REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة20أوت1955-سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955-SKIKDA

Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie Appliquée

Intitulé

Valorisation des déchets agro-alimentaires

Présenté Par :

- Amar Sista Rihab
- Batiche Chaima
- Bouzelifa Asma

Membres de Jury :

Bouhadouda Nabila	**MCA**	**Président**	**Université20 août 1955-Skikda**
Ouamane Souheila	**MCA**	**Directeur de mémoire**	**Université20 août 1955-Skikda**
Aggoun Asma	**MCB**	**Examinateur**	**Université20 août 1955-Skikda**

Soutenu le : 23/06/2026

Année universitaire 2025/2026

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, fruit de plusieurs années d'efforts et de persévérance,

À mes très chers parents, Abbes et Rebiha, qui ont toujours été ma source de force, de confiance et d'inspiration. Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices innombrables, vos encouragements constants et vos prières qui m'ont accompagnée à chaque étape de mon parcours. Que Dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À mes chers frères, Souhaib et son épouse Ikram, ainsi que Mouaad et son épouse Soraya, pour leur soutien, leur affection et leur présence précieuse. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir partagé avec moi les moments difficiles comme les moments de joie.

À ma chère sœur Dounis et à son époux Adel, pour leur amour, leurs encouragements et leur bienveillance. Votre soutien a été une source de motivation tout au long de cette aventure.

À mon cher oncle Fethi, pour son soutien et son affection.

À ma chère amie et cousine Wissal, pour sa présence, son encouragement et les beaux moments partagés.

À mes chères trinômes et amies, Asma Bouzelifa et Rihab Amar, avec qui j'ai partagé les défis, les efforts, les inquiétudes mais aussi les plus beaux souvenirs de ce parcours universitaire. Merci pour votre esprit d'équipe, votre solidarité et tous les moments inoubliables vécus ensemble.

Enfin, à tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin et qui ont contribué à ma réussite, je dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon affection.

Chaïma ♥

Dédicace

Au terme de ce travail de recherche et des efforts accompagnés de la patienceet la persévérance, Je dédie ma modeste mémoire à mes parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leurs encouragements tout au long de mon parcours.

À ma sœur, mon frère, mon neveu, ma tante Wassila, et ma chatte Sophie, pour sa douce présence.

À ma binôme Chaima, pour sa patience, sa collaboration et tous les moments partagés durant ce travail.

Au club Horizon, pour l'esprit d'équipe et les belles expériences vécues ensemble.

Asma ♥

Sommaire

Résumés

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction …….....1

Partie bibliographique

I. Les déchets agroalimentaires et valorisation..... 3

1.Définition des déchets agroalimentaires..... 3

2.Classification et types des déchets agroalimentaires..... 3

3.Valorisation des déchets agroalimentaires 4

II. Présentation des déchets agroalimentaires étudiés 5

1.L'écorce de citron..... 5

1.1.Aspect morphologique..... 5

1.2.Composition chimique de l'écorce du citron..... 6

2.L'écorce de la mandarine 7

2.1.Aspect morphologique..... 7

2.2.Composition chimique..... 8

3.La pelure d'oignon..... 9

3.1.Aspect morphologique..... 9

3.2.Composition chimique..... 9

III. Les polyphénols dans les déchets agroalimentaires 10

1.Définition des polyphénols **……...10**

2.La structure chimique des polyphénols 10

3.Rôle biologiques des polyphénols..... 10

4.L'extraction des polyphénols..... 11

4.1.Méthodes traditionnelles de l'extraction 12

4.2.Méthodes modernes de l'extraction..... 12

5.Classification des polyphénols 12

Partie pratique

I. Matériels et méthodes ……...15

1.Matériels 15
2.Méthodes 16
2.1.Préparation de la matière végétale 16
2.2.Extraction des polyphénols 19
2.3. Dosage quantitatif des polyphénols totaux par Folin-Ciocalteu 23
2.4. Test de l'activité antioxydants par le DPPH 25
2.5. Test de l'activité antibactérienne 26

Résultats et discussions

1.Rendement de l'extraction **……29**
2.Teneur en polyphénols totaux **……...30**
3.Mise en évidence de l'activité antioxydante **..... 32**
4.Mise en évidence de l'activité antibactérienne **..... 36**
Conclusion et perspectives ……40
Références bibliographiques ……41

Résumé

Ce travail s'inscrit dans une démarche de valorisation des déchets agroalimentaires à travers l'extraction et la caractérisation des composés bioactifs issus de trois matrices végétales : l'écorce de mandarine (*Citrus reticulata*), l'écorce de citron (*Citrus limon*) et la pelure d'oignon (*Allium cepa*). L'extraction des polyphénols a été réalisée par deux méthodes complémentaires :la macération et l'extraction par Soxhlet en utilisant un solvant hydroéthanolique.

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par la méthode de Folin-Ciocalteu, tandis que l'activité antioxydante a été évaluée par le test au DPPH. L'activité antibactérienne des extraits a été testée par la méthode de diffusion sur gélose contre des souches bactériennes isolées d'aliments altérés (sauce tomate, escalope, jus d'orange).

Les résultats ont révélé que la pelure d'oignon présente la teneur la plus élevée en polyphénols (35,67 ± 5,55 mg EAG/g par macération) et l'activité antioxydante la plus forte (IC50 < 100 µg/mL pour l'extrait Soxhlet), comparable aux antioxydants de synthèse BHA et BHT. Concernant l'activité antibactérienne, l'extrait de mandarine obtenu par Soxhlet a montré la zone d'inhibition la plus importante (21 mm) sur les bactéries de la sauce tomate. Ces résultats confirment le potentiel de ces sous-produits végétaux comme sources de conservateurs naturels, dans une logique d'économie circulaire.

Mots-clés : Déchets agroalimentaires, polyphénols, activité antioxydante, activité antibactérienne, macération, Soxhlet, valorisation.

Abstract

This study focuses on the valorization of agri-food waste through the extraction and characterization of bioactive compounds from three plant matrices: mandarin peel (*Citrus reticulata*), lemon peel (*Citrus limon*), and onion skin (*Allium cepa*). Polyphenol extraction was carried out using two complementary methods : maceration and Soxhlet extraction with a hydroethanolic solvent.

Total polyphenol content was quantified by the Folin-Ciocalteu method, and antioxidant activity was assessed using the DPPH radical scavenging assay. Antibacterial activity was evaluated by the agar disc diffusion method against bacterial strains isolated from spoiled foods (tomato sauce, escalope, and orange juice).

Results showed that onion skin exhibited the highest polyphenol content (35.67 ± 5.55 mg GAE/g by maceration) and the strongest antioxidant activity (IC50 < 100 µg/mL for Soxhlet extract), comparable to the synthetic antioxidants BHA and BHT. Regarding antibacterial activity, the Soxhlet mandarin extract showed the largest inhibition zone (21 mm) against tomato sauce bacteria. These findings confirm the potential of these plant by-products as natural preservative sources, in line with a circular economy approach.

Keywords: Agri-food waste, polyphenols, antioxidant activity, antibacterial activity, maceration, Soxhlet extraction, valorization.

الملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن مسعى تثمين النفايات الغذائية الزراعية من خلال استخلاص وتوصيف و قشر المركبات الفعالة بيولوجيا من ثلاث موصوفات نباتية: قشر اليوسفي، قشر الليمون، و قشر البصل. تم استخلاص البوليفينوللت باستخدام طريقتين تكميليتين : الاستخلاص بالنقع و الاستخلاص بجهاز السوكسليت مع مذيب هيدرايتانولي .

تمّ تحديد المحتوى الكلي من البوليفينولات بطريقة فولين-سيوكالتو، فيما قُيّمت الفعالية المضادة للأكسدة باختبار **DPPH.** كما تمّ اختبار الفعالية المضادة للبكتيريا بأسلوب الانتشار على الجيلوز ضد سلالات بكتيرية معزولة من أغذية فاسدة (صلصة الطماطم، شرائح اللحم، عصير البرتقال).

أظهرت النتائج أن قشر البصل يحتوي على أعلى تركيز من البوليفينولات (35.67 ± 5.55 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ عند النقع)، وأقوى فعالية مضادة للأكسدة (ميكروغرام/مل للمستخلص بسوكسليت **IC50 < 100**)، مقارنةً **BHT.** و **BHA** بمضادات الأكسدة الاصطناعية أما على صعيد النشاط المضاد للبكتيريا، فقد أظهر مستخلص اليوسفي المحضّر بسوكسليت أكبر منطقة تثبيط (21 ملم) ضد بكتيريا صلصة الطماطم. تؤكد هذه النتائج الإمكانات الكبيرة لهذه المنتجات الثانوية النباتية كمصادر للمواد الحافظة الطبيعية، في إطار منطق الاقتصاد الدائري.

الكلمات المفتاحية : النفايات الغذائية الزراعية، البوليفينولات، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا، النقع، سوكسليت، التثمين

Liste des abréviations

CM : Citron macération .

CMB : Concentration massique bactéricide .

CMI : Concentration massique inhibitrice .

CS : Citron soxhlet .

DPPH : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

MM : Mandarine macération .

MS : Mandarine soxhlet .

NI : No inhibition.

OM : Oignon maceration .

OS : Oignon soxhlet.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification et types des déchets agroalimentaires selon différents critères (adapté de Gustavsson *et al,* 2011). 3
Tableau 2: Principaux intérêts de la valorisation des déchets agroalimentaires. 4
Tableau 3: Rôles et effets biologiques des polyphénols chez les plantes et la santé humaine (Pandey & Rizvi, 2009) 11
Tableau 4: Equipements nécessaires pour le travail pratique (Original) 15
Tableau 5: Paramètres de l'extraction des polyphénols. 19
Tableau 6: IC50 (µg/mL) des extraits étudiés et des standards de référence (BHA, BHT) 33
Tableau 7: Résultats des zones d'inhibition obtenues. 36

Liste des figures

Figure 1: Coupe transversale du citron **(Wang et al, 2022).**..... 6
Figure 2 : Anatomie de la mandarine. **(Sigurnjak et al , 2022)** 8
Figure 3: Les principales classes des polyphénols **(Oliver et al, 2016).** 13
Figure 5: Oignon séché**(Originale)**..... 17
Figure 4 : Mandarine séchée **(Originale)**..... 17
Figure 6: Citron séché **(Originale)** 17
Figure 7: Broyage de l'écorce de la mandarine **(Originale)** 18
Figure 8: Broyage de la pelure d'oignon (**Originale**)..... 18
Figure 9: Stockage des échantillons broyés **(Originale).**..... 19
Figure 10: Les étapes de l'extraction par macération **(Originale).**..... 21
Figure 11: Montage du soxhlet **(Originale).**..... 22
Figure 12: Protocole du dosage des polyphénols par Folin-Ciocalteu **(Originale).**..... 25
Figure 13: Histogramme des résultats de rendement de l'extraction. 29
Figure 14: Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux (méthode de Folin-Ciocalteu)... 30
Figure 15: Histogramme des résultats du dosage des polyphénols des extraits étudiés..... 31

Introduction

Face aux défis environnementaux et économiques que pose la gestion des déchets issus de l'industrie agroalimentaire, la valorisation de ces sous-produits s'impose aujourd'hui comme une nécessité scientifique et écologique majeure. En effet, des millions de tonnes de résidus végétaux sont générés chaque année à travers le monde, dont une grande partie est simplement éliminée sans aucune exploitation de leur potentiel bioactif **(Ydav *et al*, 2024)**. Parmi ces résidus, les sous-produits d'agrumes et de légumes tels que l'écorce de mandarine, l'écorce de citron et la pelure d'oignon qui constituent une source abondante et encore largement sous-exploitée de composés bioactives d'intérêt **(Ydav *et al*, 2024)**.

Ces matrices végétales sont connues pour leur richesse en métabolites secondaires, notamment les polyphénols, qui sont des molécules naturelles dotées de propriétés biologiques remarquables. De nombreuses études ont mis en évidence leur pouvoir antioxydant, leur capacité à neutraliser les radicaux libres **(Durmus *et al*, 2024 ; Bavaro et al 2025)**, ainsi que leurs effets antimicrobiens contre divers agents pathogènes **(Fratianni *et al*, 2019)**. Ces propriétés ouvrent des perspectives prometteuses dans des domaines aussi variés que l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire, où la demande en alternatives naturelles aux additifs de synthèse ne cesse de croître **(Ydav *et al*, 2024)**.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, dont la problématique centrale peut être formulée comme suit : Dans quelle mesure les extraits hydroéthanoliques de l'écorce de mandarine, de l'écorce de citron et de la pelure d'oignon constituent-ils des sources exploitables de composés bioactifs aux propriétés antioxydantes et antibactériennes ?

Afin de répondre à cette question, nous avons procédé à l'extraction des composés phénoliques de ces trois matrices végétales par deux méthodes complémentaires : la macération et l'extraction par Soxhlet, en utilisant un solvant hydroéthanolique, reconnu pour son efficacité dans l'extraction des polyphénols **(Tourabi *et al*, 2025).** Les extraits obtenus ont ensuite fait l'objet d'une évaluation analytique portant sur trois axes principaux : le dosage des polyphénols totaux, l'évaluation de l'activité antioxydante, et la détermination de l'activité antibactérienne.

Ce mémoire s'articule autour de trois grandes parties. La première présente une synthèse bibliographique sur les déchets agroalimentaires, les polyphénols et les propriétés biologiques des plantes étudiées. La deuxième partie décrit le matériel et les méthodes utilisés lors de nos expérimentations. Enfin, la troisième partie expose et discute les résultats obtenus, avant de conclure sur les perspectives de valorisation de ces sous-produits végétaux.

