + les cendres, notons que V est le volume en millilitres de la prise d'essai.

II.7.3.4. Taux de sucres

Principe : Le degré de Brix correspondant à la teneur en solides solubles totaux (TSS) présents dans l'échantillon, ces solides englobent notamment le sucre, mais aussi

les composés hydrosolubles tels que l'alcool, sels et protéines.

Méthode : Pour déterminer cette valeur et sur le prisme d'un réfractomètre, quelques gouttes de l'échantillon sont déposées pour lire le résultat à l'intersection des zones claire et sombre sur l'échelle graduée de l'appareil. L'opération est répétée afin d'assurer la fiabilité des résultats et après chaque utilisation le prisme est nettoyé avec de l'eau distillée (Zapata, 2013).

II.7.4 Activité microbienne du lait et de l'extrait des graines de cantaloup

Ce test a pour but d'évaluer l'activité antimicrobienne de l'extrait obtenu et le lait contre différents micro-organismes, incluant des bactéries pathogènes, des bactéries non pathogènes, des levures et des champignons filamenteux.

Les micro-organismes cibles ont été préparés en suivant les protocoles microbiologiques standards, 24 heures avant le test. Des boîtes de Pétri ont été utilisées pour couler des milieux spécifiques pour chaque type de germe :

Tableau VI : Identification des germes cibles et types de milieux utilisés pour leur isolement.

Catégorie	Germe cible	Milieu utilisé
<i>Gram positif</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	Chapman
	<i>Bacillus subtilis</i>	GN
	<i>Micrococcus letus</i>	G
<i>Gram négatif</i>	<i>Eschirichia coli</i>	EMB
	<i>Vibrio cholerea</i>	GN
	<i>Salmonella enterica</i>	SS
<i>Levure et moisissure</i>	<i>Candida romania</i>	GN
	<i>Aspergillus romaina</i>	GN
	<i>Penicillium remania</i>	GN

Préparation des suspensions bactériennes :

Prélever une colonie isolée et l'ensemencer dans un tube contenant 5 mL d'une solution physiologique stérile, puis homogénéiser au vortex.

Mesurer la densité optique (DO) des suspensions à 600 nm l'a adapté à 10^6 unités de formation de colonies par millilitre (UFC/mL) pour standardiser l'inoculum avant son emploi dans les tests d'activité anti-microbienne.

Test d'activité antimicrobienne :

Des boîtes de Pétri contenant le milieu Mueller-Hinton (MH) ont été mises en place, des puits ont été créés dans le matériau solidifié en utilisant une pipette Pasteur stérile.

100 μ l de l'échantillons à tester sont déposés dans ces puits. Ensuite les boîtes ont été placées en incubation à 37°C pour les bactéries pathogènes et à 25°C a été la température utilisée pour les champignons. Les résultats ont été interprétés après une incubation de 24 heures, conformément aux techniques traditionnelles de diffusion sur milieu solide.

Analyses statistiques :

Une analyse descriptive des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016, afin de déterminer les moyennes. Toutefois, les données issues du plan d'expérience ont été traitées et modélisées à l'aide des logiciels JMP afin d'identifier les effets des facteurs étudiés.

Résultats
et Discussion

I. Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques :

I.1-Les effets des différents facteurs sur l'efficacité de l'extraction

I.1.1. Effet du temps

Le temps influence significativement sur l'extraction des composés phénoliques (figure 09).

La teneur en composés phénoliques augmente avec le temps d'extraction jusqu'à 2 heures, puis diminue légèrement à 3 heures. Cela suggère qu'un temps optimal d'extraction est nécessaire pour maximiser l'extraction des phénols, au-delà duquel une dégradation ou une saturation peut se produire. La durée 120 min considérée comme optimale et permet d'extraire 3,15mgEAG/gMF.

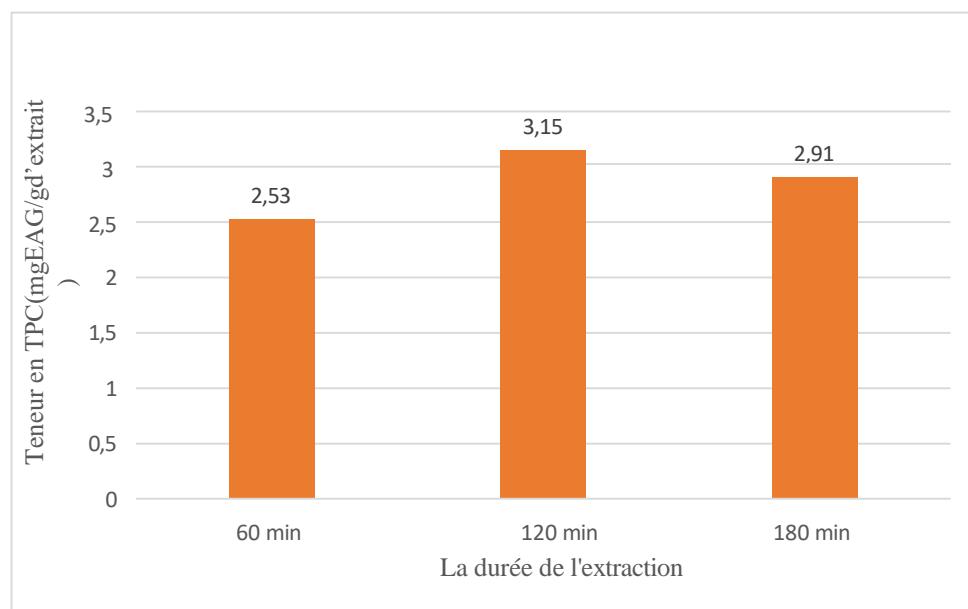


Figure 09 : L'effet du temps sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques.

Selon (**Charunivedha et al., 2024**), La concentration en polyphénols totaux a augmentée au fur et à mesure que le temps d'extraction s'est prolongé, atteignant un pic à 120 minutes avec une teneur de 18mgEAG/g, ce qui traduit une amélioration de l'efficacité d'extraction des composés phénoliques avec une durée plus longue.

I.1.2. Effet de la concentration du solvant

Les résultats de l'étude de l'effet des différentes concentrations en éthanol sur l'efficacité de l'extraction des TPC sont représentés dans la figure 10 ci-dessous.

La plus grande teneur (6,44 mg EAG/g) a été obtenue avec la concentration 55%, et c'est celle qui est la plus effective pour l'extraction de ces composés. Les concentrations 30% et 80% ont donné des rendements inférieurs. Ces valeurs suggèrent que nous obtenons l'optimum extraction des composés phénoliques en ayant une concentration intermédiaire d'éthanol.

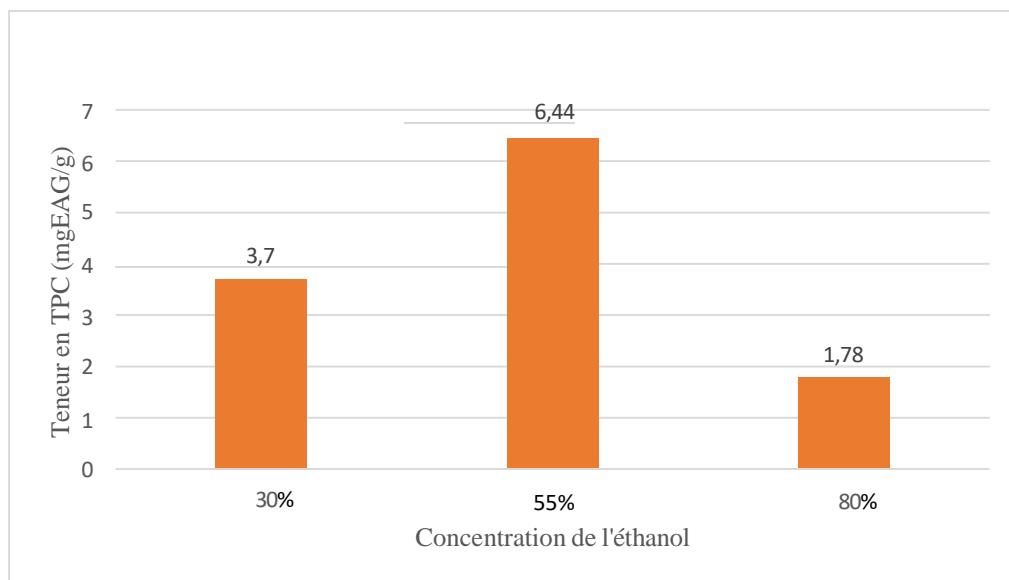


Figure 10 : L'effet de la concentration de l'éthanol sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques

D'après (**El Adnany et al., 2023**), l'utilisation d'une solution à 60 % d'éthanol pour l'extraction à partir des feuilles d'olivier permet d'obtenir les niveaux les plus élevés de polyphénols totaux (TPC), de flavonoïdes totaux (TFC) ainsi qu'une activité antioxydante significative. Ce résultat s'explique par l'action combinée de l'eau, qui provoque le gonflement de la matrice végétale et facilite ainsi la libération des composés ciblés, et de l'éthanol, qui intervient en brisant les interactions entre ces composés et la matrice, ce qui améliore leur libération.