Partie bibliographique

I. Les déchets agroalimentaires et valorisation

1. Définition des déchets agroalimentaires

Les déchets agroalimentaires regroupent les résidus et sous-produits issus des différentes étapes de la chaîne alimentaire, notamment la production, la transformation et la distribution **(Agabi *et al*, 2020).** Ils sont principalement composés de matières organiques biodégradables telles que les épluchures, les pulpes, les os et les produits alimentaires non conformes (Filali, 2021). L'industrie agroalimentaire, en particulier les secteurs des boissons, des viandes et des produits laitiers, génère d'importantes quantités de déchets, comme le lactosérum issu de la fabrication du fromage, qui est riche en nutriments et favorable au développement des microorganismes **(Agabi *et al*, 2020).** Une gestion efficace de ces déchets, par le recyclage, le compostage ou la valorisation énergétique, est nécessaire afin de limiter leur impact environnemental et de promouvoir le développement durable **(Filali, 2021).**

2. Classification et types des déchets agroalimentaires

Les déchets agroalimentaires regroupent les résidus produits tout au long de la chaîne alimentaire, de la production jusqu'à la consommation. Leur classification selon l'origine, la composition et l'état physique (Tableau 1) permet de mieux comprendre leur nature et de faciliter leur valorisation **(Gustavsson *et al*, 2011).**

Tableau 1 : Classification et types des déchets agroalimentaires selon différents critères **(adapté de Gustavsson *et al*, 2011).**

Critère	Catégorie	Description / Exemples
Selon l'origine	Déchets de production agricole	Résidus de récolte : feuilles, tiges, cosses, noyaux, épluchures ; fruits et légumes abîmés ou non commercialisables
	Déchets de transformation industrielle	Pulpe, marc, épluchures ; lactosérum ; résidus de laiterie ; coquilles d'œufs, graines, noyaux
	Déchets de distribution	Produits périmés ou invendus ; restes alimentaires (restaurants, cantines, foyers) ;

Critère	Catégorie et consommation	Description / Exemples emballages souillés
Selon la composition	Déchets organiques biodégradables	Restes alimentaires, épluchures, pulpe, marc ; résidus animaux (chair, os, coquilles, produits laitiers)
	Déchets inorganiques ou mixtes	Emballages alimentaires contaminés ; huiles alimentaires usagées
Selon l'état physique	Liquides	Jus, lactosérum, huiles usagées
	Solides	Épluchures, restes de fruits et légumes, marc
	Semi-solides	Purées, boues, résidus de fermentation

3. Valorisation des déchets agroalimentaires

La valorisation des déchets agroalimentaires correspond à l'ensemble des procédés permettant de récupérer, transformer et réintroduire les constituants des résidus issus de la transformation alimentaire dans de nouveaux cycles de production sous forme de matières premières secondaires **(FAO, 2019).**

Elle permet notamment l'extraction de composés bioactifs tels que les polyphénols, les fibres alimentaires et les pigments naturels, utilisés dans différents secteurs industriels.

Les principaux intérêts de cette valorisation sur les plans environnemental, fonctionnel, industriel et économique sont résumés dans le tableau ci-dessous (tableau 02).

Tableau 2: Principaux intérêts de la valorisation des déchets agroalimentaires.

Axe	Intérêts
Environnemental	Réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce à la diminution des déchets organiques. Limitation de la pollution liée à l'enfouissement et à l'incinération. Optimisation de l'utilisation des ressources naturelles et intégration dans une logique d'économie circulaire.

Fonctionnel et industriel	Récupération de composés bioactifs tels que les polyphénols, flavonoïdes, caroténoïdes et fibres alimentaires. Utilisation de ces substances dans les industries alimentaires, nutraceutiques, pharmaceutiques et cosmétiques. Production d'ingrédients fonctionnels à partir de déchets de fruits et légumes.
Économique	Transformation des déchets en ressources à valeur ajoutée. Développement de produits commercialisables tels que les biofertilisants, aliments pour animaux et nutraceutiques. Création de nouvelles chaînes de production, innovation industrielle et opportunités d'emploi.

II. Présentation des déchets agroalimentaires étudiés

1. L'écorce de citron

L'écorce du citron provient du citronnier, *Citrus limon*, une espèce appartenant à la famille des *Rutaceae* **(Khan, 2007).**

Les écorces de citron sont souvent jetées, mais leur valorisation offre un fort potentiel pour l'extraction des antioxydants, des biocarburants, favorisant un environnement et une économie circulaire durables.

1.1. Aspect morphologique

L'écorce de citron ou le péricarpe présente un aspect morphologique distinctif typique des agrumes (figure 01). Elle se divise en deux couches principales :

- **L'albédo :** Il s'agit de la couche interne blanche spongieuse du fruit qui est la principale source de pectines et de glucides. Son épaisseur varie selon la variété et la maturité du fruit **(Cronjé, 2017).**
- **Le flavedo :** C'est la partie colorée extérieure du ciron, constitue la surface périphérique du péricarpe. Il est composé de plusieurs couches cellulaires qui deviennent progressivement plus épaisses dans la partie interne. La couche épidermique est recouverte de cire et contient peu de stomates **(Cronjé, 2017).**

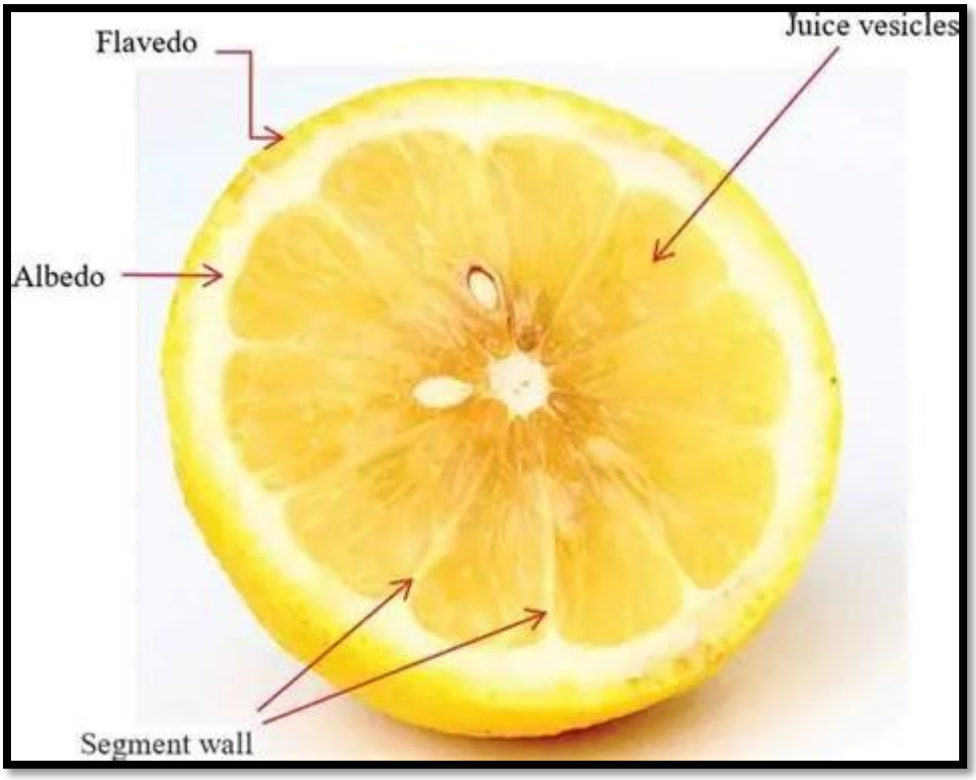


Figure 1: Coupe transversale du citron **(Wang *et al*, 2022).**

1.2.Composition chimique de l'écorce du citron

- **Les flavonoïdes :** Sont des métabolites secondaires de la classe des polyphénols, composés d'un squelette de 15 carbones (C6-C3-C6). Ils aident à neutraliser les radicaux libres et protéger les cellules du stress oxydatif. Selon **Saini *et al* (2022)**, l'écorce du citron contient quelques flavonoïdes dont :

-L'hespéridine : C'est le composé phénolique le plus dominant, possède des propriétés antivirales contre le syndrome respiratoire aigu coronavirus 2 (SARS-CoV-2) et d'autres virus.

-L'eriocritine : peut induire l'apoptose des cellules leucémiques.

-La nobiletine : présente en faible quantité, contribue à ralentir la croissance des tumeurs. Elle a aussi des effets bénéfiques contre la maladie d'Alzheimer (MA) et la maladie de Parkinson (MP).

-La quercetine : appartient de la famille des flavonols, présente dans l'albédo.

- **Les huiles essentielles :** le limonène : représente 97% des huiles essentielles présentes dans la peau du citron avec ses propriétés dégraissantes exceptionnelles. Il existe aussi d'autres composés volatiles qui sont le myrcene, le camphene, l'α-pinène, le β-pinène, triciclene, le sabinene, p-cymene, γ-terpinene **(Jinqin *et al,***

2025).

- **Les vitamines :**

- Vitamine C : C'est un antioxydant essentiel qui favorise la guérison et aide le corps à absorber le fer **(Madrakhimova, 2026).**

- Vitamine B9 (l'acide folique) : Joue un rôle crucial dans tous les processus qui dépendent de la division cellulaire on le trouve d'une faible quantité **(Madrakhimova, 2026).**

- **Les fibres solubles :** L'écorce du citron est riche en pectine, elle est caractérisée par son aspect gélifiant, elle constitue 11% de l'écorce du citron **(Núñez-Gómez *et al*, 2024).**
- **Les pigments :** le flavedo du citron contient les Xanthophylles qui sont responsables de sa couleur jaune, il contient aussi d'autres pigments du caroténoïde tel que le β-carotène **(Wedamulla, 2022).**
- **Les minéraux :** zinc, cuivre, sélénium, potassium **(Czech *et al*, 2019).**

2. L'écorce de la mandarine

L'écorce de la mandarine vient du fruit du mandarinier, *Citrus reticulata*. Elle appartient à la famille des *Rutaceae* **(Khan, 2007).**

Les écorces de la mandarine sont déposées comme déchets agroalimentaires. Cela pose des problèmes environnementaux, mais leur valorisation offre un potentiel industriel fort.

2.1.Aspect morphologique

L'écorce de la mandarine présente un aspect morphologique similaire à celui des autres agrumes (figure 02). Elle possède une texture fine et lâche facile à éplucher, elle se compose de :

- **Le flavedo (l'exocarpe) :** surface lisse et brillante avec des glandes huileuses proéminentes en creux **(Prabasari, 2014).**
- **L'albédo (mésocarpe) :** c'est la partie blanche spongieuse. Texture douce et adhérente à la pulpe interne **(Prabasari, 2014).**

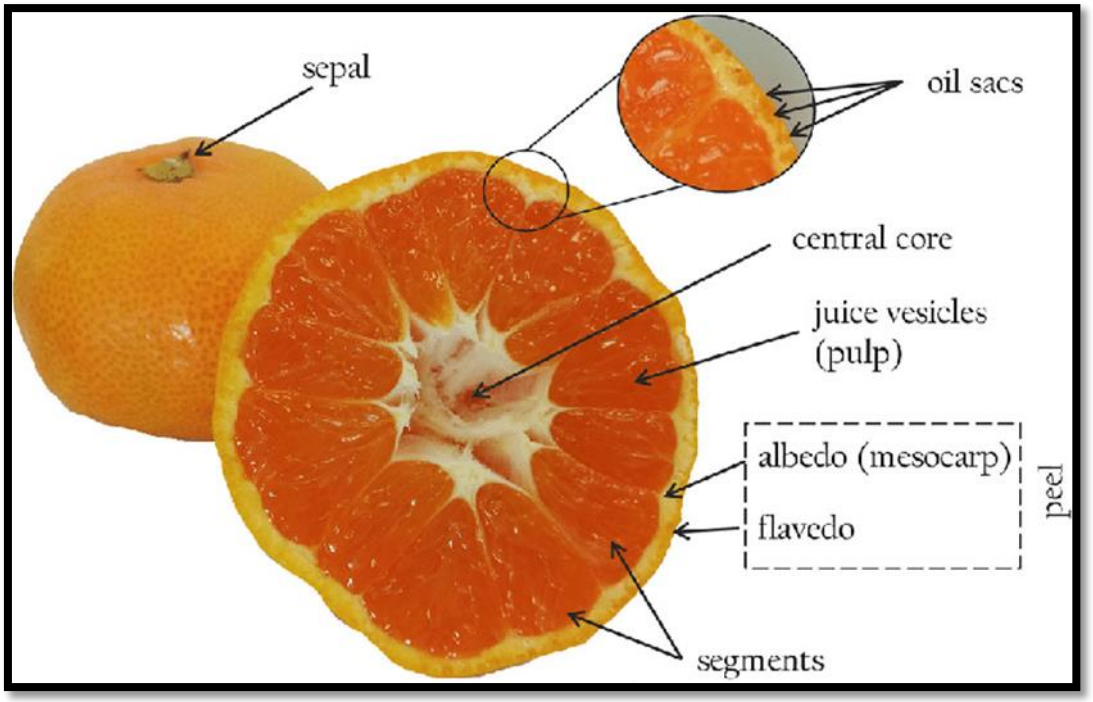


Figure 2 : Anatomie de la mandarine. **(Sigurnjak *et al* , 2022)**

2.2.Composition chimique

- **Les flavonoïdes :** Les principes actifs de l'écorce de mandarine sont principalement des flavonoïdes. Selon **Shaanxi (2025),** les principaux flavonoïdes présents dans l'écorce de la mandarine sont :

- Hespéridine : Ce glycoside de flavanone est l'un des composés les plus abondants dans l'extrait d'écorce de mandarine. Il a été associé à divers bienfaits pour la santé, notamment en favorisant la santé cardiovasculaire.

- Nobiletine : une flavone polyméthoxylée qui s'est révélée prometteuse pour soutenir la santé métabolique et la fonction cognitive.

- Tangerétine : Une autre flavone polyméthoxylée qui peut aider à soutenir des réponses inflammatoires saines dans le corps.

- **Les huiles essentielles :** L'écorce de mandarine contient diverses huiles essentielles et majoritairement le limonène qui représente un terpène qui confère aux agrumes leur parfum caractéristique et sa propriété antibactérienne et antifongique. Des études expérimentales chez les rats suggèrent que le limonène pourrait favoriser la santé digestive **(Xu *et al*, 2025).** En addition au limonène, on trouve d'autres huiles essentielles telles que le α-pinène, le β-pinène, le γ-terpinene, et le β-phellandrene **(Wedamulla *et al*, 2022).**

- **Les vitamines :** la vitamine C est un puissant antioxydant qui soutient le système immunitaire et aide à protéger les cellules du stress oxydatif **(Shaanxi, 2024).**
- **Les fibres alimentaires :** La pectine contenue dans l'écorce de mandarine peut réduire les lipides sanguins, retarder l'artériosclérose et rajeunir les vaisseaux sanguins **(Shaanxi, 2024).**
- **Les pigments :** Certains caroténoïdes sont présents dans l'écorce de la mandarine dont le β-carotène et le β-cryptoxanthine qui est caractérisée par son activité anticancéreuse **(Saini *et a*l, 2022).**
- **Les minéraux :** potassium, sodium, calcium, phosphore, magnésium, fer(en petite quantité), zinc, sélénium **(Shaanxi, 2025).**

3. La pelure d'oignon

La pelure d'oignon provient du bulbe de l'oignon, dont son nom scientifique est *Allium cepa*. Cette plante appartient à la famille des *Amaryllidaceae* **(Brewster, 2008)**. La valorisation des pelures d'oignon jetées offre un fort potentiel de valorisation en colorants naturels, engrais ou biocarburants.

3.1.Aspect morphologique

La pelure d'oignon est une membrane mince et sèche, composée d'une cuticule cireuse lisse et imperméable. Généralement de couleur brune claire à foncée, parfois dorée ou rougeâtre.

3.2.Composition chimique

- **Les flavonoïdes :**

- Quercétine : Caractérisée par ses propriétés biologiques testées sur des rats Wistar Albinos qui ont montré son activité anti-oxydante, anti-inflammatoire, anticancéreuse, contrôle de la pression sanguine, et abaissement le cholestérol **(Kumar *et al,* 2022).**

- Allicine : Possède des propriétés bactéricides contre les micro-organismes Gram-positifs et Gram-négatifs, ce qui est précieux lorsque l'inflammation de la prostate est provoquée par une infection **(Kumar *et al,* 2022).**

- **Les vitamines** : Selon **Konate *et al* (2017)**, les vitamines présentes sont :

- Les vitamines du sous-groupe B : thiamine(B1), Riboflavine (B2), niacine(B3), choline(B4), acide pantothénique(B5), pyridoxine(B6), folates (B9)

- Vitamine C (acide ascorbique)

- Vitamine E (alpha-tocophérol)

- Vitamine H (biotine)

- Vitamine PP (acide nicotinique)

- **Les pigments :**

- La quercétine : Les pelures d'oignon sont riches en quercétine, un colorant jaune de la famille des flavonoïdes **(Kumar *et al,* 2022).**

- Les anthocyanes : Distingués par leurs teintes rouges, violettes et bleues vives, sont un type de flavonoïdes aux puissantes propriétés antioxydantes**. (Mirzazadeh *et al,* 2024).**

- **Les minéraux :** potassium, calcium, fer, silicium, zinc **(Kumar *et al,* 2022).**

III. Les polyphénols dans les déchets agroalimentaires

1. Définition des polyphénols

Les polyphénols sont des métabolites secondaires naturels présents principalement chez les plantes, caractérisés par la présence de noyaux aromatiques portant plusieurs groupements hydroxyles **(Pandey & Rizvi, 2009).**

Ils sont largement distribués dans le règne végétal, avec plusieurs milliers de composés identifiés, et se retrouvent dans différentes parties des plantes ainsi que dans de nombreux aliments d'origine végétale **(Hano & Tungmunnithum, 2020).**

2. La structure chimique des polyphénols

La structure chimique des polyphénols est caractérisée par un ou plusieurs noyaux aromatiques hydroxylés. Les polyphénols sont classés en différents groupes en fonction du nombre de noyaux aromatiques qui les composent et des substitutions qui les relient. On distingue les phénols simples (dont les acides phénoliques), les flavonoïdes, les lignanes et les stilbènes **(Manach *et al,* 2004).**

3. Rôle biologiques des polyphénols

Les polyphénols sont connus par leurs importantes propriétés biologiques. Ils possèdent une activité antioxydante grâce à leur capacité de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif. Cette propriété permet de protéger les biomolécules telles que les lipides, les protéines et l'ADN contre les dommages oxydatifs **(Pandey & Rizvi, 2009).**

Par ailleurs, les polyphénols présentent également une activité antimicrobienne. Ils peuvent inhiber la croissance de plusieurs micro-organismes, notamment les bactéries et les

champignons, en perturbant leur membrane cellulaire et en inhibant certaines enzymes essentielles à leur développement **(Pandey & Rizvi, 2009).**

Leurs rôles et effets peuvent être regroupés selon deux grandes catégories principales : ceux au sein des plantes et ceux qui sont bénéfiques pour la santé humaine (tableau 03) **(Pandey & Rizvi, 2009).**

Tableau 3: Rôles et effets biologiques des polyphénols chez les plantes et la santé humaine **(Pandey & Rizvi, 2009)**

Catégorie	Rôle / Effet	Description / Exemple
Chez les plantes	Protection contre les microbes et insectes	Les polyphénols aident les plantes à se défendre contre les microorganismes et les insectes
	Participation à la croissance	Impliqués dans le développement des tissus végétaux
	Intervention dans la germination des graines	Contribuent à la régulation et au succès de la germination
	Contribution à la maturation des fruits	Participent à la coloration, saveur et maturation des fruits
Pour la santé humaine	Activité anti-oxydante	Neutralisent les radicaux libres et protègent les cellules contre le stress oxydatif
	Activité anti-inflammatoire	Réduisent l'inflammation et les dommages cellulaires
	Protection contre certaines maladies	Contribuent à la prévention des maladies cardiovasculaires et certains cancers
	Modulation de l'activité enzymatique	Influencent l'activité de certaines enzymes dans l'organisme
	Réduction du stress oxydatif	Limitent les dommages causés par les radicaux libres et le vieillissement cellulaire

4. L'extraction des polyphénols

L'extraction des polyphénols à partir des matières végétales peut être réalisée par différentes méthodes, classées en méthodes traditionnelles, méthodes modernes, et selon les molécules recherchées.

4.1.Méthodes traditionnelles de l'extraction

- **La macération :** immersion de la plante dans un solvant à température ambiante.
- **L'infusion :** extraction par contact avec l'eau chaude.
- **Le Soxhlet :** extraction exhaustive continue par recyclage du solvant chauffé.

4.2.Méthodes modernes de l'extraction

- **Extraction assistée par ultrasons (UAE)**

C'est une méthode basée sur l'utilisation d'ondes sonores au-delà de la perception humaine (20 à 100 kHz) qui se propagent à travers un milieu liquide, produisant un phénomène de cavitation qui améliore significativement les taux de transfert de masse, avec une forte pénétration du solvant dans les cellules végétales **(González *et al,* 2022).**

- **Extraction assistée par micro-ondes (MAE)**

C'est une technique qui utilise l'énergie des micro-ondes pour stimuler le mouvement des molécules du liquide solvant, permettant une extraction efficace des composés cibles et offrant des temps d'extraction plus courts, une réduction des coûts en solvants et une meilleure automatisation du procédé **(López *et al,* 2023).**

5. Classification des polyphénols

Classification des polyphénols est basée essentiellement sur la structure **(Hu et al, 2017),** elle est divisée en deux catégories (figure 03):

- **Les flavonoïdes :** les flavonols, isoflavonones, flavanols, proanthocyanidines, anthocyanines, flavanones, flavones.
- **Les non flavonoïdes :** les stilbénes, les acides phénoliques et les lignanes **(*Oliver et al*, 2016).**

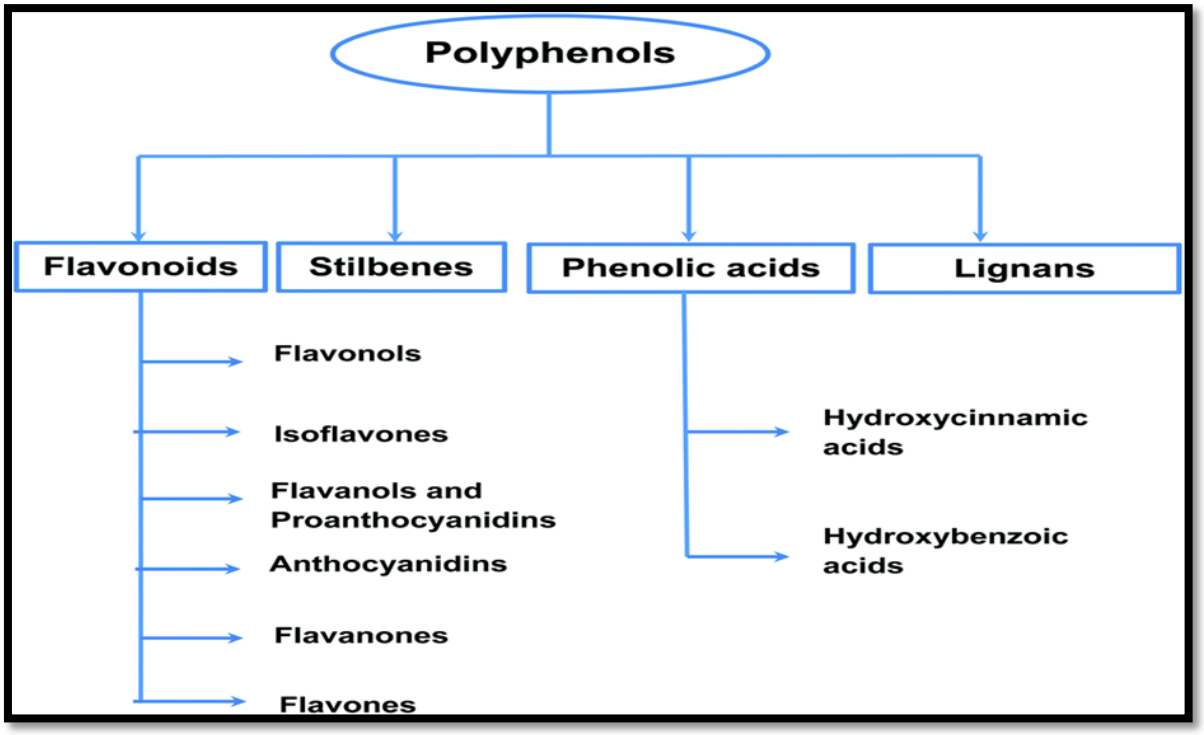


Figure 3: Les principales classes des polyphénols **(Oliver *et al*, 2016).**

Partie pratique

I. Matériels et méthodes

1. Matériels

Pour réaliser notre travail pratique nous avons utilisé le matériel de laboratoire mentionné dans le tableau 04 :

Tableau 4: Equipements nécessaires pour le travail pratique **(original)**

Catégorie	Matériel / Réactif	Description / Rôle
Matière végétale	Zestes de citron (*Citrus limon*)	Source de polyphénols
	Zestes de mandarine (*Citrus reticulata)*	Source de polyphénols
	Pelures d'oignon (*Allium cepa*)	Source de composés phénoliques
Matériel de préparation	Broyeur électrique	Broyage des échantillons
	Flacons ambrés en verre stérilisées	Stockage de la poudre et des extraits, protection contre lumière et humidité
Matériel de manipulation	Balance	Pesages de la matière végétale
	Béchers, erlenmeyers, ballon, boites de pétrie	Contenants pour macération et extraction
	Agitateur magnétique	Mélange homogène pendant l'extraction
	Soxhlet	Extraction des polyphénols
	Évaporateur rotatif	Élimination de l'éthanol et concentration de l'extrait
	Papier filtre	Filtration de l'extrait
	Spectrophotomètre UV/Visible	Lecture de l'absorbance
	Bec bunsen	Avoir un milieu aseptique
	Etuve	Incubation
Solvants et réactifs	Éthanol (70 %)	Solvant hydro-alcoolique pour extraction des polyphénols
	Eau distillée	Dissolution et dilution des réactifs

Catégorie	Matériel / Réactif	Description / Rôle
	Folin-Ciocalteu	Dosage des polyphénols
	DPPH	Test de l'activité antioxydante
	Carbonate de sodium	Dosage des polyphénols
	Eau physiologique	Préparation de l'inoculum bactérien
	Mélange éthanol/eau (70 :30 v/v)	Optimisation de l'extraction des composés polaires et moins polaires

2. Méthodes

2.1.Préparation de la matière végétale

Les matières végétales utilisées dans cette étude comprennent :

- Zestes de mandarine *(Citrus reticulata)*
- Zestes de citron *(Citrus limon)*
- Pelures d'oignon *(Allium cepa)*

2.1.1. Lavage

Apres leur collecte, les déchets sélectionnés sont soigneusement nettoyés à l'eau du robinet afin d'éliminer les impuretés et éviter leur contamination durant le séchage.

2.1.2. Séchage :

Apres le lavage, les déchets sont placés dans un endroit sec et ventilé, à température ambiante et à l'abri de la lumière, jusqu'à l'obtention d'une masse constante (7 à 15 jours). Cette étape consiste à éliminer l'humidité résiduelle présente dans les déchets, à stabiliser les composés bioactifs afin d'éviter leur dégradation, à faciliter le broyage, et à garantir l'obtention d'un poids stable (figures 04, 05 et 06).



Figure 5: Oignon séché**(Originale)**



Figure 4 : Mandarine séchée **(Originale)**



Figure 6: Citron séché **(Originale)**

2.1.3. Broyage

Après le séchage, les déchets sont broyés à l'aide d'un broyeur électrique afin d'augmenter la surface de contact, et de faciliter la pénétration du solvant pour obtenir un bon rendement d'extraction (figures 07 et 08).



Figure 7: Broyage de l'écorce de la mandarine **(Originale)**



Figure 8: Broyage de la pelure d'oignon (**Originale**)

2.1.4. Stockage

La poudre obtenue est conservée dans des flacons en verre stérilisés et hermétiquement fermés, recouverts de papier aluminium, et stockés à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à son utilisation (figure 09).



Figure 9: Stockage des échantillons broyés **(Originale).**

2.2. Extraction des polyphénols

2.2.1. Paramètres de l'extraction

L'efficacité de l'extraction des polyphénols dépend de plusieurs paramètres physico-chimiques et opératoires qui influencent directement le rendement et la qualité de l'extrait. Ces paramètres sont consignés dans le (tableau 05).

Tableau 5: Paramètres de l'extraction des polyphénols.

Paramètre	Conditions optimales	Influence sur l'extraction
Température	20–25 °C (≤ 40 °C)	Favorise la diffusion ; température élevée → dégradation des polyphénols
Nature du solvant	Éthanol 70% (éthanol/eau 70:30)	Permet d'extraire composés polaires et moins polaires → rendement élevé
Temps d'extraction	24 – 72 h	Extraction complète ; temps trop long → dégradation possible
Agitation	Continue ou intermittente	Améliore le contact solvant/matière → augmente le rendement
Taille des particules	Poudre fine	Augmente la surface de contact → extraction plus efficace
Rapport solide/solvant	Un volume suffisant de solvant permet une meilleure solubilisation des polyphénols.	Assure une bonne solubilisation des polyphénols
Lumière / Oxygène	À l'abri de la lumière et de l'air	Évite l'oxydation → préserve les composés bioactifs

2.2.2. Choix du solvant

- ✓ Le mélange hydro-éthanolique a été choisi comme solvant d'extraction en raison de sa polarité intermédiaire, permettant une meilleure solubilisation des composés phénoliques. L'association de l'eau et de l'éthanol favorise l'extraction d'un large spectre de molécules bioactives.
- ✓ De plus, ce solvant présente une faible toxicité et peut être utilisé dans des applications alimentaires, ce qui en fait un choix approprié pour l'étude des conservateurs naturels **(Dai & Mumper, 2010 ; Azwanida, 2015)**
- ✓ l'éthanol à 70 % est fréquemment cité comme le meilleur compromis pour maximiser le rendement en composés phénoliques tout en garantissant la sécurité du produit final **(Dai & Mumper, 2010 ; Do *et al*, 2014).**

2.2.3. Méthodes d'extraction

Le choix des méthodes d'extraction utilisées dans ce travail est principalement lié aux conditions expérimentales disponibles ainsi qu'à la nature des matrices végétales étudiées. En effet, l'indisponibilité des techniques d'extraction modernes a orienté notre étude vers des méthodes classiques, notamment la macération, déjà utilisée et maîtrisée au sein du laboratoire.