I.1.3. Effet du ratio échantillon/solvant

L'étude de l'impact du ratio sur l'extraction des composés phénoliques a montré que le meilleur rendement donné par le ratio 1:20 (correspondant à 0,5g de l'échantillon dans 10ml u solvant). Ce dernier assure une proportion optimale entre le volume du solvant et la masse de l'échantillon favorisant une extraction efficace. Par contre, les deux autres ratio (1:50 et 1:10) donnent des faibles rendements (0,91 et 5,13 respectivement), qui peut être due à la quantité insuffisante de la matière végétale

ou encore une saturation du solvant pour le ratio 1:10.

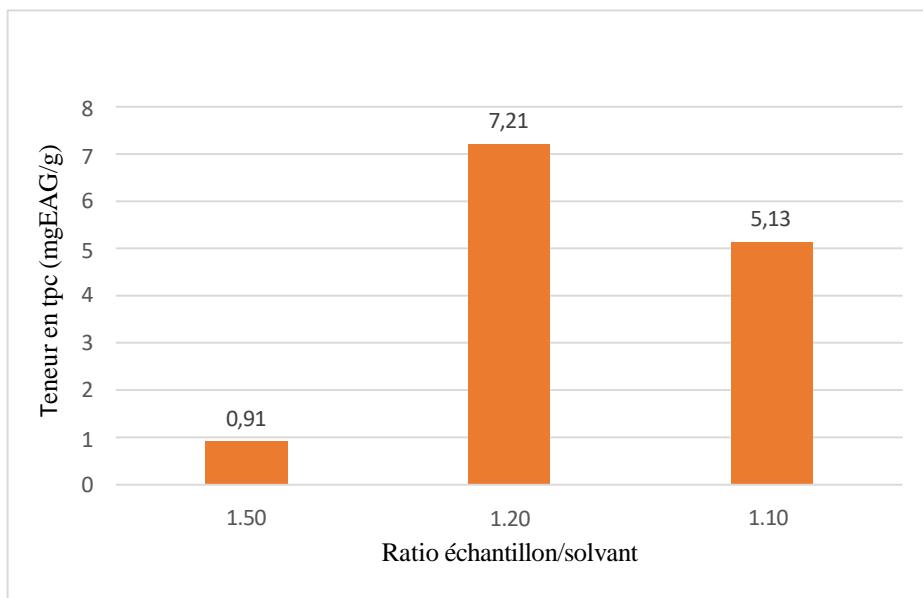


Figure 11: L'effet du rapport échantillon/solvant sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques

Selon (**Shi J., 2003**), La détermination d'un ratio approprié est nécessaire, En effet, un faible rapport peut favoriser l'oxydation de ces composés en raison de la présence d'oxygène dissous dans le solvant, un phénomène qui s'aggrave avec l'augmentation du temps d'extraction et de la température. À l'inverse, un rapport trop élevé peut limiter l'extraction, car le solvant atteint rapidement sa capacité maximale d'absorption avant que l'ensemble des composés ne soit extrait du substrat.

Une recherche concernant l'extraction des composés phénoliques à partir des tiges de vigne a révélé qu'un ratio 1 : 20, avec une concentration d'éthanol de 70% (v/v), réussissait à extraire plus de 80 % des TPC en simplement 4 heures de macération à une température de 25°C. (**Filimon et al., 2023**).

Du même, (**Brahmi et al., 2022**) ont montré dans leur recherche sur l'extraction des composés phénoliques à partir des pelures de pommes de terre, l'utilisation d'un ratio solide/solvant de 1 :20, combiné à une concentration optimale d'éthanol, permettait une extraction efficace des composés phénoliques.

I.1.4. Effet de la température

L'étude de l'influence de la température sur l'extraction des composés phénoliques totaux et l'activité antioxydante des graines de cantaloup montre des résultats contrastés.

L'analyse de l'effet de la température sur l'extraction des composés phénoliques totaux montre que la teneur la plus élevée est obtenue à 40°C (2). Par ailleurs, à 20°C, la teneur reste relativement élevée, indiquant qu'une extraction à froid reste efficace, bien que légèrement inférieure. Par contre, une diminution a été marqué à la température 60°C, ce qui s'explique probablement par leur sensibilité à la chaleur.

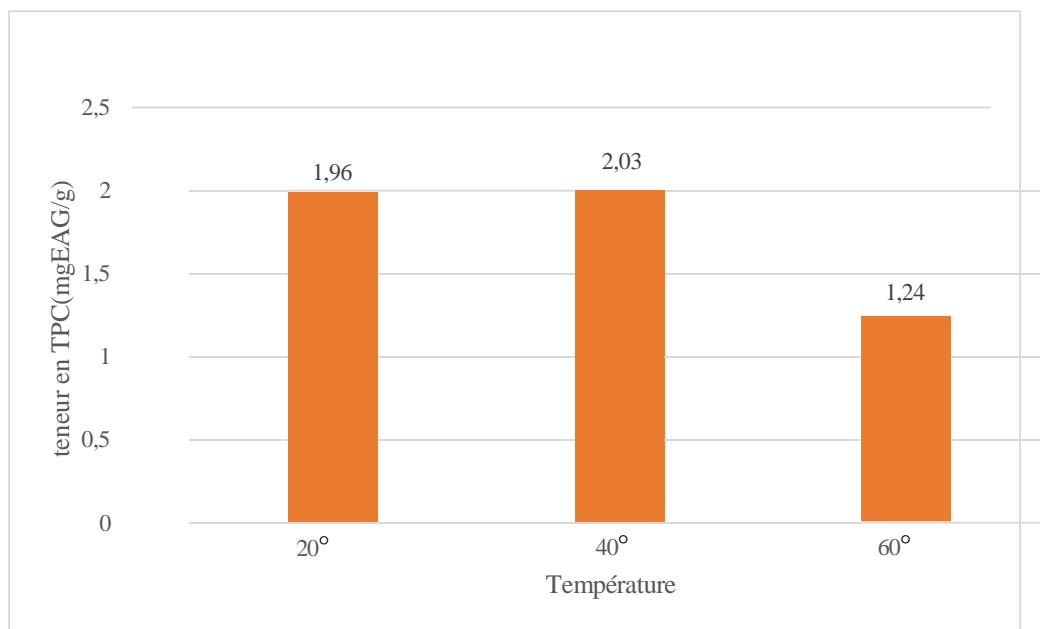


Figure 12: L'effet de la température sur l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques

Les résultats de notre étude concordent avec ceux de **Chan et al. (2009)**. Ces derniers ont montré que la quantité de composés phénoliques extraite à partir de zestes du citron augmente avec la température pour atteindre son maximum à 40°C.

I.2-Construction du plan d'expérience

Dans cette étude, l'optimisation des conditions d'extraction des composés bioactifs issus des graines de cantaloup a été menée à l'aide de la méthodologie des

surfaces de réponse (MSR), en utilisant le plan de Box-Behnken. La démarche vise à améliorer simultanément la teneur en polyphénols totaux et aussi la capacité antioxydante par macération, considérées comme variables dépendantes.

- **I.2.1. Extraction par macération**

Les conditions optimales pour l'extraction des CP et l'AA de la poudre des graines de cantaloup qui dépendent de la concentration en solvant, température et du temps d'extraction, ont été obtenues à l'aide des équations prédictives de MSR. Les valeurs expérimentales ont été comparées afin de déterminer la validité du modèle (tableau VII).

Tableau VII : Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols par le plan d'expérience Box-Behnken de la poudre des graines de cantaloup.

Essai n°	EthOH (%)	Temps (min)	Température (°C)	Activité de piégeage des radicaux libres (%) d'inhibition	Teneur en composés phénoliques (mgEAG/g)
1	55	10	20	11,58	1,39
2	55	150	20	24,05	1,45
3	30	80	20	19,47	4,22
4	80	80	20	25,57	0,79
5	30	10	40	11,58	4,74
6	30	150	40	10,31	1,55
7	80	10	40	11,96	1,44
8	80	150	40	16,92	1,17
9	55	80	40	8,02	1,55
10	55	80	40	11,83	1,53
11	55	80	40	9,03	1,64
12	55	10	60	5,98	1,01

13	55	150	60	6,99	1,15
14	30	80	60	9,41	1,91
15	80	80	60	21,11	0,90

Les données obtenues indiquent que la teneur en TPC varie entre 0,79 et 4,74 mg EAG/g, la teneur la plus élevée en TPC a été obtenue avec une concentration d'éthanol de 30 %, une température de 40 °C et un temps d'extraction court (10 min), des conditions qui semblent favoriser l'extraction des composés phénoliques solubles. Tandis que l'activité antioxydante (AA) se situe entre 5,98 % et 25,57 % ; la valeur maximale a été obtenue avec une concentration élevée en éthanol (80 %), une température plus basse (20 °C) et un temps d'extraction plus long (80 min), suggérant une meilleure libération ou préservation de certains antioxydants dans ces conditions.

Cependant, les conditions optimales d'extraction ont été déterminées par la suite à l'aide du modèle mathématique issue du plan d'optimisation.

I.3. Modèle mathématique

Lorsque trois variables indépendantes (X1, X2 et X3) influencent significativement la réponse, il est possible de modéliser la réponse à l'aide d'une équation quadratique ; un polynôme du second degré (**Annadurai, 1998**).

Une fois les facteurs et la réponse d'intérêt déterminés, il est possible de construire un plan d'expérience permettant d'explorer le phénomène à l'étude. Toutefois, cette étape doit s'appuyer, au préalable, sur la définition d'un modèle mathématique capable de traduire les relations entre les variables impliquées. Les modèles adoptés pour la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante, sont formulée comme suit

$$\mathbf{Y2}(\text{TPC mg UAG/g}) = 1.66 - 0.36X_1 + 0.24X_2 - 0.18X_3 - 0.38X_1^2 - 0.17X_2^2 - 0.12X_3^2 + 0.13X_1X_2 + 0.08X_1X_3 + 0.10X_2X_3$$

$$\mathbf{Y1}(\text{RSA}\%) = 14.6 + 2.9X_1 + 4.2X_2 + 1.7X_3 - 2.8X_1^2 - 2.1X_2^2 - 3.2X_3^2 + 0.7X_1X_2 + 0.6X_1X_3 + 0.5X_2X_3$$

Avec :

Y2 TPC : rendement en polyphénols totaux(réponse)

Y1 AA : rendement en activité antioxydante (réponse)

X_1 : concentration du solvant

X_2 : temps d'extraction

X_3 : température d'extraction

I.4. Effet des facteurs

Les effets des trois facteurs étudiés ; la concentration du solvant (X_1), temps (X_2) et la température (X_3) ainsi que leurs interactions sur les réponses d'extraction des TPC et de l'AA sont exprimés dans le tableau suivant ;

Tableau VIII : Les principaux coefficients de régression appliqués dans l'analyse statistique du modèle Box-Behnken.

Terme	Macération	
	TPC	RSA
Constant	1,66	14,6
Linéaire		
X_1 : Concentration de l'éthanol	-0,36	2,9
X_2 : Temps	0,24	4,2
X_3 : Température	-0,18	1,7
Interaction		
X_1X_2	0,13	0,7
X_1X_3	0,08	0,6
X_2X_3	0,10	0,5
Quadratique		

X_1^2	-0,38	-2,8
X_2^2	-0,17	-2,1
X_3^2	-0,12	-2,2

I.4.1. Effet linéaire

Les effets linéaires montrent des influences bien distinctes selon les réponses étudiées. La concentration en éthanol agit positivement sur l'activité antioxydante (AA), mais négativement sur la teneur en polyphénols totaux (TPC). Le temps d'extraction a un effet positif dans les deux cas, en particulier sur le RSA, qui semble fortement dépendante de la durée. Quant à la température, elle améliore légèrement la RSA mais réduit légèrement la TPC, probablement en raison de la sensibilité des polyphénols à la chaleur.

I.4.2. Effet d'interaction

Les effets d'interaction entre les facteurs sont globalement positifs, bien que moins marqués que les effets principaux. L'interaction la plus marquée est celle entre l'éthanol et le temps, avec un impact plus important sur le AA. Cela signifie que l'effet combiné de ces deux paramètres peut améliorer les résultats. Les interactions entre éthanol et température, ainsi qu'entre temps et température, sont présentes, mais avec un effet plus modéré. Cela suggère que les combinaisons de paramètres peuvent légèrement influencer l'efficacité globale de l'extraction.

I.4.3. Effet quadratique

Les effets quadratiques présent clairement que chaque paramètre a ses limites : au-delà d'un certain seuil, l'efficacité de l'extraction commence à diminuer. Autrement dit, augmenter la concentration en éthanol, le temps ou la température ne mène pas toujours à de meilleurs résultats. Par exemple, utiliser trop d'éthanol ou prolonger le temps d'extraction peut finir par être défavorable. Cela montre qu'il existe des valeurs optimales pour chaque facteur, et que seul un bon équilibre entre eux permet d'obtenir une extraction efficace sans perte de qualité.

I.5. Coefficient de détermination R^2

Le coefficient de détermination R^2 , issu de l'analyse de la variance, reflète

l'efficacité de l'ajustement du modèle. Plus cette valeur est proche de 1, plus le modèle explique efficacement la variabilité des données. À l'inverse, une valeur proche de 0 indique une faible capacité explicative (Meziant, 2014).

Les résultats de modélisation montrent que les coefficients de détermination R^2 obtenus sont satisfaisants pour les deux réponses. Le modèle présente un R^2 d'environ 0,85 pour l'activité antioxydante et de 0,80 pour la teneur en polyphénols totaux, ce qui indique que les modèles expliquent respectivement environ 85 % et 80 % de la variabilité des résultats expérimentaux. Les écarts restants pourraient s'expliquer par des facteurs non inclus dans le modèle, tels que des imprécisions expérimentales.

I.6. Représentation spatiale et analyse des modèles de surfaces de réponses

Pour mieux illustrer l'influence des différents facteurs sur les réponses mesurées, Des représentation graphiques des modèles de surfaces de réponses sont générer. Dans chaque représentation graphique, deux facteurs varient et le troisième est maintenu à son niveau central (niveau 0). Elle fournit une méthode permettant de visualiser la relation entre les réponses et les niveaux expérimentaux de chaque variable et le type d'interactions entre deux variables d'essai.

La figure 13 illustre la représentation spatiale en trois dimensions montrant l'effet de la température et le temps sur l'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante. Les résultats montrent que l'augmentation du temps d'extraction a un effet positif sur l'activité antioxydante, tandis que la température élevée favorise l'extraction des polyphénols. Un compromis optimal est atteint avec un temps prolongé (autour de 100–150 min) et une température modérée à élevée (40 °C), permettant d'obtenir une bonne activité antioxydante et une concentration suffisante en polyphénols à la fois.