L'extraction Soxhlet a également été retenue pour compléter l'étude et permettre une extraction plus exhaustive des composés. Toutefois, l'utilisation de températures élevées dans la méthode Soxhlet peut présenter un risque de dégradation des composés phénoliques thermosensibles, en particulier dans les pelures d'oignon riches en polyphénols. Ainsi, la combinaison de ces deux approches permet d'adapter les conditions d'extraction aux contraintes expérimentales tout en assurant une évaluation comparative des rendements obtenus.

a. Extraction par macération

La macération est une méthode d'extraction consistant à mettre en contact une matière végétale avec un solvant approprié, pendant une durée déterminée, à température ambiante ou modérée, afin d'en extraire les composés bioactifs.

- ✓ **Principe**

La macération repose sur un phénomène de diffusion et de solubilisation des composés d'intérêt. Le solvant pénètre dans les tissus végétaux, entraînant la rupture partielle des structures cellulaires. Les composés phénoliques, solubles dans le mélange hydro-

alcoolique, sont alors dissous puis diffusent progressivement du milieu intracellulaire vers le solvant d'extraction.

À l'issue de ce processus, on obtient un extrait liquide enrichi en polyphénols.

✓ **Intérêt de la macération**

La macération est une méthode d'extraction simple, économique et efficace, réalisée à basse température, permettant de préserver les composés phénoliques sensibles et d'obtenir un extrait riche en polyphénols. Elle est particulièrement adaptée aux matrices végétales.

✓ **Méthode**

L'extraction des polyphénols par macération se déroule selon les étapes suivantes (figure 10) :

- Ajout de 200 ml du solvant hydro-éthanolique (70% éthanol / 30% eau) à 20 g de poudre de matière végétale.
- Macération ou agitation continue pendant 24h.
- L'eau extrait les composés polaires et l'éthanol les semi-polaires. Cela permet de récupérer un maximum de polyphénols.

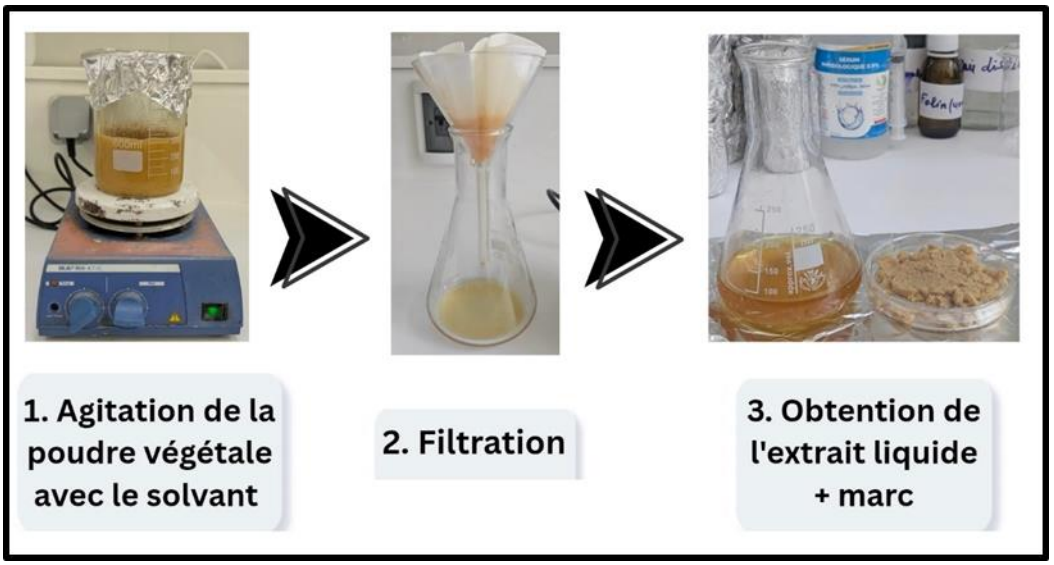


Figure 10: Les étapes de l'extraction par macération **(Originale).**

b. Extraction par soxhlet

✓ **Principe**

L'extraction par Soxhlet est une technique continue basée sur le recyclage du solvant. La poudre végétale est placée dans une cartouche en cellulose introduite dans l'extracteur Soxhlet (figure 11). Le système est relié à un ballon contenant le solvant hydro-éthanolique et à un condenseur. Le chauffage permet la succession de cycles d'extraction jusqu'à épuisement des composés solubles.

✓ **Méthodologie**

Une extraction des composés bioactifs des pelures d'oignon a été réalisée à l'aide d'un appareil de Soxhlet, en utilisant 40 g de poudre sèche et 800 ml de solvant hydroéthanolique (éthanol/eau : 70/30), pendant une durée de 6 à 8 heures, conformément aux méthodes décrites dans la littérature avec quelques modifications **(Sultana *et al.* 2009 ; Azmir *et al,* 2013).** Selon les étapes suivantes :

- Une masse de 40 g de poudre a été pesée.
- La poudre a été placée dans une cartouche en cellulose, ensuite introduite dans l'extracteur Soxhlet.
- 800 ml de solvant hydroéthanolique (70/30) ont été ajoutés dans le ballon.
- Le montage a été chauffé à reflux pendant 6 à 8 heures, permettant plusieurs cycles d'extraction (environ 10 à 15 cycles).
- La cartouche en cellulose joue le rôle de filtre en retenant les particules solides, permettant ainsi au solvant chargé en composés extraits de retourner dans le ballon.
- À la fin de l'extraction, lorsque le solvant devient incolore, le chauffage est arrêté.



Figure 11: Montage du soxhlet **(Originale).**

2.2.4. Evaporation du solvant

- Les extraits filtrés contiennent encore une grande quantité de solvants hydroéthanoliques qu'il est nécessaire d'éliminer pour concentrer les composés bioactifs.
- L'évaporation du solvant est généralement réalisée à l'aide d'un évaporateur rotatif, sous pression réduite et à température modérée ≤ 40 °C, afin de préserver l'intégrité des composés thermosensibles.
- Cette étape permet d'obtenir un extrait brut concentré, riche en composés phénoliques, qui pourra être utilisé pour les analyses ultérieures.

2.2.5. Rendement de l'extraction

Le rendement de l'extraction correspond à la quantité de l'extrait obtenu après l'évaporation du solvant. Il s'exprime en pourcentage par rapport à la masse initiale de la matière végétale utilisée pour l'extraction. On le détermine selon la formule suivante **(Mahmoudi *et al*, 2013)** :

$$R\ (\%) = (Mext\ /Méch) \times 100$$

R : le rendement en %

Mext : la masse de l'extrait après évaporation du solvant (mg).

Méch : la masse de la matière sèche végétale (mg).

2.3. Dosage quantitatif des polyphénols totaux par Folin-Ciocalteu

✓ **Principe**

La présence et la concentration en composés phénoliques présents dans nos extraits sont déterminées par un dosage à l'aide d'une spectrophotométrie UV/visible selon la méthode calorimétrique en utilisant le réactif Folin-Ciocalteu. Ce réactif de couleur jaune est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et l'acide phosphomolybdique. Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif de Folin-Ciocalteu en un complexe ayant une couleur bleu constitué d'oxyde de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques oxydés. Dans cette quantification, le standard utilise est l'acide gallique **(Boizot et Charpentier, 2006).**

✓ **Protocole**

Selon la méthode de Boizot et Charpentier, légèrement adaptée, le dosage a été réalisé

de la manière suivante (figure 12) :

1. Préparation de la solution mère de l'extrait à concentration 1 mg/ml.
2. 400 µl de l'extrait sont prélevés et introduits dans des tubes à hémolyse en verre.
3. Ajout de 2 ml de réactif Folin-Ciocaleu dilué 10 fois, puis incubation à l'obscurité pendant 5 min à température ambiante.
4. Ensuite, 1,6 ml d'une solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 à 7,5% est ajoutés.
5. Agitation des tubes puis incubation pendant 30 min dans les mêmes conditions.
6. Lecture de l'absorbance à 765 nm par le spectrophotomètre UV/Visible, et répétition de la lecture 3 fois.
7. Calcul de la concentration des polyphénols à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage établit avec l'acide gallique (10 à 100 µg/ml).

$$T=C.V/M$$

T : teneur en composés phénoliques (mg EAG/g)

C : concentration de l'extrait équivalent à l'acide gallique, obtenue à partir de la courbe d'étalonnage (mg/ml)

V : volume de l'extrait organique ou aqueux (ml).

M : poids de la matière végétale sèche (g).

8. Le résultat est exprimé en mg équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g d'extrait).

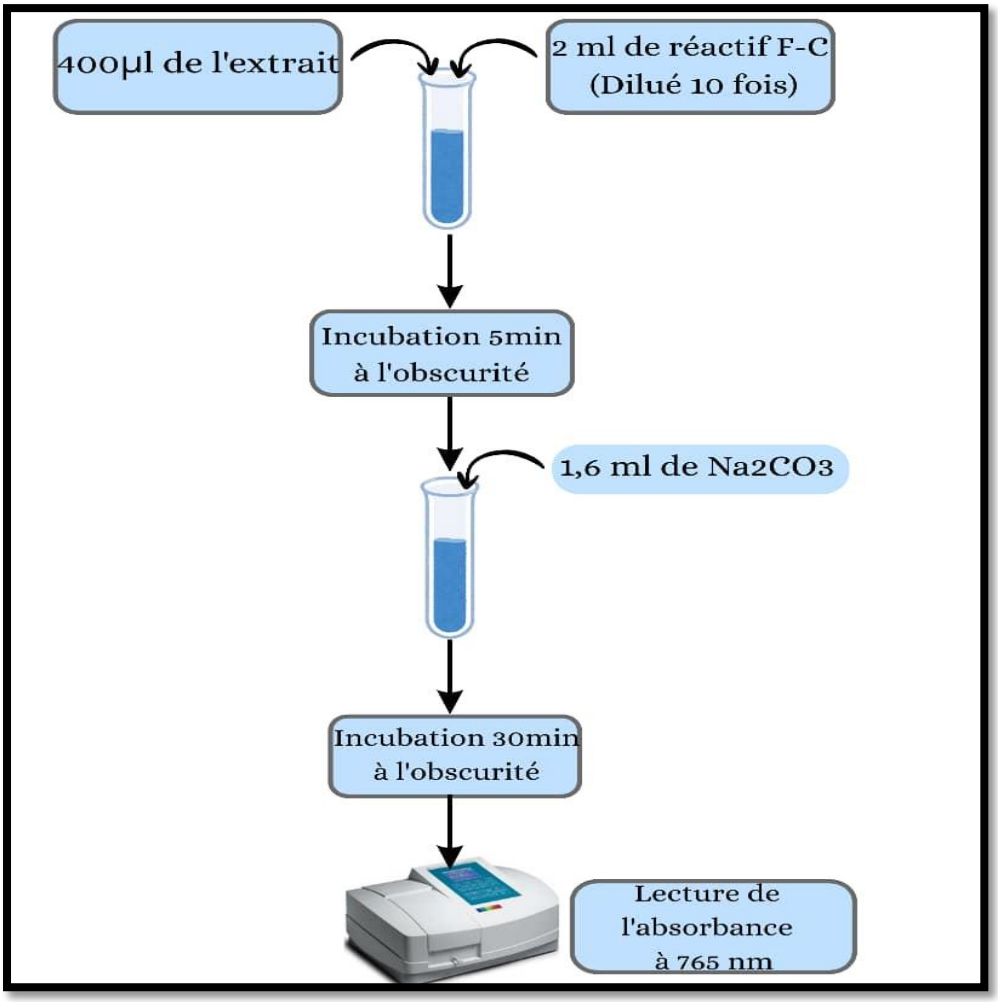


Figure 12: Protocole du dosage des polyphénols par Folin-Ciocalteu **(Originale).**

2.4. Test de l'activité antioxydants par le DPPH

Le DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) est un radical piégé par les composes antioxydants via un processus de transfert d'hydrogène générant le compose réduit **(Khantouche & Abderabba, 2018).**

- ✓ **Principe**

Pour tester l'activité antioxydante de nos extraits, on utilise le DPPH qui est de nature chromogène. Il entraine une transition de couleur de la solution passant du rose au jaune. Cette transformation est proportionnelle à la concentration et a l'efficacité de l'antioxydant **(Khantouche & Abderabba, 2018).**

- ✓ **Protocole**

Selon Khantouche et Abderabba avec quelques modifications, l'activité antioxydante de chaque extrait est mesurée comme suit

On va réaliser l'activité antioxydante de chaque extrait ainsi :

1- Préparation de la solution mère de l'extrait à concentration 1 mg/ml.

2- Prélèvement d'un aliquote de 2ml de l'extrait à étudier à différentes concentrations (400, 200, 100,50, 25 et 10 µg/ml), ensuite on les ajoute à 2 ml d'une solution de DPPH (0.2 mM).

2- Agitation vigoureuse du mélange, puis conservation a l'obscurité pendant 30 min.

3- Mesure de l'absorbance a 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV/Visible en se réfèrent à un témoin. Le méthanol est utilisé pour mettre le spectrophotomètre à zéro et on mesure l'absorbance radicale.

4- L'activité antiradicalaire de chaque échantillon est exprimée en pourcentage d'inhibition du DPPH en utilisant la formule suivante :

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

2.5. Test de l'activité antibactérienne

Le test de l'activité antibactérienne de nos extraits phénoliques va être évalué contre des souches bactériennes prélevées des aliments pourris (sauce tomate, escalope, jus d'orange).