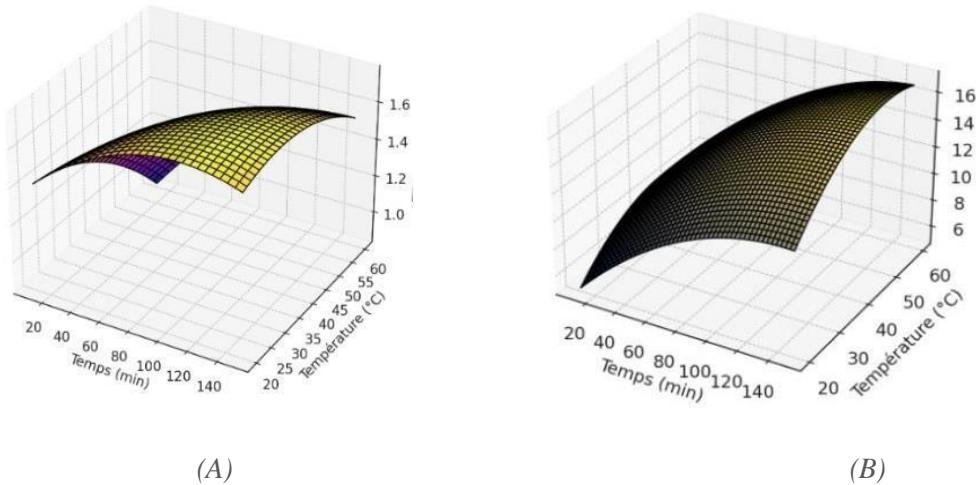


Figure 13: Représentation spatiale des modèles de surfaces de réponses de l’effet de la température et du temps sur l’extraction de TPC (A) et l’AA (B) de la poudre des graines de cantaloup.

Les deux graphiques 3D dans la figure 14 illustrant l’effet combiné de la température et de la concentration en éthanol sur le TPC et l’AA, on remarque que la TPC est la plus élevée quand la concentration en éthanol est faible et que la température est modérée, vers 40 °C. Ces conditions semblent favoriser l’extraction des polyphénols hydrophiles. À l’inverse, l’AA augmente surtout avec une forte teneur en éthanol et des températures moyennes à hautes, ce qui suggère une meilleure extraction des composés antioxydants plus apolaires. Donc, un bon équilibre entre les deux paramètres permet d’optimiser l’extraction des composés bioactifs.

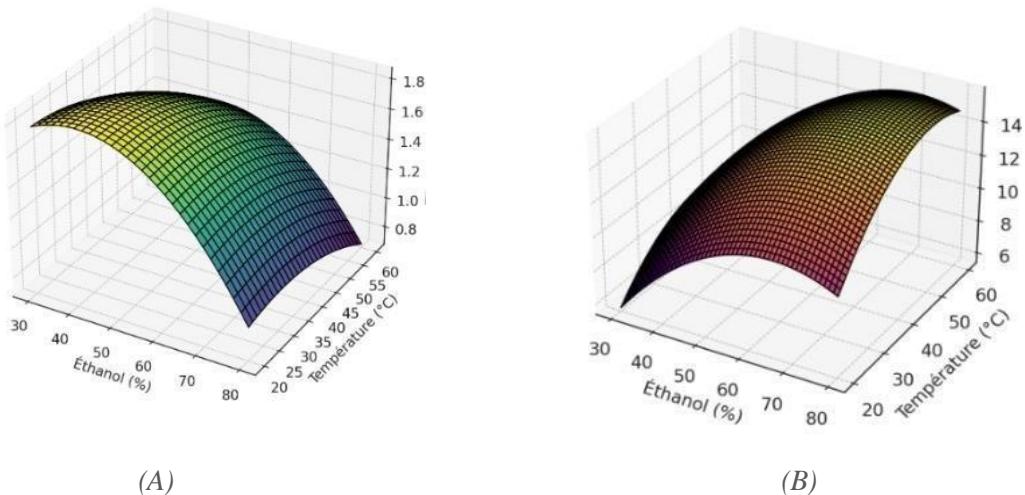


Figure 14: Représentation spatiale des modèles de surfaces de réponses de l’effet de la Concentration du solvant et de la température sur l’extraction de TPC (A) et l’AA (B) de la poudre des graines de cantaloup.

D'après la dernière représentation spatiale (figure 15) en ce qui concerne l'effet du temps d'extraction et la concentration du solvant sur l'extraction de TPC et l'AA.

L'extraction de TPC est plus efficace avec une concentration faible en éthanol et un temps moyen au tour de 80 min, tendus que le RSA augmente proportionnellement avec la concentration et le temps. Un compromis autour de 55 % d'éthanol et pendant 150 min semble le plus adapté pour obtenir une extraction équilibrée.

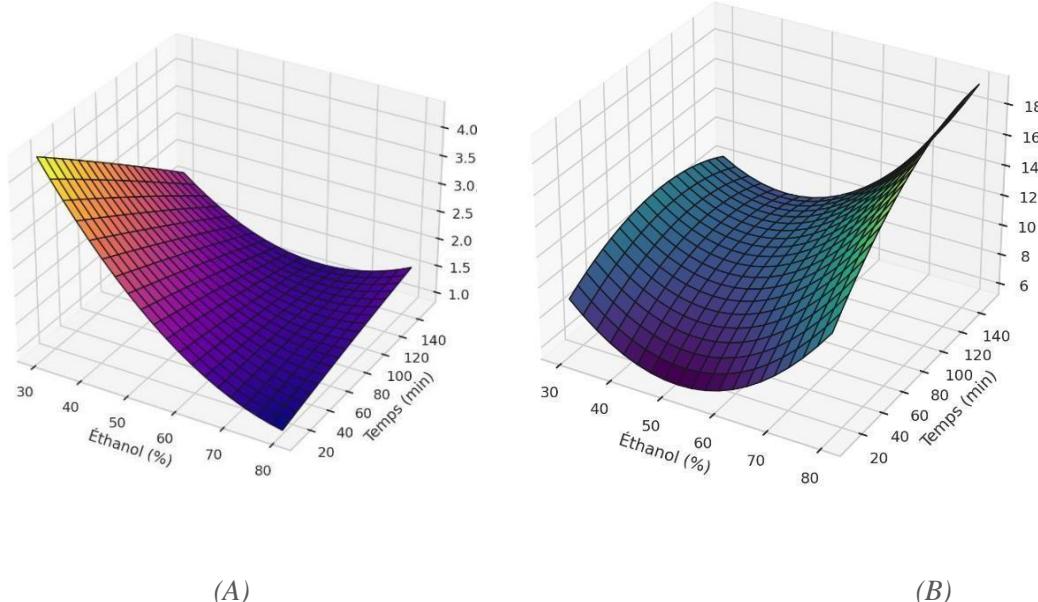


Figure 15 : Représentation spatiale des modèles de surfaces de réponses de l'effet de la Concentration du solvant et du temps sur l'extraction de TPC (**A**) et l'AA (**B**) de la poudre des graines de cantaloup.

II.7. Détermination et validation expérimentale des conditions optimales

Les conditions optimales pour maximiser l'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante par macération des graines de cantaloup ont été déterminées en utilisant le logiciel JMP. Les niveaux optimaux des facteurs étudiés (concentration du solvant, temps d'extraction et température) permettant d'obtenir les meilleures performances pour les deux réponses sont : 55%, 80-150 min et 40° respectivement.

Dans le but de valider les conditions optimales obtenues par modélisation, extractions a été effectuée en appliquant les paramètres estimés. Les mesures expérimentales des composés phénoliques et de l'activité antioxydante se révèlent très proches des valeurs théoriques, ce qui confirme la validité des modèles de surface de réponse développés.

Tableau IX : les conditions et les valeurs théoriques et expérimentales optimales pour l'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydantes des graines de cantaloup.

	Composés phénoliques (mg EAG/g)		Activité antioxydante (% inhibition)	
Valeurs optimales des paramètres	Valeur optimale	Valeur expérimentale	Valeur optimale	Valeur expérimentale
Concentration d'éthanol :55%	1,68	1,688± 0,17	16,68	15,55±0,85
Température : 40°C				
Temps :80-150min				

Pour les composés phénoliques, La valeur expérimentale obtenue ($1,688 \pm 0,17$ mg UAG/g) est en excellent accord avec la valeur optimale prédictive (1,68 mg EAG/g). La différence minime entre ces deux valeurs confirme la fiabilité du modèle d'optimisation utilisé, démontrant sa capacité à prédire avec précision les conditions d'extraction optimales. La valeur expérimentale pour l'activité antioxydante ($15,55 \pm 0,85$ % d'inhibition) est inférieure à la valeur théorique optimale (1,668 %), mais cet écart reste acceptable compte tenu de la variabilité expérimentale.

II.8. Activité microbienne de l'extrait

Les tests réalisés sur les différentes souches bactériennes Gram positif, Gram négatif, ainsi que sur les levures et moisissures, n'ont montré aucune activité antimicrobienne de l'extrait étudié, quel que soit le milieu de culture utilisé. Aucun

halo d'inhibition n'a été observé après incubation, indiquant que l'extrait n'a pas eu d'effet inhibiteur sur la croissance des germes testés. Cette absence d'activité indique que l'extrait étudié ne présente pas d'activité antimicrobienne détectable dans les conditions expérimentales appliquées, ce qui pourrait être lié soit au volume d'extrait utilisé, soit à une résistance des micro-organismes testés.

II. lait végétal des graines de cantaloup

II.1. Caractéristiques physico- chimiques

Les paramètres physicochimiques du lait sont présenés dans le tableau suivant :

Tableau X : Les paramètres physico-chimiques du lait des graines de cantaloup.

Les paramètres physico-chimiques	Les teneurs obtenues
Taux de cendre (%)	0.2
Tenure en protéines (g/100 g MS)	2.78
Taux de sucre (%)	95
Acidité (g EAC/100ml)	0,038
TPC (mg EAG/g)	4,78

II.1.1. L'acidité

L'acidité titrable du lait provenant des graines de cantaloup est de (0,038 g EAC/100 g) reste moins élevé que ceux relevés pour d'autres types de laits végétaux comme le lait de soja (0,058 g EAC/100g) (Terhaag *et al.*, 2013).

II.1.2. L'indice de réfraction/taux de sucre

L'analyse physico-chimique du lait de graines de cantaloup a révélé un indice de réfraction égal à 1,686, associé à un taux de sucres mesuré à 95 %. Ces résultats indiquent une concentration très élevée en solides solubles totaux (TSS) dans l'échantillon.

Un indice de réfraction de 1,686 est significativement supérieur à celui de liquides

aqueux classiques (ex : eau pure à 1,333), ce qui suggère que le lait de graines de cantaloup analysé est un extrait très concentré.

Le taux de sucres de 95 % mesuré par réfractométrie correspond ici à la teneur totale en solides solubles, et non uniquement aux sucres simples. Cette valeur élevée peut s'expliquer par la présence de macromolécules (protéines, lipides) et autres composés dissous dans le lait végétal, qui contribuent à augmenter la densité optique de l'échantillon.

Ces résultats sont cohérents avec des études antérieures sur les extraits concentrés de graines et laits végétaux, où la teneur en solides solubles peut atteindre des valeurs élevées en fonction du procédé d'extraction et de concentration (**Sethi et al., 2016; Jackson, 2020**).

L'indice de réfraction et le taux de sucres mesurés confirment que le lait de graines de cantaloup étudié est un extrait riche en composés solubles, ce qui pourrait lui conférer des propriétés nutritionnelles intéressantes,

II.1.3. Teneur de protéine

La concentration en protéines du lait dérivé des graines de cantaloup (2,78 g BSA/100g) dépasse celle de nombreux laits végétaux traditionnels, tels que le lait d'amande (0,4-1,0 g/L) ou le lait de riz (<1 g/L), et se rapproche plutôt du lait de soja (3-4 g/L) (**Sethi et al., 2016 ; Vanga & Raghavan, 2018**).

II.1.4. Taux de cendre

Le taux de cendres déterminé dans l'échantillon est de 0,2 %. Cette composition minérale modérée concorde avec les résultats signalés. Selon **Rachedi (2022)**, des taux de cendres variant entre 0,15% et 0,3% ont été observés dans divers jus de fruits, plaçant ainsi notre échantillon dans une plage semblable. (**Ben Jemaa, 2021**) a trouvé dans ces études que le lait de soja a un taux de cendre égale 0,35 qui est proche de la valeur trouvée par nos résultats.

II.1.5. Teneur en composés phénoliques

Selon les résultats, la teneur en TPC du liquide végétal obtenue est de 4,78 mg EAG/g d'extrait, ce qui indique une concentration élevée en composés antioxydants. Cette concentration témoigne d'une richesse notable en composés phénoliques, connus pour leurs puissantes propriétés antioxydantes et leurs effets protecteurs sur la santé humaine.

En comparant avec les boissons à base de quinoa et d'avoine qui ont, selon **Jemaa et al. (2024)**, des valeurs en TPC de 0,836 mg EAG/g pour le quinoa et 0,310 mg EAG/g pour l'avoine. Cela représente une concentration plus élevée à celle du quinoa d'avoine, ce qui confirme la richesse des graines de cantaloup en antioxydant.

II.2. Activité antimicrobienne

Les résultats obtenus après 24 heures d'incubation ont montré l'absence totale d'activité antimicrobienne de l'extrait testé. Aucun signe d'inhibition n'a été remarqué.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces résultats négatifs :

Tout d'abord, le volume d'extrait utilisé (100 µL) pourrait être insuffisant permettre une diffusion adéquate ou atteindre une concentration efficace au contact des micro-organismes. Un volume plus important ou une concentration plus élevée de l'extrait aurait peut-être permis de mettre en évidence une inhibition de croissance.

Ensuite, il est important de considérer le type de micro-organismes testés. Il s'agissait de souches pathogènes, généralement plus résistantes aux agents antimicrobiens naturels. Il est

donc possible que l'extrait possède une certaine activité, mais non adaptée à ce profil bactérien spécifique.

Enfin, il n'est pas exclu que les composés extraits soient peu actifs d'un point de vue antimicrobien, ou que l'activité soit altérée par les conditions de test (type de milieu, température, temps d'incubation, stabilité des composés, etc.).

Conclusion

Conclusion

Les sous-produits du cantaloup constituent une source inépuisable de composés bioactifs, tels les métabolites secondaires « les polyphénols ». L'isolement et la caractérisation de ces composés constituent un sujet de recherche très étendu. Pour optimiser les conditions d'extraction de ces composés, un plan d'expériences de type Box-Behnken a été mis en œuvre en étudiant l'effet de trois facteurs indépendants à savoir : la concentration du solvant (%), le temps (min) et la température, sur l'extraction des composés phénoliques et l'activité antioxydante.

L'utilisation du plan Box-Behnken a permis d'identifier les meilleurs paramètres d'extraction qui sont : une concentration d'éthanol 55%, une durée de 120 min et une température de 40°C.

Les résultats obtenus indiquent que l'extrait obtenu avec les conditions optimales a une teneur en CP de 1,68 mg EAG/g et une activité anti- radicalaire (DPPH) de 16,88% et présente une activité antioxydante significative, avec RSA de 16,68%.

Les analyses physicochimiques sur le lait végétales des graines de cantaloup ont révélé que ce produit peut être une bonne source de protéines et des minéraux.

Les résultats microbiologiques, par contre, n'ont montré aucune activité antimicrobienne des extraits des graines de cantaloup sur des germes testés, tels que *E. coli* *S. aureus*.