- ✓ **Principe**

L'évaluation de l'activité antibactérienne de nos extraits repose sur la réalisation d'une culture bactérienne sur un milieu solide en présence de disques imbibés de l'extrait puis on note la présence ou l'absence des zones d'inhibition et leurs diamètres. Le diamètre de cette zone d'inhibition est proportionnel à l'efficacité de l'activité antibactérienne de l'échantillon **(Fattouch *et al* ; 2006).**

- ✓ **Protocole**

2.5.1. Préparation des souches

-Prélèvement d'un échantillon des aliments pourris à l'aide d'un écouvillon stérile.

-Ajout de 1 ml de l'eau physiologique stérile.

-Ensemencement sur gélose nutritive par la méthode de quadrant.

- Incubation à 28C° pendant 18-24h.

2.5.2. Préparation des dilutions des extraits

Les extraits sont dilués dans l'éthanol pour préparer des différentes concentrations comme suit :

-Pesage de 100 mg de l'extrait

- Ajout de 1 ml de l'éthanol pour obtenir la première concentration (100 mg/ml).

- Prélèvement de 500 µl du tube précédent et ajout de 500 µl de l'éthanol pour avoir la deuxième concentration (50 mg/ml).

2.5.3. L'aromatogramme

- Préparation d'une suspension bactérienne dans un tube écouvillon contenant 6 ml de l'eau physiologique stérile afin d'avoir une densité cellulaire initiale.
- Ensemencement des stries serrées à 3 reprises dans une gélose Mueller-Hinton en tournant la boite 60° chaque fois.
- Dépôt des disques 6 mm imprégnés dans l'extrait en prenant un disque contenant l'éthanol comme témoin.
- Incubation dans l'étuve pendant 18-24h à 28 C°.
- Mesure de diamètre de la zone d'inhibition à l'aide d'une règle.

Résultats et discussions

1. Rendement de l'extraction

Le rendement d'extraction représente la quantité d'extrait récupérée par rapport à la quantité initiale de matière végétale utilisée, exprimée en pourcentage.

Les différents rendements de nos échantillons, exprimés en pourcentage, sont présentés en dans l' histogramme de la figure 13.

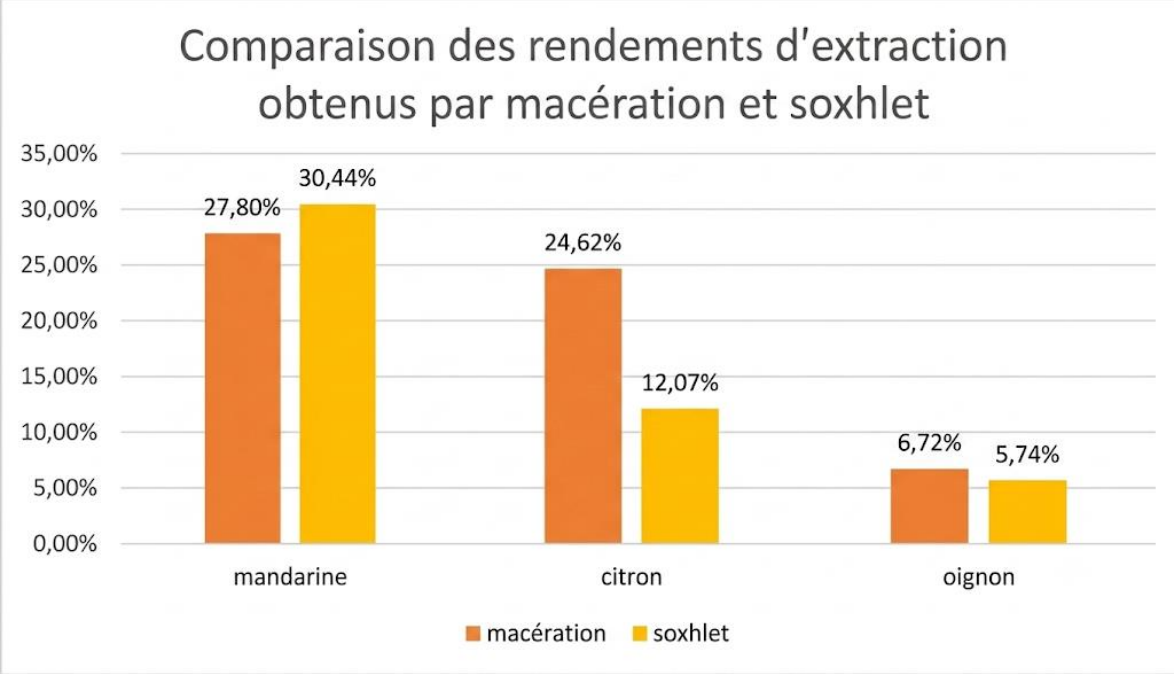


Figure 13: Histogramme des résultats de rendement de l'extraction.

Les résultats montrent que le rendement d'extraction dépend à la fois de la matière végétale utilisée et de la méthode d'extraction.

Pour les écorces de mandarine, l'extraction par Soxhlet (30,44 %) a donné un rendement légèrement supérieur à celui obtenu par macération (27,80 %). Cela indique que la méthode Soxhlet est plus efficace pour extraire les composés présents dans l'écorce de la mandarine.

Pour les écorces de citron, la macération (24,62 %) a donné un meilleur rendement que le Soxhlet (12,07 %). Cela suggère que les composés du citron sont mieux conservés lors d'une extraction à température ambiante.

Concernant les pelures d'oignon, les rendements obtenus sont faibles avec les deux méthodes : 6,72 % par macération et 5,74 % par Soxhlet. Cela montre que cette matière contient moins de substances extractibles que les écorces d'agrumes.

En général, les écorces de mandarine et de citron présentent des rendements plus élevés que les pelures d'oignon. Le rendement le plus élevé a été obtenu avec les écorces de mandarine par Soxhlet (30,44 %), tandis que le plus faible a été observé avec les pelures d'oignon par Soxhlet (5,74 %).

Ces résultats confirment que le rendement d'extraction varie selon la nature de la matière végétale et la méthode utilisée.

2. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des trois échantillons étudiés (oignon, citron et la mandarine) a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec différentes concentrations d'une solution standard d'acide gallique (0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1 mg/ml).

La courbe d'étalonnage obtenue présente une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration en acide gallique, décrite par l'équation de régression :

y = 0,3877x - 0,0282

Avec un coefficient de corrélation **: R2=0,9658**

L'axe des ordonnées représente l'absorbance, tandis que l'axe des abscisses indique la concentration exprimée en équivalent acide gallique.

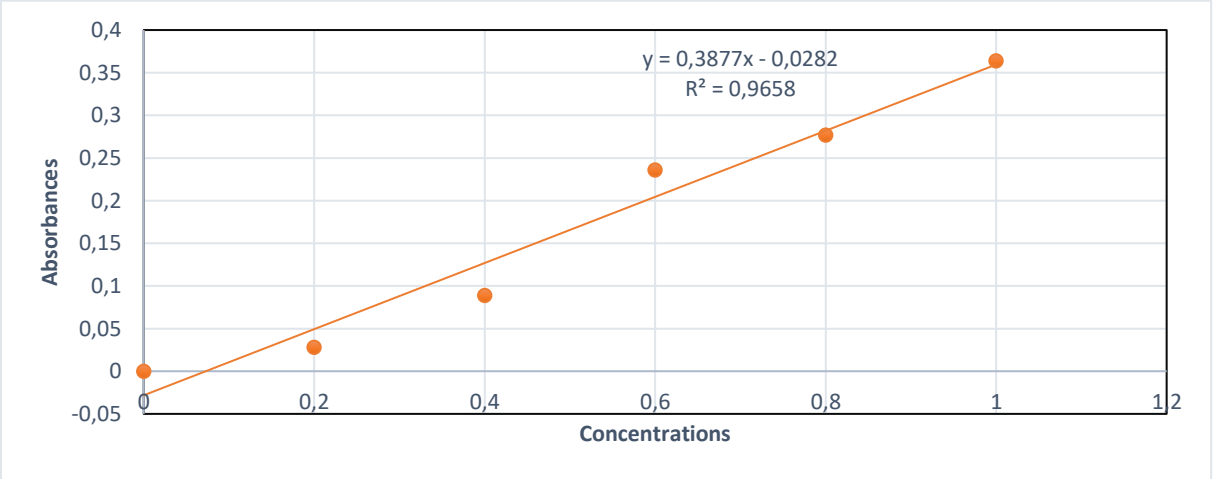


Figure 14: Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux (méthode de Folin-Ciocalteu).

- Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 15 ci-dessous :

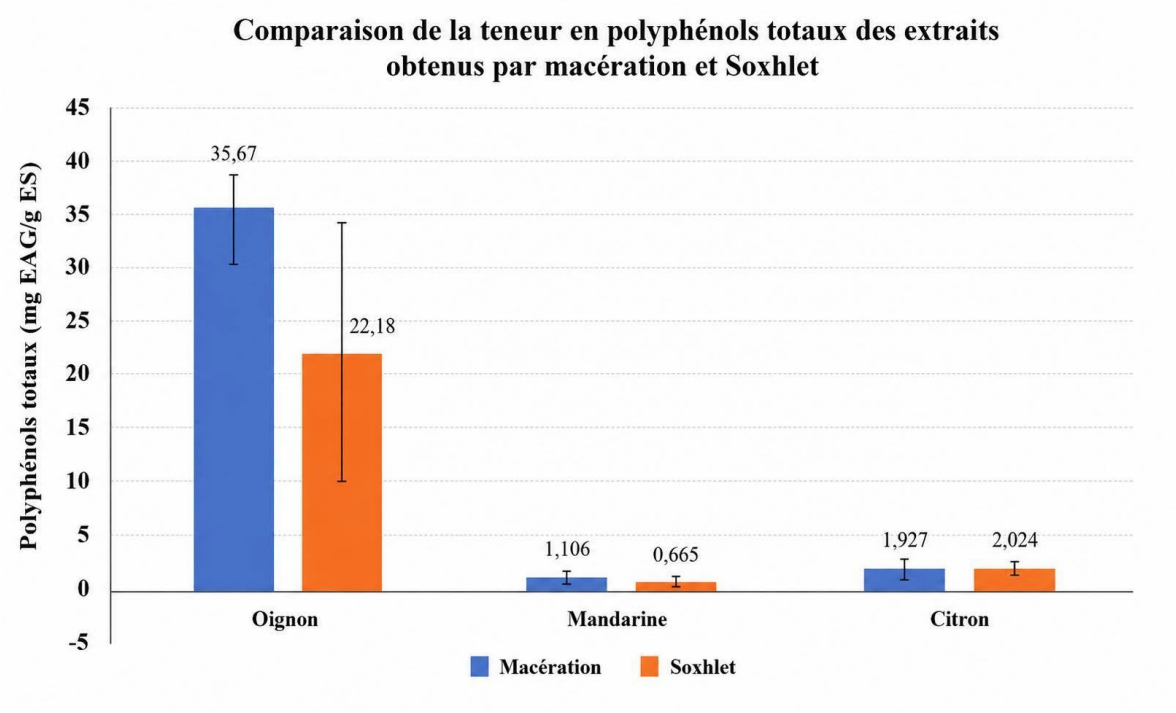


Figure 15: Histogramme des résultats du dosage des polyphénols des extraits étudiés.

Les résultats du dosage des polyphénols totaux montrent une variation de la teneur en composés phénoliques selon le type d'échantillon et la méthode d'extraction utilisée.

La pelure d'oignon est la plus riche en polyphénols, avec 35,67 ± 5,55 mg EAG/g par macération et 22,18 ± 11,70 mg EAG/g par Soxhlet, ce qui confirme les données de la littérature qui rapportent des teneurs variant entre 19,7 et 415 mg EAG/g **(Kumar et al, 2022 ; Jakovljević *et al*, 2024).**

L'écorce de citron présente des teneurs plus modestes, soit 1,927 ± 0,141 mg EAG/g par macération et 2,024 ± 0,069 mg EAG/g par Soxhlet, inférieures aux 7,47 mg EAG/g obtenus en conditions optimisées **(Toprakçı *et al*, 2022).**

L'écorce de mandarine enregistre les valeurs les plus basses avec 1,106 ± 0,443 mg EAG/g par macération et 0,665 ± 0,053 mg EAG/g par Soxhlet, en dessous des 3,78 mg EAG/g signalés dans la littérature **(Toprakçı *et al*, 2022).**

Ces différences s'expliquent par la composition chimique propre à chaque matière végétale. Concernant les méthodes d'extraction, la macération permet généralement d'obtenir de meilleures teneurs en polyphénols pour la pelure d'oignon et la mandarine, car elle préserve mieux les composés phénoliques grâce à sa faible température, Pour le citron, les résultats de la macération et du Soxhlet sont proches, avec une légère amélioration pour le Soxhlet.

Les résultats du dosage des polyphénols totaux révèlent que la pelure d'oignon est

l’échantillon le plus riche en composés phénoliques, suivi de l’écorce du citron puis de la mandarine. La méthode d’extraction influence la quantité de polyphénols obtenue, la macération donnant globalement les meilleurs résultats. Ces déchets agroalimentaires peuvent ainsi être considérés comme une source intéressante de composés bioactifs à forte valeur ajoutée.

Bien que le rendement massique global de l'oignon soit très faible (environ 6%), l'extrait obtenu est extrêmement concentré en polyphénols (35,67 mg EAG/g ES). À l'inverse, la mandarine a un fort rendement d'extraction (environ 30%) mais un extrait très pauvre en polyphénols (1 mg EAG/g ES). Cela montre que l'extraction sur les agrumes extrait massivement d'autres molécules (sucres, acides organiques, pectines) qui écrasent le rendement massique, alors que l'extraction sur l'oignon cible de manière beaucoup plus sélective les composés phénoliques (notamment la quercétine, majoritaire dans l'oignon).

3. Mise en évidence de l’activité antioxydante

3.1.Résultats :

L'activité antioxydante des différents extraits des trois déchets agroalimentaires (écorce de citron, écorce de mandarine et pelure d'oignon) a été évaluée par la méthode du DPPH, à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 517 nm. Le taux d'inhibition (I%) a été déterminé pour chaque extrait en fonction de différentes concentrations, permettant ainsi d'établir l'activité antiradicalaire (%) correspondante.

Afin de mieux caractériser le pouvoir antiradicalaire de ces extraits, les résultats sont exprimés en termes d'IC50, représentant la concentration d'extrait nécessaire pour inhiber 50% du radical DPPH dans le milieu réactionnel. Cette valeur a été calculée à partir des courbes de pourcentage d'inhibition tracées en fonction des différentes concentrations d'extraits testées.