Dans le but d'élargir cette recherche et d'approfondir les travaux déjà entrepris, plusieurs travaux peuvent être explorés :

- Etudier d'autres techniques d'extractions telles que l'extraction par micro-ondes, ultrason...etc.
- Caractériser des différents composés phénoliques de la plante par HPLC ou LC-MS.
- Etudier d'autres sous-produits de cantaloup comme l'écorce et la tige.
- Etudier d'autre variété.

*Références
bibliographiques*

A

Ait Bella, Y. B., Said, B., Khachtib, Y. et Haddioui, A. (2023). Biochemical composition and antioxidant activity of Moroccan plum cultivars. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 22(2), 85–97.

Annadurai, G. et Sheeja, R. (1998). Use of Box–Behnken design of experiments for the adsorption of verofix red using biopolymer. *J. Environ. Sci. Health Part A*, 18, 463–466.

Ayadi, S. M., Bahloul, N. et Kechaou, N. (2025). Étude du profil des acides aminés et des composés phénoliques des graines de Cucumis melo L. *Int. J. Sci. Res. Eng. Technol.*, 4, 179–182.

B

Bajwa, U., Chawla, P., & Cheema, V. K. (2011). Evaluation of anti-inflammatory and antioxidant activity of Cucumis melo seed extract. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(7), 1780–1784

Benabdallah, H. (2016). Techniques d'extraction, de purification et de conservation [Polycopié du cours]. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Ferhat Abbas, Sétif.

Benalia, M. (2016). Étude de la fraction lipidique de certaines graines de Cucurbitacées [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah - Ouargla].

Boumerfeg, S. B., Abderrahmane, B., Djarmouni, M., Ameni, D., Adjadj, M., Belkhiri, F., Charef, N., Khennouf, S. et Arrar, L. (2012). Inhibitory activity on xanthine oxidase and antioxidant properties of Teucrium polium L. extracts. *Chin. Med.*, 3(1), 30–41.

Brahmi, F., Mateos-Aparicio, I., Garcia-Alonso, A., Abaci, N., Saoudi, S., Smail-Benazzouz, L., Guemghar-Haddadi, H., Madani, K. et Boulekbache-Makhlouf, L. (2022). Optimization of conventional extraction parameters for recovering phenolic compounds from potato (*Solanum tuberosum* L.) peels and their application as an antioxidant in yogurt formulation. *Antioxidants*, 11(7).

Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr. Rev.*, 56(11), 317–333.

Ben Jemaa, M., Gamra, R., Falleh, H., Ksouri, R., & Serairi Beji, R. (2021). Plant-based milk alternative: Nutritional profiling, physical characterization and sensorial assessment. *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants*, 4(2), 108-120.

C

Catier, O. R. et D. (2007). Botanique, pharmacognosie, phytothérapie (éd. non précisée). Wolters Kluwer.

Chan, K. T., Li, K., Liu, S. L., Chu, K. H., Toh, M. et Xie, W. D. (2010). Cucurbitacin B inhibits STAT3 and the Raf/MEK/ERK pathway in leukemia cell line K562. *Cancer Lett.*, 289(1), 46–52.

Charunivedha, S., Aljowaie, R. M., Elshikh, M. S. et Malar, T. R. J. J. (2024). Orange peel: low-cost agro-waste for the extraction of polyphenols by statistical approach and biological activities. *BioResources*, 19(4), 9019–9035.

Chemat, F., Huma, Z. et Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. *Ultrason. Sonochem.*, 18(4), 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. *Carbohydr. Polym.*, 136, 187–197.

D

da Cunha, J. A., Rolim, P. M., Damasceno, K., de Sousa Junior, F. C., Nabas, R. C. et Seabra, L. M. J. (2020). From seed to flour: sowing sustainability in the use of cantaloupe melon residue (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*). *PLoS One*, 15(1), e0219229.

Dacosta, Y. (2003). Les phytonutriments bioactifs. Éditions Yves Dacosta.

Dia, O. (2019). Optimisation de l'extraction des polyphénols des (*Phoenix dactylifera*) L. par différents solvants et méthodes [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah - Ouargla].

Dolatowski, Z. J., Stadnik, J. et Stasiak, D. (2007). Applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 6(3), 89–99.

DSA Béjaïa. (2024). *Statistiques de production agricole de la wilaya de Béjaïa – campagne agricole 2023–2024*. Direction des Services Agricoles de Béjaïa, Ministère de l’Agriculture et du Développement Rural, Algérie.

Dudonné, S. (2009). Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J. Agric. Food Chem.*, 57(5), 1768–1774.

E

El Adnany, E. M., Elhadiri, N., Mourjane, A., Ouhammou, M., Hidar, N., Jaouad, A., Bitar, K. et Mahrouz, M. (2023). Impact and optimization of the conditions of extraction of phenolic compounds and antioxidant activity of olive leaves (Moroccan picholine) using response surface methodology. *Separations*, 10(6).

El Gharris, H. (2009). Polyphenols: food sources, properties and applications – a review. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 44(12), 2512–2518.

Ezz El-Din Ibrahim, M. (2016). Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo* var. *cantalupensis*) and food application. *Int. J. Nutr. Food Sci.*, 5(1).

F

Fahamiya, N., Aslam, M., Siddiqui, A. et Shiffa, M. (2016). Review on *Cucumis melo*: ethnobotany and Unani medicine. *World J. Pharm. Pharmac.*, 5, [pagination non précisée].

Fazila, H. N., Zarei, M., et Abbasi, S. (2021). Optimization of extraction conditions for maximum recovery of phenolic antioxidants from pomegranate peel using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3796–3805.

Fekih, N. (2015). Propriétés chimiques et biologiques des huiles essentielles de trois espèces du genre *Pinus* poussant en Algérie [Mémoire de master, Université de Tlemcen]. Tlemcen, Algérie.

Filimon, R. V., Bunea, C. I., Bora, F. D., Filimon, R. M., Dunca, S. I., Rózsa, S., Ciurlă, L. et Patraş, A. (2023). Physico-chemical characterization, phenolic compound extraction and biological activity of grapevine (*Vitis vinifera* L.) canes. *Horticulturae*, 9(11).

Fleuriet, A., Jay-Allemand, C. et Macheix, J. J. (2005). Composés phénoliques des végétaux : un exemple des métabolites secondaires d’importance économique. In *Composés phénoliques des végétaux* (pp. 121–216). Presses polytechniques et universitaires romandes.

Fumex, M. (2019). Les différentes méthodes d’analyse quantitative des protéines dans le domaine pharmaceutique : description, comparaison et nouvelles perspectives [Mémoire, Université de Lorraine, Faculté de pharmacie]. Nancy, France.

G

- Garcia-Ayuso, L. de C. et Lavilla, E. (1998). Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Anal. Chim. Acta*, 369(1), 1–10.
- Gee, J. M. et Johnson, I. T. (2001). Polyphenolic compounds: interaction with the gut and implication for human health. *Curr. Med. Chem.*, 8(11), 1245–1255.
- Gill, N. S., Bajwa, J., Sharma, P., Dhiman, K., Sood, S., Sharma, P. D., Singh, B. et Bali, M. (2010). Evaluation of antioxidant and antiulcer activity of traditionally consumed *Cucumis melo* seeds. *J. Pharmacol. Toxicol.*, 6(1), 82–89.

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 Food Sci. Technol.*, 99, 507–519.

Groubert, A. (1984). Techniques d'extraction végétale. Faculté de pharmacie.

Guo G.W., Liang Y.X. (2001). Aluminum-induced apoptosis in cultured astrocytes and its effect on calcium homeostasis. *Brain research*. 888 (2): 221-226

H

- Hussain, A., Laaraj, S., Tikent, A., Elfazazi, K., Adil, M., Parveen, S., Bouhrim, M., Mothana, R. A., Noman, O. M., Eto, B., Yaqub, S., Fatima, H. et Firdous, N. (2024). Physicochemical and phytochemical analysis of three melon fruits (canary melon, watermelon, and muskmelon) peels, and their valorization in biscuits development. *Front. Sustain. Food Syst.*, 8

I

Irfan, A., Khan, M.A., Hassan, M.S., Zafaryab, M., Ahmad, P., et al. (2017). Cucurbit extracts augment biofilm formation by probiotic Lactobacilli: an in vitro study. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 9(3), 122–125

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 Chem.*, 119(2), 643–647.

Ismail, I. H., Andrin, C., McDonald, D. et Hendzel, M. J. (2010). Mediated histone ubiquitylation promotes DNA double-strand break repair. *J. Cell Biol.* 191(1), 45–60

J

Jackson, C. J. (2020). Advances in plant-based dairy alternatives: composition, functionality and health aspects. In: *Current Developments in Nutrition*, 4(Suppl_2), 1619.

K

Kapoor, M., Sharma, C., Kaur, N., Kaur, G., Kaur, R., Batra, K. et Rani, J. (2021). Phyto-pharmacological aspects of *Cucumis melo* var. *agrestis*: A systematic review. *Pharmacogn. Rev.*, 14(27), 28–32.

Khalid, W., Ikram, A., Rehan, M., Afzal, F. A., Ambreen, S., Ahmad, M., Aziz, A., et Sadiq, A. (2021). Chemical Composition and Health Benefits of Melon Seed: A Review. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 34(2).

M

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. Thèse de doctorat, Université de Tunis El Manar, Tunisie.

Mallek-Ayadi S., Bahloul N. et Kechaou N. (2017). Chemical composition and bioactive compounds of *Cucumis melo* L. seeds: Potential source for new trends of plant oils. *Process Safety and Environmental Protection*, 113 : 68–77.

Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C. et Jimenez L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5) : 727–747.

Manach C., Williamson G., Morand C., Scalbert A. et Rémésy C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1 Suppl) : 230S–242S.

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 : 277–282.

Muanda F.N. (2010). Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de doctorat, Université Paul Verlaine-Metz, France.

N

Narayanan L., Manisha D.S., Kumar V.A., Senthil S., Venkidasamy B., Thiruvengadam R., Thiruvengadam M., Rebezov M., Sadanandan P. et Shariati M.A. (2024). Nutritional and therapeutic potential of bioactive compounds from melons: A mini review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 13(4), 952–958.

Nelly, A., Estiasih, T., & Griselda, G. (2017). Effect of extraction conditions on total phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 101, 012020.

P

Parmar H.S. et Kar A. (2009). Protective role of *Mangifera indica*, *Cucumis melo* and *Citrullus vulgaris* peel extracts in chemically induced hypothyroidism. *Chemico-Biological Interactions*, 177(3), 254–258.

Pierre M. et Luc M. (2007). *Secrets des plantes*. Éditions Artémis.

R

Rachedi K., Remadni M., & Badi Y. (2022). Étude comparative des caractéristiques physico-chimiques des différents laits crus (chamelle, chèvre et vache) de la région d'El-Oued et Bougous. *Revue des Sciences et Techniques - Synthèse*, 28(2), 1–11.

Rolim P. M., Seabra L. M. A. J., & de Macedo G. R. (2019). Melon by-products: Biopotential in human health and food processing. *Food Reviews International*, 36(1), 15–38.

S

Sadou N. (2019). Cours Techniques d'extraction des S.N. Master1 BV. (28) pp2.

Sethi, S., Tyagi, S. K., et Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives: an emerging segment of functional beverages – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3408-3423.

Shi, J., Yu, J., Pohorly, J., Young, C., Bryan, M., et Wu, Y. (2003). Optimization of the extraction of polyphenols from grape seed meal by aqueous ethanol solution. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 1, 42-47.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocâlteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.

Soto-Hernández, M., Iñiguez, J. C., Arévalo-Galarza, L. C., Santiago-Osorio, E., Aguiñiga-Sánchez, I., et Ruiz-Posadas, L. M. (2015). Lead compounds from Cucurbitaceae for the treatment of cancer. In *Phytochemicals - Isolation, Characterisation and Role in Human Health*.

T

Tadmor, Y., Burger, J., Yaakov, I., Feder, A., Libhaber, S. E., Portnoy, V., Meir, A., Tzuri, G., Sa'ar, U., Rogachev, I., Aharoni, A., Abeliovich, H., Schaffer, A. A., Lewinsohn, E., 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.

Terhaag, M. M., Almeida, M. B., & Benassi, M. d. T. (2013). Soymilk plain beverages: correlation between acceptability and physical and chemical characteristics. *Food Science and Technology*, 33(2), 387-394. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612013005000052>

V

Vanga, S. K., et Raghavan, V. (2018). How well do plant-based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10–20

Vishwakarma, V. K., Gupta, J. K., et Upadhyay, P. K. (2017). Pharmacological Importance of *Cucumis melo* L.: An Overview. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(3).

Vouldoukis, I., Lacan, D., Kamate, C., Coste, P., Calenda, A., Mazier, D., Conti, M., et Dugas, B. (2004). Antioxidant and anti-inflammatory properties of a *Cucumis melo* L.C. extract rich in superoxide dismutase activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 94(1): 67– 75.

Vuolo, M.-M., Lima, V. S., et Maróstica Junior, M. R. (2019). Phenolic compounds: structure, classification, and antioxidant power. In M. R. Maróstica Junior (Ed.), *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications* (pp. 33–50).

W

Walshaw, S. (2005). Plant Resources of Tropical Africa 2. Vegetables. *Economic Botany*, 59(4): 401–402.

Wu, D., Wang, Z., Lin, M., Shang, Y., Wang, F., Zhou, J., Wang, F., Zhang, X., Luo, X., & Huang, W. (2019). In vitro and in vivo antitumor activity of cucurbitacin C, a novel natural product from cucumber. *Frontiers in Pharmacology*, 10: 1287

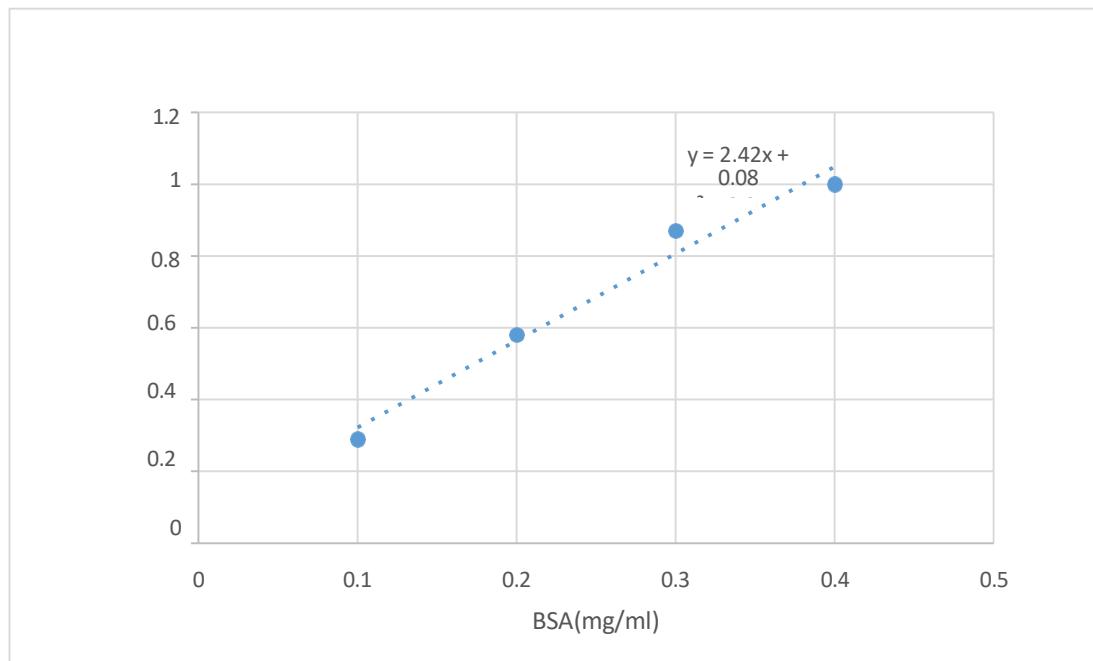
Z

Zapata, P. J., Navarro, D., Guillén, F., Castillo, S., Martínez-Romero, D., Valero, D., et Serrano, M. 2013. Characterisation of gels from different *Aloe* spp. as antifungal treatment: potential crops for industrial applications. *Industrial Crops and Products*, 42: 223–230.