L'IC50 est inversement proportionnelle à la capacité antioxydante d'un extrait, puisqu'elle traduit la quantité d'antioxydant nécessaire pour réduire de moitié la concentration du radical libre. Ainsi, plus la valeur d'IC50 est faible, plus l'activité antioxydante de l'extrait est élevée **(Ismaili *et al*. 2017).**

Les résultats des IC50 obtenus pour les extraits issus des trois déchets agroalimentaires étudiés (écorce de citron, écorce de mandarine et pelure d'oignon) sont présentés dans le tableau 06.

Tableau 6: IC50 (µg/mL) des extraits étudiés et des standards de référence (BHA, BHT)

Extrait	OS	OM	CS	CM	MM	MS	BHA	BHT
IC50 (µg/mL)	<100	107,56	>400	>400	>400	>400	90	100

3.2. Discussion des résultats

- Les résultats des IC50 obtenus pour les six extraits testés révèlent une variation importante du pouvoir antiradicalaire selon la nature du déchet agroalimentaire et selon la méthode d'extraction employée. Les valeurs d'IC50 les plus faibles, donc traduisant l'activité antioxydante la plus élevée,
- Les extraits de pelure d'oignon (OS < 100 µg/ml et OM = 107,6 µg/ml) présentent une activité antiradicalaire comparable à celle des standards de référence BHA (90 µg/ml) et BHT (100 µg/ml), confirmant leur fort pouvoir antioxydant.
- Les extraits de citron et de mandarine (CM, CS, MM, MS), tous avec une IC50 supérieure à 400 µg/ml, montrent une activité antiradicalaire beaucoup plus faible, soit plus de quatre fois inférieure à celle des standards BHA et BHT.
- L'extrait OS se rapproche le plus de la BHA, suggérant un potentiel intéressant comme alternative naturelle à cet antioxydant de synthèse.
- L'extrait OM reste proche du BHT, avec un écart minime de seulement 7,6 µg/ml.
- Les extraits d'agrumes (citron et mandarine) s'éloignent fortement des deux standards, quelle que soit la méthode d'extraction utilisée (macération ou Soxhlet), révélant une capacité antioxydante nettement insuffisante comparée aux antioxydants de référence.

La pelure d'oignon (O) :

Les extraits de pelures d'oignon obtenus aussi bien par macération que par Soxhlet, présentent l'activité antioxydante la plus élevée parmi les trois espèces étudiées. Le pourcentage d'inhibition atteint des valeurs proches de 100 % aux concentrations les plus élevées (400 et 200 µg/ml).

- ✓ L'IC_{50} est inférieure à 100 µg/ml pour l'extrait OS et légèrement supérieure (107,56 µg/ml) pour l'extrait OM, confirmant leur forte capacité à piéger les radicaux libres.
- ✓ Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **(Saptarini *et al*, 2020),** qui ont rapporté des IC_{50} DPPH comprises entre 55,62 et 107,08 µg/ml pour des extraits de

pelures d'oignon (*Allium cepa* L. var. ascalonicum) obtenus par macération et Soxhlet, confirmant ainsi l'influence de la méthode d'extraction sur la capacité antioxydante et la richesse de cette matrice en polyphénols, notamment en quercétine et ses dérivés.

-L'écorce de la mandarine (M) : Les extraits d'écorce mandarine montrent une activité antioxydante nettement plus faible que ceux d'oignon. L'IC_{50} est supérieure à 400 µg/ml pour les deux types d'extraits .Ces résultats suggèrent une concentration plus faible en composés phénoliques antioxydants dans les extraits de mandarine par rapport à l'oignon.

- ✓ Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **(Li *et al*, 2013),** qui ont rapporté une IC_{50} DPPH de 349,67 ± 1,91 µg/ml pour un extrait éthanolique de péricarpe de *Citrus reticulata*, confirmant ainsi la faible capacité antiradicalaire des extraits bruts de pelures de mandarine dans le test DPPH

-L'écorce du citron (C) :

Les extraits d'écorce de citron montrent une activité antioxydante intermédiaire entre celle de l'oignon et celle de la mandarine, mais globalement faible (IC50 > 400 µg/ml).

Ce résultat contraste avec la réputation du citron comme source riche en vitamine C et flavonoïdes, mais s'explique par plusieurs facteurs.

D'une part, le solvant d'extraction (méthanol) pourrait mal récupérer les composés liposolubles comme le limonène ou certains flavonoïdes glycosylés peu solubles, l'extraction des polyphénols d'agrumes étant fortement dépendante de leur solubilité dans le solvant utilisé **(Tandfonline, 2024).** D'autre part, la vitamine C, thermolabile et sensible à l'oxydation, a pu se dégrader lors du séchage ou de l'extraction, plusieurs études confirmant que la vitamine C, les phénols et les flavonoïdes réagissent avec l'oxygène pendant un séchage à haute température, entraînant leur dégradation **(El Gamal *et al*.2023).**

- ✓ Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **(Makni *et al*, 2018),** qui ont rapporté une IC_{50} DPPH de 434,50 ± 5,9 µg/ml pour un extrait de zeste de citron (*Citrus limon*) de Tunisie, avec un pourcentage d'inhibition ne dépassant pas 20,3 ± 3,9 %, confirmant ainsi la faible capacité antiradicalaire des extraits bruts de pelures de citron dans le test DPPH.

3.3. Interprétation scientifique

3.3.1. Relation Structure-Activité des Polyphénols

La forte activité antioxydante des extraits de pelure d'oignon est directement liée à leur richesse en quercétine. Cette puissance antiradicalaire s'explique par sa structure moléculaire particulièrement favorable au piégeage des radicaux libres : selon les critères structuraux confirmés par une étude récente sur la relation quantitative structure-propriété des composés phénoliques, la quercétine possède un groupement catéchol sur le cycle B, une double liaison en position 2,3 conjuguée à un groupement carbonyle en position 4, ainsi que des groupements hydroxyle en positions 3 et 5, **(Platzer *et al.*, 2021).** Ces éléments structuraux permettent une délocalisation électronique optimale qui stabilise le radical phénoxyle formé après le piégeage du radical DPPH. En revanche, les flavanones glycosylées présentes dans la mandarine et le citron, telles que l'hespéridine et la naringine, possèdent une structure moins favorable. **(Pérez *et al*, 2022)** ont même démontré que la naringénine, principal aglycone des flavanones des agrumes, n'est pas oxydée par le radical DPPH, ce qui explique directement la faible activité antiradicalaire observée pour ces deux espèces dans notre étude.

3.3.2. Influence de la Méthode d'Extraction

La méthode d'extraction influence différemment l'activité antioxydante selon la matrice végétale. Pour les pelures d'oignon, le Soxhlet donne de meilleurs résultats grâce à une extraction plus complète de la quercétine, thermostable. Par contre, pour la mandarine, la macération semble légèrement plus efficace. **(Antony et Farid, 2022)** expliquent cela par le fait que le Soxhlet implique un chauffage prolongé à haute température pouvant dégrader certains composés phénoliques sensibles à la chaleur, notamment les flavanones. Ce résultat confirme que le choix de la méthode d'extraction doit être adapté à la nature des composés cibles de chaque matrice végétale.

3.3.3. Variabilité Naturelle

La composition phénolique et l'activité antioxydante peuvent varier considérablement selon les études. **(Borrás *et al*, 2024)** ont montré, dans une méta-analyse sur les propriétés antioxydantes du citron, que les extraits d'écorce présentent généralement des IC_{50} élevées, bien supérieures à celles des antioxydants standards. Ces variations s'expliquent par des facteurs tels que la variété, le stade de maturité, les conditions de culture et de stockage, qui influencent directement la teneur en composés phénoliques et pourraient justifier les

différences entre nos résultats et ceux de la littérature.

- Ces résultats préliminaires nous encouragent à poursuivre cette recherche en cours en testant des concentrations plus élevées, afin de déterminer avec précision l'activité antioxydante des extraits de citron et de mandarine.

4. Mise en évidence de l'activité antibactérienne

Les résultats présentés dans le tableau 07 représentent les zones d'inhibition en (mm) obtenues pour les tests de l'activité antibactérienne de nos extraits végétaux (écorce de la mandarine, écorce du citron, pelure d'oignon) testés à une concentration de 50 mg/ml sur des souches bactériennes prélevées de trois aliments altérés : la sauce tomate, l'escalope et le jus d'orange. Deux méthodes d'extraction ont été comparées : l'extraction par macération et l'extraction par Soxhlet.

L'interprétation de l'activité antibactérienne des extraits est considérée comme suit **(Kovač *et al*, 2024)** :

- ≤ 6 mm : Pas d'activité .
- 7_ 8 mm : Faible activité .
- 9_ 12 mm : Activité modérée .
- 13_ 18 mm : Forte activité .
- >18 mm : Activité tres forte .

Tableau 7: Résultats des zones d'inhibition obtenues.

Aliment altéré	Extrait	Zone d'inhibition
		C=50mg/ml
Sauce tomate	CM	8
	CS	10
	MM	13
	MS	21
	OM	8
	OS	8
Escalope	CM	9
	CS	9
	MM	12

	MS	11,66
	OM	11
	OS	8,33
Jus d'orange	**CM**	NI
	CS	8
	MM	9
	MS	NI
	OM	8,66
	OS	9

4.1.Activité antibactérienne sur les bactéries de la sauce tomate

Les extraits testés sur les bactéries de la sauce tomate présentent des zones d'inhibition variables :

- L'extrait de la mandarine obtenu par la méthode de Soxhlet affiche la zone d'inhibition la plus élevée (21 mm), ce qui témoigne d'une activité antibactérienne remarquable. Ceci pourrait signifier une meilleure extraction des composés bioactifs par la méthode du Soxhlet qui permet une extraction plus exhaustive grâce aux cycles répétés de solvant.

-L'extrait de la mandarine obtenu par macération montre une bonne activité, avec une zone d'inhibition de 13, bien qu'inférieure à celle obtenue par Soxhlet, ce que confirme la supériorité de cette dernière méthode pour cet extrait.

-Les extraits de Citron Soxhlet et Citron macération montrent une activité modérée représentée par des zones d'inhibition de 8mm et 10mm respectivement, suggérant que les bactéries de la sauce tomate sont moins sensibles aux composés des extraits de l'écorce du citron.

-Les extraits de la pelure d'oignon présentent une zone d'inhibition de 8mm pour les deux méthodes d'extraction, représentative d'une activité modérée. Cela indique que la méthode n'influence pas significativement l'extraction des principes actifs de la pelure d'oignon dans ce cas.

4.2. Activité antibactérienne sur les bactéries de l'escalope

Les bactéries isolées de l'escalope montrent une sensibilité globalement modérée aux différents extraits :

-L'extrait de Mandarine obtenus par macération et par Soxhlet présentent des zones

d’inhibition de 12mm et 11,66 respectivement. Ce qui correspond à des activités comparables et suggère que les deux méthodes d’extraction sont quasi-équivalentes pour cette matrice bactérienne.

-L'extrait d'Oignon obtenu par macération (11 mm) révèle ici une activité plus notable que pour les autres aliments, ce qui peut indiquer une sensibilité particulière des bactéries de l'escalope aux composés soufrés et des flavonoïdes de la pelure d'oignon (allicine, quercetine).

-Les extraits de Citron montrent une activité faible et similaire pour les deux méthodes d’extraction.

-L'extrait d'Oignon Soxhlet est le moins actif sur ce groupe bactérien, ce qui pourrait s'expliquer par une possible dégradation thermique de certains composés volatils lors de l'extraction à chaud.

4.3.Activité antibactérienne sur les bactéries du jus d'orange

Les bactéries du jus d'orange semblent globalement moins sensibles aux extraits testés, avec des zones d'inhibition plus faibles :

-Les extraits de Citron macération et de Mandarine Soxhlet ne marquent pas des zones d’inhibition, cela ne présentent aucune activité antibactérienne pour ces extraits. Ce qui pourrait indiquer une résistance accrue des bactéries du jus d'orange, ou encore une interaction négative entre les composés de l'extrait et le milieu acide naturel du jus d'orange ce que sélectionne des bactéries acidotolerantes naturellement résistantes.

-L'extrait de Mandarine macération et d'Oignon Soxhlet offrent l'activité modérée dans ce groupe bactérien en présentant une zone d’inhibition de 9mm pour chacun.

-Les extraits de Citron Soxhlet et d'Oignon macération restent dans des valeurs intermédiaires modestes (8mm) avec une activité faible.

4.4. Comparaison entre les extraits

-L'écorce de mandarine s'avère globalement l'extrait le plus actif, toutes matrices et méthodes confondues, notamment grâce à sa richesse en flavonoïdes (hespéridine, naringénine), en limonoïdes et en huiles essentielles aux propriétés antimicrobiennes reconnues.

-L'écorce de citron montre une activité modérée, liée à sa teneur en limonène, acide ascorbique et composés phénoliques.

-La pelure d'oignon présente une activité variable mais notable, attribuable à sa teneur en quercétine et en composés organosoufrés, connus pour leur action bactériostatique et

bactéricide.

4.5. Comparaison avec la littérature

- Une étude menée par **(Attia *et al*, 2021)** sur le test antibactérien de l'écorce de mandarine vis-à-vis de bactéries phytopathogenes a révélé des zones d'inhibitions entre 9,3mm et 16mm à une concentration 10mg/ml.

-Une étude réalisée par **(Mounir *et al*, 2023)** sur le test antibactérien de la pelure d'oignon a montré des zones d'inhibition comprises entre 8 et 26mm à une concentration de 100mg/ml.

- Une étude menée par **(Gupta *et al*, 2017)** sur le test antibactérien de l'écorce de citron sur des bactéries phytopathogenes a révélé des zones d'inhibitions comprises entre 10 et 14mm à une concentration de 200mg/ml.

Cela signifie que nos résultats sont en accord avec les données rapportées dans la littérature scientifique existante

Enfin, ces résultats confirment le potentiel antibactérien des extraits d'écorces de mandarine, de citron et de pelure d'oignon vis-à-vis des bactéries responsables de l'altération des aliments. L'extrait de mandarine au Soxhlet à 50 mg/ml représente la solution la plus prometteuse, notamment pour la conservation de la sauce tomate. Ces données nous encouragent à poursuivre des études complémentaires afin de déterminer les CMI et la CMB, permettant de savoir si nos extraits sont bactéricides ou bactériostatiques sur des souches bactériennes identifiées et de mieux caractériser le spectre d'action de ces extraits naturels.

Conclusion et perspectives

La présente étude s'inscrit dans une démarche de valorisation des déchets agroalimentaires à travers leur utilisation comme source de conservateurs naturels. Les écorces d'oignon, de citron et de mandarine, souvent considérées comme des résidus sans valeur, se sont révélées riches en composés phénoliques possédant des propriétés antioxydantes susceptibles d'être exploitées dans la conservation des aliments.