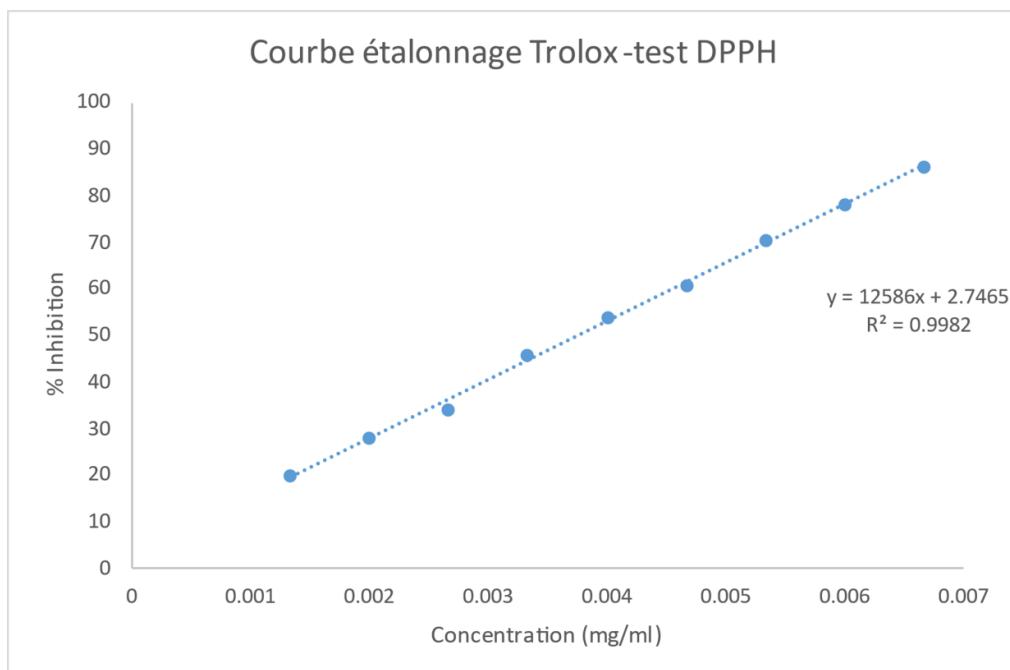
Annexes

Annexes

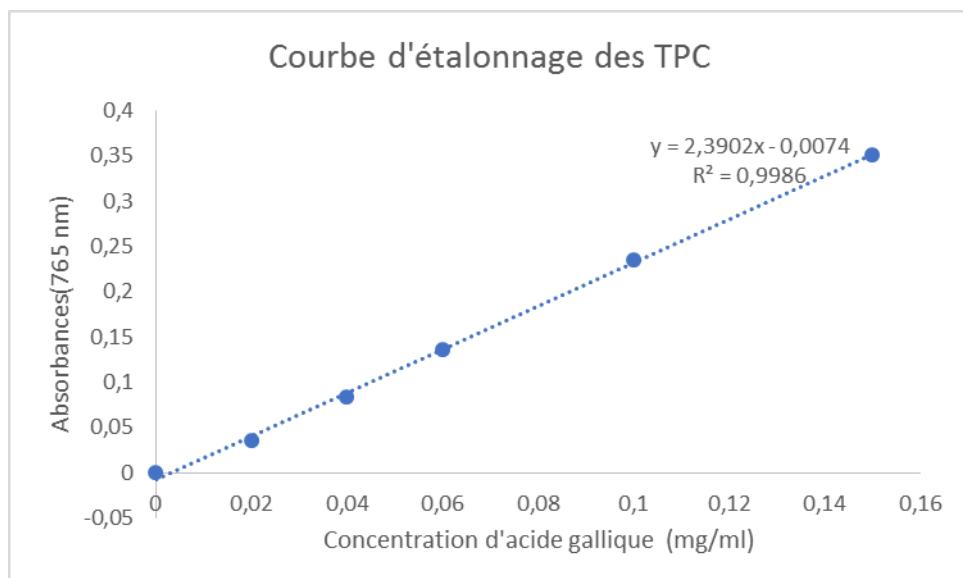
Annexe I: courbe d'étalonnage des protéines



Annexe II : Courbe d'étalonnage de DPPH



Annexe III : courbe d'étalonnage des TPC



Annexe IV: la structure des différentes classes de composés phénoliques.

Squelette carboné	Classe	Structures de base
C6	Phénols simples	
C6-C1	Acides hydroxybenzoïques	
C6-C3	Acides hydroxycinnamiques coumarines	
C6-C4	Naphtoquinones	
C6-C2-C6	Stilbènes	
C6-C3-C6	Flavonoïdes (Flavonols • Anthocyanes ,Flavanols • Flavanones ,Isoflavonols)	

Annexe V: Optimisation des conditions d'extraction des composés bioactifs par le plan d'expérience Box-Behnken des graines de cantaloup.

essai n°	EthOH(%)	Temps(min)	Température (°C)
1	55	10	20
2	55	150	20
3	30	80	20
4	80	80	20
5	30	10	40
6	30	150	40
7	80	10	40
8	80	150	40
9	55	80	40
10	55	80	40
11	55	80	40
12	55	10	60
13	55	150	60
14	30	80	60

Annexe VI : matériels utilisés au cours des expériences

Appareillages	Réactifs
Béchers, flacons, fioles, barreaux magnétiques, tubes à hémolyse, tubes à essai, tube à centrifuge, papier-filtre, papier aluminium, entonnoir, micropipette, bain marie, plaque agitatrice, éprouvette, spectromètre, burette centrifugeuse, réfractomètre, four à moufle, vortex, dessiccateur, cuves, agitateur, portoir, boites de Pétri.	Réactif Folin-Ciocalteu, carbonate de sodium, éthanol, méthanol, DPPH, solution NaOH 0,1 N, phénolphtaléine, eau distillée, réactif de Bradford, milieux de culture

Résumé

Résumé

Notre étude consiste à optimiser l'extraction des composés phénoliques totaux des graines de cantaloup par macération. Un plan de surface de réponse a été utilisé afin de déterminer les conditions optimales d'extraction qui donnent le meilleur rendement en TPC. Avec un ratio solide/liquide de 1g/20mL, les résultats de cette étude montrent que ; une concentration d'éthanol de 55 %, une température de 40° un temps entre 80 et 150 min étaient les conditions optimales pour avoir une teneur en TPC de 1,68 GAE/g et une activité antioxydante de 16,68%. Le liquide obtenu à partir la poudre des graines, présente des propriétés physico-chimiques proche de celle des laits végétaux avec une teneur en TPC (4,78 mg EAG/g) et en protéines importante (2,78g BSA/100g). Par ailleurs, l'activité antimicrobienne du lait et de l'extrait des graines de cantaloup n'a monté aucun effet sur les germes testés.

Mots clés : cantaloup, extraction, polyphénols, optimisation, macération, méthode de surface de réponse.

Abstract

Our study aims to optimize the extraction of total phenolic compounds (TPC) from cantaloupe seeds using maceration. A response surface methodology (RSM) was applied to determine the optimal extraction conditions that yield the highest TPC content.

With a solid-to-liquid ratio of 1 g/20 mL, the results of this study showed that an ethanol concentration of 55%, a temperature of 40 °C, and an extraction time between 80 and 150 minutes were the optimal conditions, yielding a TPC content of 1.68 GAE/g and an antioxidant activity of 16.68%.

The liquid obtained from the seed powder exhibited physicochemical properties similar to those of plant-based milks, with a high TPC content (4,78 mg GAE/g) and significant protein content (2,78g BSA/100g).

Furthermore, the antimicrobial activity of milk and cantaloupe seed extract showed no effect on the germs tested.

Keywords : cantaloupe, extraction, polyphenols, optimization, maceration, response surface methodology.