Les résultats obtenus ont montré que la teneur en polyphénols varie selon la nature du déchet végétal et la méthode d'extraction utilisée. L'extraction par Soxhlet a généralement permis d'obtenir de meilleurs rendements en composés phénoliques que la macération, mettant ainsi en évidence l'importance du procédé d'extraction dans la récupération des molécules bioactives.

Cette étude démontre que les déchets agroalimentaires constituent une ressource prometteuse pour le développement de conservateurs naturels, offrant une alternative aux additifs synthétiques couramment utilisés dans l'industrie alimentaire. Leur valorisation contribue non seulement à la réduction des déchets et à la protection de l'environnement, mais également à la création de produits plus sûrs et mieux acceptés par les consommateurs.

En perspective, des études complémentaires portant sur l'évaluation de l'efficacité antimicrobienne et de la stabilité des extraits dans les aliments réels permettraient de confirmer leur potentiel pour une application industrielle à grande échelle. Ainsi, la valorisation des déchets agroalimentaires apparaît comme une approche durable et innovante répondant aux enjeux environnementaux, économiques et alimentaires actuels.

Références bibliographiques

- **Agabi, R., Bouhadid, A., & Lahouareche, Y. (2020**). La valorisation des déchets organiques [Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, Département de Biologie, Filière Sciences alimentaires, Spécialité Qualité des produits et sécurité alimentaire]. Dépôt institutionnel de l'Université de Guelma.
- **Antony, A., & Farid, M. (2022).** Effect of temperatures on polyphenols during extraction. Encyclopedia MDPI.
- **Attia, G. H., Marrez, D. A., Mohammed, M. A., Albarqi, H. A., Ibrahim, A. M., & El Raey, M. A. (2021).** Synergistic effect of mandarin peels and hesperidin with sodium nitrite against some food pathogen microbes. Molecules, 26(11), 3186. https://doi.org/10.3390/molecules26113186
- **Bavaro, A. R., D'Antuono, I., Bruno, A., Ramires, F. A., Linsalata, V., Bleve, G., Cardinali, A., & Garbetta, A. (2025).** Valorization of onion-processing waste: Digestive fate, bioavailability, and cellular antioxidant properties of red and yellow peels polyphenols. Antioxidants, 15(1), 7. https://doi.org/10.3390/antiox15010007
- **Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'INRA, Numéro spécial 2006, 79–82.
- **Borrás-Linares, I., et al. (2024).** Antioxidant properties of lemon essential oils: A meta-analysis. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 11, 116.
- **Brewster, J. L. (2008).** Onions and allied crops. CAB International.
- **Cronjé, P. J. R., Zacarías, L., & Alférez, F. (2017).** Susceptibility to postharvest peel pitting in Citrus fruits as related to albedo thickness, water loss and phospholipase activity. Postharvest Biology and Technology, 123, 77–82. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.012
- **Czech, A., Zarycka, E., Yanovych, D., Zasadna, Z., Grzegorczyk, I., & Klys, S. (2020).** Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars. Biological Trace Element Research, 193(2), 555–563. https://doi.org/10.1007/s12011-019-01727-1
- **Durmus, N., *et al.* (2024).** Recovery, bioactivity, and utilization of bioactive phenolic compounds in citrus peel. Food Science & Nutrition.
- **ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G.**

(2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: A comprehensive overview. Agronomy, 13(6), 1580. https://doi.org/10.3390/agronomy13061580

- **Fattouch S., Caboni P., Cornevo V., Tuberesso C., Angioni A., Dessi S., Marzouki N. et Cabras P. (2006).** Antimicrobial activity of Tunisian Quince (Cydonia Oblonga miller) pulp and peel phenolic extracts, Journal of Agricultural and food chemistry. 50: 130-143.
- **Filali, A. (2021/2022).** Traitement et recyclage des déchets [Exposé, Université A. Mira – Béjaïa, Faculté de Technologie, Département de Génie minier]. SlideShare. https://fr.slideshare.net/slideshow/adel-filali-traitement-et-recyclage-des-dchets/251073903
- **Fratianni, F., Cozzolino, A., De Feo, V., Coppola, R., Ombra, M. N., & Nazzaro, F. (2019).** Polyphenols, antioxidant, antibacterial, and biofilm inhibitory activities of peel and pulp of Citrus medica L., Citrus bergamia, and Citrus medica cv. Salò cultivated in Southern Italy. Molecules, 24(24), 4577. https://doi.org/10.3390/molecules24244577
- **González-Silva, N., Nolasco-González, Y., Aguilar-Hernández, G., Sáyago-Ayerdi, S. G., Villagrán, Z., Acosta, J. L., Montalvo-González, E., & Anaya-Esparza, L. M. (2022).** Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from Psidium cattleianum leaves: Optimization using the response surface methodology. Molecules, 27(11), 3557. https://doi.org/10.3390/molecules27113557
- **Gupta, S., Gupta, C., Prakash, D., & Garg, A. P. (2017).** Comparative study of antimicrobial effects of lemon oil and peel extract against food-spoilage microbes. Journal of Nutritional Health & Food Science, 5(6), 1–5. https://doi.org/10.15226/jnhfs.2017.001110
- **Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011).** Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/10388b16-5f1a-45d0-b690-e89bb78d33bb/content
- **Hano, C., & Tungmunnithum, D. (2020).** Plant polyphenols, more than just simple natural antioxidants: Oxidative stress, aging and disease. Medicines, 7(5), 26. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32397520/

- **Khan, I. A. (Éd.). (2007).** Citrus: Botany, cultivation and uses. CAB International.
- **Khantouche, L., & Abderabba, M. (2018).** Dosage des polyphénols et étude de l'activité antioxydante et antimicrobienne des différents extraits des feuilles du Globularia alypum L. IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 12(1), 68–74.
- **Konate, M., Parkouda, C., Tarpaga, V., Guira, F., Rouamba, A., & Sawadogo-Lingani, H. (2017).** Evaluation des potentialités nutritives et l'aptitude à la conservation de onze variétés d'oignon (Allium cepa L.) bulbe introduites au Burkina Faso.
- **Kovač, J., Šimunović, K., Wu, Z., Klančnik, A., Bucar, F., Zhang, Q., & Možina, S. S. (2024).** Methods for determination of antimicrobial activity of essential oils in vitro—A review. Antibiotics, 13(9), 873. https://doi.org/10.3390/antibiotics13090873
- **Kumar, M., Barbhai, M. D., Hasan, M., Punia, S., Dhumal, S., Radha, Rais, N., Chandran, D., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Tomar, M., Satankar, V., Senapathy, M., Anitha, T., Dey, A., Sayed, A. A. S., Gadallah, F. M., Amarowicz, R., & Mekhemar, M. (2022)**. Onion (Allium cepa L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities. Biomedicine & Pharmacotherapy, 146, 112498. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112498
- **Li, S., Lo, C.-Y., Pan, M.-H., Lai, C.-S., & Ho, C.-T. (2013).** Biological activities of essential oil of Citri reticulatae pericarpium. Advanced Pharmaceutical Bulletin, 3(1), 175–181. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3846041/
- **López-Salazar, H., Camacho-Díaz, B. H., Arenas Ocampo, M. L., & Jiménez-Aparicio, A. R. (2023).** Microwave-assisted extraction of functional compounds from plants: A review. BioResources, 18(3), 6614–6638. https://doi.org/10.15376/biores.18.3.lopez-salazar
- **Madrakhimova, M. K., & Atakulova, N. B. (2026).** HPLC profiling of bioactive compounds in lemon peel extract. Universum: химия и биология, 2(140). https://7universum.com/ru/nature/archive/item/21887
- **Mahmoudi, S., Khali, M., & Mahmoudi, N. (2013).** Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (Cynara scolymus L.). Nature et Technologie, 9, 35–40.
- **Makni, M., Jemai, R., Kriaa, W., Chtourou, Y., & Fetoui, H. (2018).** Citrus limon from Tunisia: Phytochemical and physicochemical properties and biological

activities. BioMed Research International, 2018, 6251546. https://doi.org/10.1155/2018/6251546

- **Mounir, R., Alshareef, W. A., El Gebaly, E. A., El-Haddad, A. E., Said Ahmed, A. M., Mohamed, O. G., Enan, E. T., Mosallam, S., Tripathi, A., Selim, H. M. R. M., Bukhari, S. I., Alfaraj, R., Ragab, G. M., El-Gazar, A. A., & El-Emam, S. Z. (2023).** Unlocking the power of onion peel extracts: Antimicrobial and anti-inflammatory effects improve wound healing through repressing Notch-1/NLRP3/Caspase-1 signaling. Pharmaceuticals, 16(10), 1379. https://doi.org/10.3390/ph16101379
- **Núñez-Gómez, V., San Mateo, M., González-Barrio, R., & Periago, M. J. (2024).** Chemical composition, functional and antioxidant properties of dietary fibre extracted from lemon peel after enzymatic treatment. Molecules, 29(1), 269. https://doi.org/10.3390/molecules29010269
- **Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009).** Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2(5), 270–278. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2835915/
- **Pérez-González, A., et al. (2022).** Comparative analysis of molecular properties and reactions with oxidants for quercetin, catechin, and naringenin. Molecular and Cellular Biochemistry, 477, 2221–2234.
- **Prabasari, I. (2014).** Peel ultrastructure during developmental stages of Citrus sinensis (L.) Osbeck. Planta Tropika: Jurnal Agrosains, 2(1). https://doi.org/10.18196/pt.2014.017.1-6
- **Saini, A., Panesar, P. S., & Bera, M. B. (2019).** Valorization of fruits and vegetables waste through green extraction of bioactive compounds and their nanoemulsions-based delivery system. Bioresources and Bioprocessing, 6(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40643-019-0261-9
- **Saini, R. K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K. G. M., & Keum, Y.-S. (2022).** Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. Antioxidants, 11(2), 239. https://doi.org/10.3390/antiox11020239
- **Shaanxi Shengheyuan. (2024, 28 janvier).** Tangerine peel extract. CNShybio. De https://www.cnshybio.com/fr/news/tangerine-peel-extract/
- **Shaanxi Yuantai Biological Technology Co., Ltd. (2025, 16 septembre).** Quels

composés bénéfiques trouve-t-on dans l'extrait d'écorce de mandarine ? YTBIO Health. https://fr.ytbio-health.com/news/what-beneficial-compounds-are-found-in-tangeri-17589211785733120.html

- **Sigurnjak Bureš, M., Maslov Bandić, L., & Vlahoviček-Kahlina, K. (2022).** Determination of bioactive components in mandarin fruits: A review. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 53(7), 1489–1514. https://doi.org/10.1080/10408347.2022.2035209
- **Smaili, R., Houbairi, S., Sanâa, L., Moustaid, K., & Lamiri, A. (2017).** Étude de l'activité antioxydante des huiles essentielles de plantes aromatiques et médicinales marocaines. European Scientific Journal, 13(12), 323–334. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p323
- **Tourabi, M., Faiz, K., Ezzouggari, R., Louasté, B., Merzouki, M., Dauelbait, M., Bourhia, M., Almaary, K. S., Siddique, F., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2025).** Optimization of extraction process and solvent polarities to enhance the recovery of phytochemical compounds, nutritional content, and biofunctional properties of Mentha longifolia L. extracts. Bioresources and Bioprocessing, 12, 24. https://doi.org/10.1186/s40643-025-00859-8
- **Wang, H., Xiao, H., Wu, Y., Zhou, F., Hua, C., Ba, L., Shamim, S., & Zhang, W. (2022).** Characterization of volatile compounds and microstructure in different tissues of 'Eureka' lemon (Citrus limon). International Journal of Food Properties, 25(1), 404–421. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2046600
- **Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y.-J., et Kim, E.-K. (2022).** Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. Journal of Functional Foods, 95, article 105163. https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105163
- **Xu, W., Wang, H., Sun, Z., et al. (2025).** Limonene alleviated ulcerative colitis via anti-inflammation, anti-oxidation and regulating intestinal microenvironment in vivo and in vitro. Inflammopharmacology, 33, 6287–6305. https://doi.org/10.1007/s10787-025-01974-w
- **Yadav, S., Malik, K., McClurkin Moore, J., Kamboj, B. R., Malik, S., Malik, V. K., Arya, S., Singh, K., Mahanta, S., & Bishnoi, D. K. (2024).** Valorisation of agri-food waste for bioactive compounds: Recent trends and future sustainable challenges. Molecules, 29(9), 2055. https://doi.org/10.3390/molecules29092055

Les annexes

Annexe 01: Pourcentages d'inhibition du DPPH

Tableau 01 : Résultats des pourcentages d'inhibition du DPPH par les extraits**.**

Extrait	Concentration (µg/ml)	Pourcentage d'inhibition
OS	400	93,68
	200	89,96
	100	72,09
OM	400	92,89
	200	93,24
	100	46,46
MM	400	3,82
	200	-4,82
	100	-9,30
MS	400	4,43
	200	3,08
	100	-6,05
CM	400	26,16
	200	11,56
	100	8,59
CS	400	-1,95
	200	-8,85
	100	-19,31

Annexe 02 : Courbes de régression de l'activité antioxydante qui ont servi au calcul de l'IC 50.

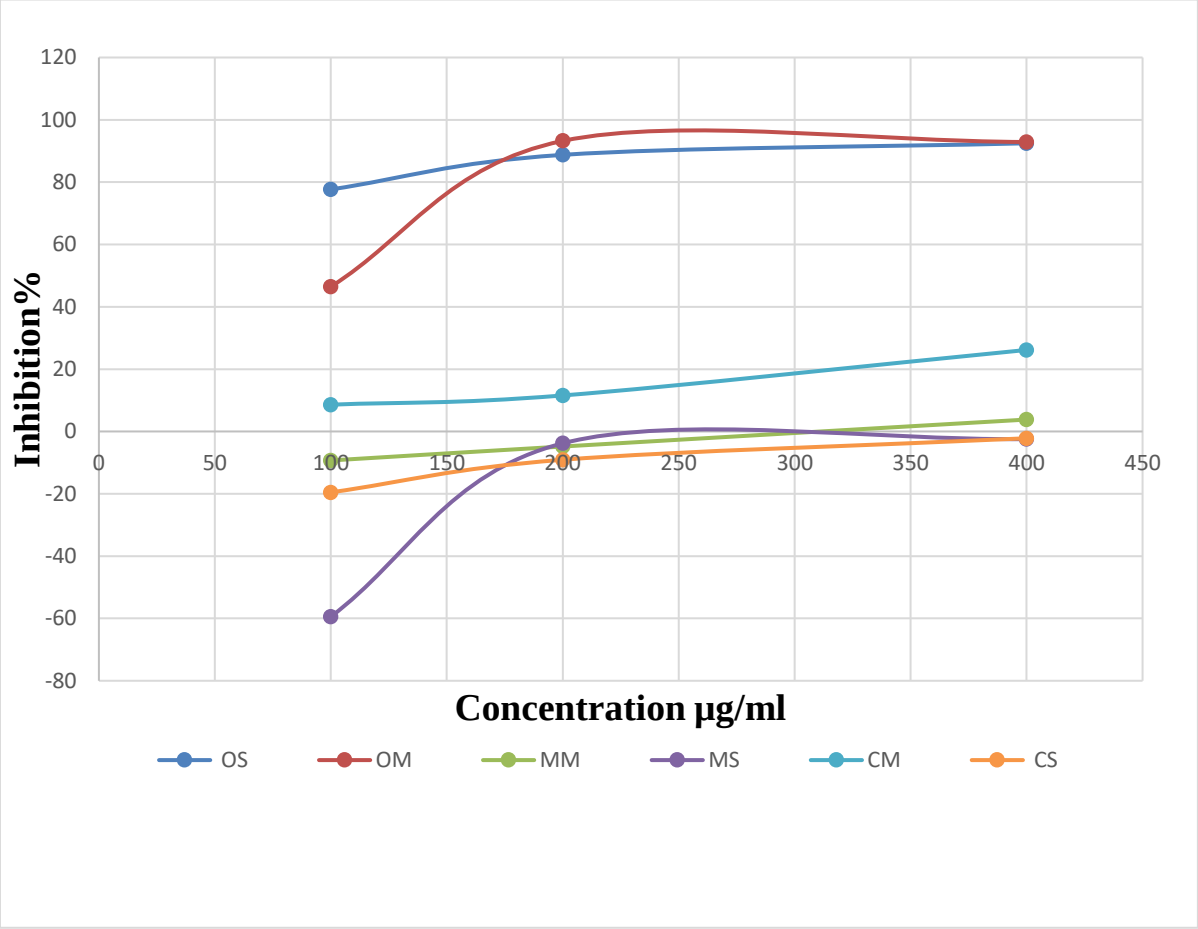


Figure 01 : Courbes de l'activité antioxydante DPPH des extraits .

Annexe 03: Figures des résultats de l'activité antibacterienne.

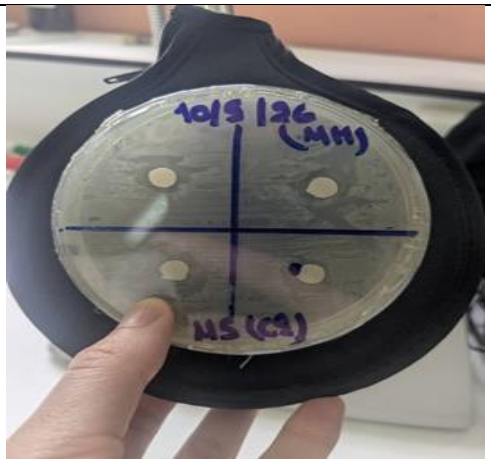


Figure 02 : Résultat MS sur les bactéries de la sauce tomate.

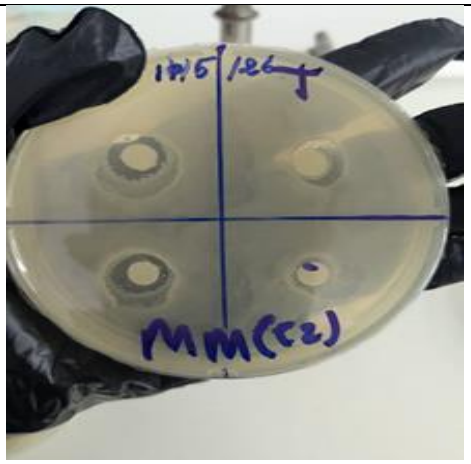
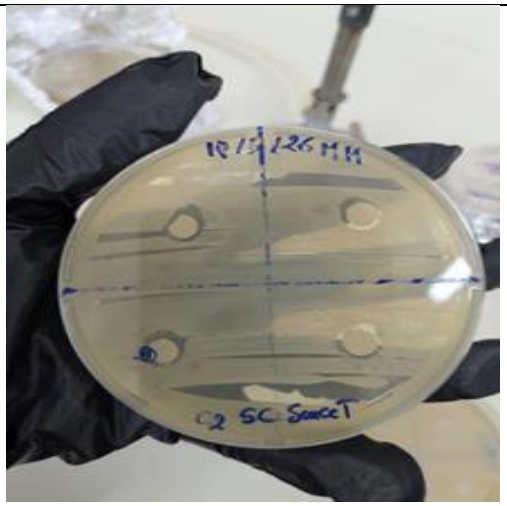
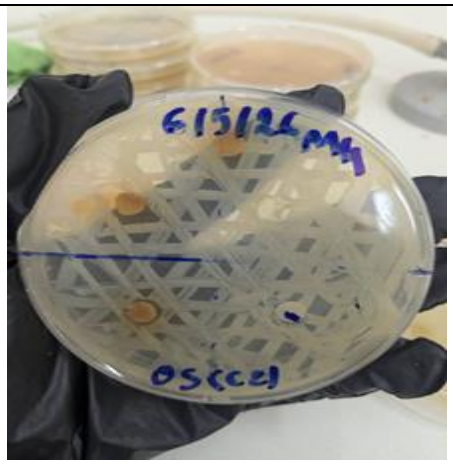


Figure 03 : Résultat MM sur les bactéries de la sauce tomate.

	
Figure 04 : Résultat CS sur les bactéries de la sauce tomate.	**Figure 05 :** Résultat CM sur les bactéries de la sauce tomate.

	
Figure 06 : Résultat OS sur les bactéries de la sauce tomate.	**Figure 07 :** Résultat OM sur les bactéries de la sauce tomate.

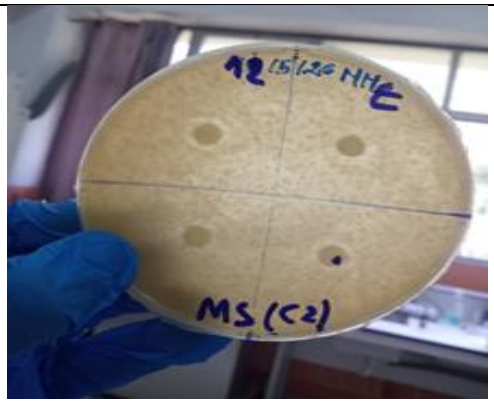


Figure 08 : Résultat MS sur les bactéries de l'escalope.

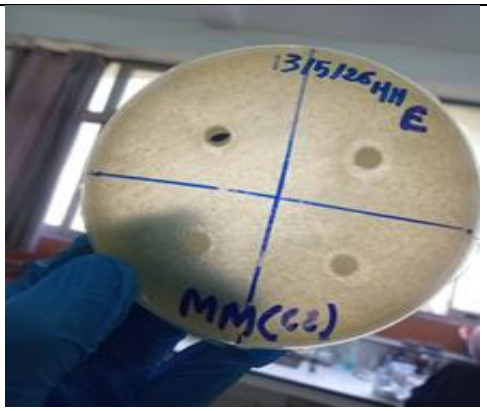


Figure 09: Résultat MM sur les bactéries de l'escalope.

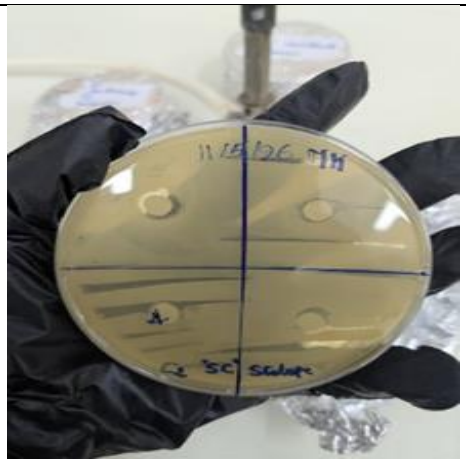


Figure 10 : Résultat CS sur les bactéries de l'escalope.

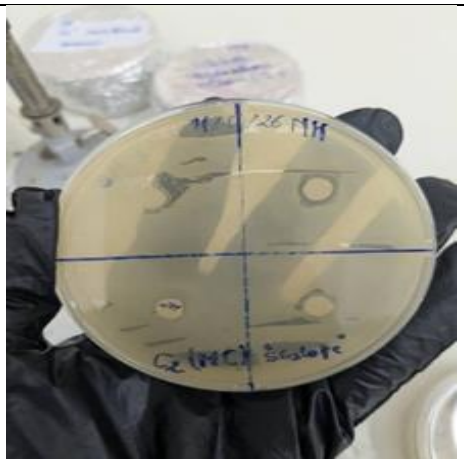


Figure 11 : Résultat CM sur les bactéries de l'escalope.

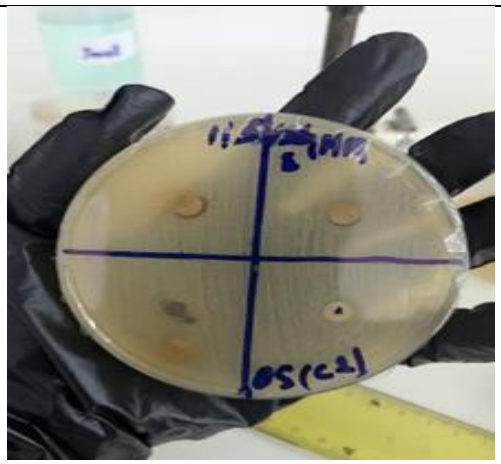


Figure 12 : Résultat OS sur les bactéries de l'escalope.

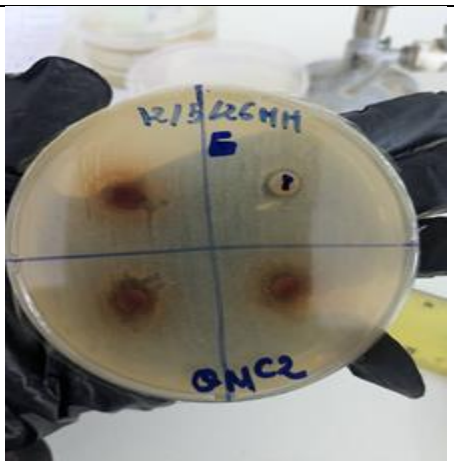


Figure 13 : Résultat OM sur les bactéries de l'escalope.

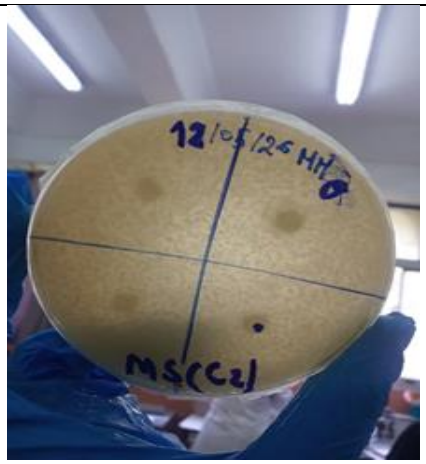


Figure 14 : Résultat MS sur les bactéries du jus d'orange.

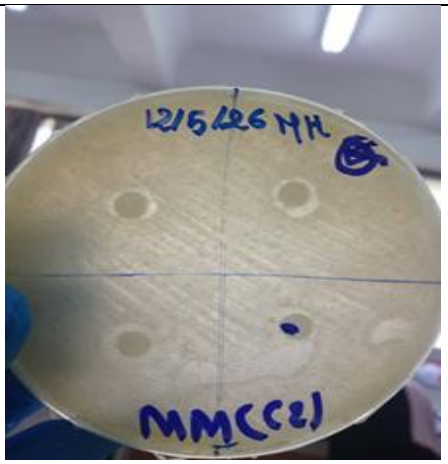


Figure 15 : Résultat MM sur les bactéries du jus d'orange.

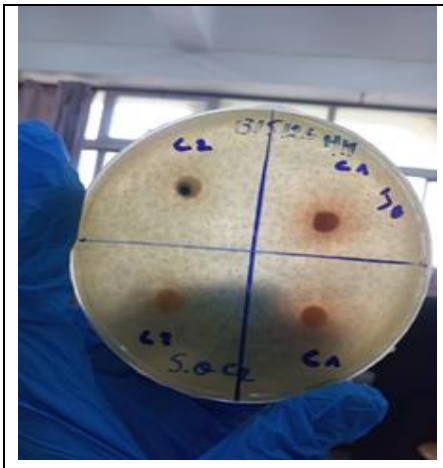


Figure 16 : Résultat OS sur les bactéries du jus d'orange.



Figure 17 : Résultat OM sur les bactéries du jus d'orange.

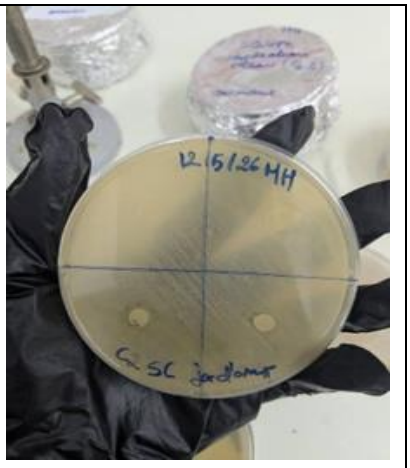


Figure 18 : Résultat CS sur les bactéries du jus d'orange.

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - Skikda
Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Skikda le 21/07/2026

-Autorisation de dépôt du mémoire de Master-

Je soussigné ..... OUAHIANE Sabrina .....

Grade : MCA

Encadrant(e) du travail de Master intitulé :

« Valorisation des déchets Agro-alimentaires .....

.....

..... »

Présenté et soutenu publiquement par les étudiants :

1- Amour Sidi Ahmed

2- Batiche Chaima

3- Bouzeliga Asma .

4- .....

Spécialité : Biochimie appliquée .....

Certifie par la présente que les étudiants ont pris en considération l'ensemble des remarques, modifications et corrections formulées par les membres du jury lors de la soutenance qui s'est déroulée le 23/06/2026.

En conséquence, le manuscrit final étant désormais conforme aux exigences scientifiques et académiques requises, j'autorise les étudiants suscités à procéder au dépôt officiel du mémoire auprès de la bibliothèque.

Emargement de l'encadrant