République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الابراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الكون والأرض
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master II

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire

Thème :

Valorisation des déchets agroalimentaires : Utilisation des feuilles d'olivier dans l'élaboration d'un emballage biodégradable.

Réalisé par : Boudjellida Miyyada
Santoudji Lynda

Soutenue 12/06/2025, devant le jury :

Président	Mr BELHADJ Mohamed Tayeb	MAA	Université BBA
Encadrant	Mr TOUATI Noureddine	MCA	Université BBA
Co-Encadrant	Mr Makhoukh Nasereddine	Docteur	Université BBA
Examinateur	Mme BENBOUGUERRA Nawel	MCB	Université BBA

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Nous aimerons en premier lieu remercier ALLAH de nous avoir donné la volonté et le Courage pour la réalisation de ce modeste travail.

Toute notre gratitude à Monsieur TOUATI Noureddine.

On tient à remercier profondément Monsieur MEKHOUKH. N pour ses aides et ses précieux conseils.

Nous tenons à remercier Mr BELHADJ M.T d'avoir accepté de présider le jury et Mme BENBOUGUERRA N. d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail.

Nous remercions spécialement, du fond du cœur tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, pour leur soutien incroyable, leur patience et leur présence affectueuse à nos côtés jusqu'à la dernière minute.

Enfin on n'oublie pas de dire merci à notre famille car sans eux ce travail n'aurait pas vu le jour.

Dédicaces

A ce qu'est toujours mon meilleur exemple dans la vie : ***mon père Mohamed Abarkane****, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il n'a cesséd'affrir,*

Au symbole de douceur, de tendresse, d'amour et affection, et grâce au sens de devoir et aux sacrifices immenses qu'elle a consentis : ***ma mère Hassina Ben idir****, ma cour et mes et mes yeux… j'ai pu arriver à réaliser ce travail,*

A mes chères sœurs et à leurs maris ***: Akila, Nadia, Sakina****….*

Amon frère ***Rachid*** *et à sa femme….*

A mon soutien, mes frères ***Zahir, Oussama****….*

A mes princesses et princes, ***Saïd, Hadjila, Aya, Riyam, Saifeddin, Ranim, Rayen***

A ma vie, à qui donne à moi l'aide morale, à qui est avec moi dans tous les moments, à mon fiancé à celui qui est toujours dans mes pensées, mon cours ***Nouaman***

A ma très chère binôme « Miyyada »

Lynda

Dédicaces

A ma chère mère Zebiri Saliha

Les mots me manquent pour exprimer toute ma reconnaissance pour

Tout ce que Fait pour mon bonheur et ma réussite. Que Dieu te protège et

T'accorde-le bonheur, la santé et la longue vie.

A mon cher Père Djamel Eddine

Nulle expression ne peut traduire le noble sentiment que j'ai à ton

Égard, pour l'amour que tu m'as toujours porté, pour ta patience et

Ta générosité, Je te dédie ce travail en témoignage de ma grande reconnaissance.

A mes frères

A mon chère frère ***Abed El Karim****, merci pour tout ce que tu fais pour moi,*

Sans oublie mes frères ***Soufiane, Nabil, Toufik*** *et mon chère* ***Zakaria***

A ma très chère binôme « Lynda »

Miyyada

Table des matières

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

I. Feuilles d'olivier 3

I.1. Généralités sur l'olivier 3

I.2. Généralités sur les feuilles d'olivier 3

I.3. Description 4

I.4. Composition globale 4

I.5. Composés bioactifs 5

I.6. Propriétés thérapeutiques des feuilles d'olivier 6

I.6.1 Activité antioxydante 6

I.6.2 Activité antibactérienne 6

I.7. Les voies de valorisation des feuilles d'olivier 7

II. Emballage et Emballage biodégradable 7

II.1 Emballage 7

II.1.1 L'histoire de l'emballage 7

II.1.2 Définition 8

II.1.3 Plastique 9

II.2 Emballage biodégradable 9

I. Matériels et méthodes 11

I.1. Etude physico-phytochimique et l'activité microbiologique des feuilles d'olivier 11

I.1.1. Zone d'échantillonnage 11

I.1.2. Préparation de la matière végétale 11

I.1.3. Analyse physicochimique 12

I.1.4. Analyse phytochimique 13

I.1.5. Evaluation de l'activité antioxydante 16

I.1.6. Activité antibactérienne 18

I.2. Elaboration d'un emballage biodégradable 20

I.2.1. Ingrédients et réactifs 20

I.2.2. Mode opératoire 20

II. Résultats et discussion 21

II.1. Etude physico-phytochimique et l'activité microbiologique des feuilles d'olivier 21

II.1.1. Analyse physicochimique 21
II.1.2. Rendement de l'extraction 22
II.1.3. Etude phytochimique 22
II.1.4. Activité antioxydante 24
II.1.5. Activité antimicrobienne 26
II.2. Elaboration d'emballage biodégradable 28
Conclusion 29
Références bibliographiques 30
Annexes 34
Résumé 37

Liste des figures

Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'échantillonnage (Google maps) 11
Figure 2 : photographie de la poudre des feuilles d'olivier en cours de tamisage 12
Figure 3 : Extrait éthanolique des feuilles d'olivier..... 14
Figure 4 : Activité antioxydante total TAC..... 24
Figure 5 : Piégeage du radical libre (DPPH)..... 25
Figure 6 : Pouvoir réducteur de fer ferrique..... 26
Figure 7 : Photographie de l'activité antimicrobienne contre *E. coli* et *Pseudomonas aeruginosa.* 27
Figure 8 : Photographie de l'activité antimicrobienne contre *Salmonella enteritidis* et *Micrococcineae*..... 28
Figure 9 : Photographie de l'activité antimicrobienne *Staphylococcus aureus.*..... 28
Figure 10 : Emballage biodégradable à base des feuilles d'olivier(bioplastique)..... 28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Histoire de l'emballage depuis la révolution industrielle 7
Tableau 2 : Composition chimique globale des feuilles d'olivier (exprimé en g par 100g) 4
Tableau 3 : Composition des feuilles d'olivier en composés bioactifs 5
Tableau 4 : Souches bactériennes utilisée 18
Tableau 5 : Diamètre de la Zone d'inhibition des souches testées (en mm) 27

Liste des abréviations

ATCC : American type culture collection.

BHA : Butylhydroxyanisole.

BHT : Butylhydroxytoluène.

DMF : Diméthylformamide.

DPPH : 2,2-diphényl-1- picrylhydrazyl.

E ß-C : équivalent ß- carotène.

EAG : équivalent d'acide gallique.

FRAP : Potentiel antioxydant de réduction de fer ferrique.

IC50 : Concentration inhibitrice médiane.

Nd : valeur non déterminée.

PV : poudre végétale.

STs : sucres totaux.

TAC : Activités antioxydante totale.

Vit C : vitamine C.

Introduction

Introduction

L'olivier (*Olea europaea*), arbre emblématique du bassin méditerranéen, possède une longue histoire culturelle, sociale et économique remontant à l'Antiquité **(Liphschitz *et al., 1991*).** Il est particulièrement bien adapté aux conditions climatiques de cette région, avec une longévité pouvant atteindre 1000 ans. Environ 95 % de la production mondiale d'olives est concentrée autour du bassin méditerranéen **(Claridge & Walton, 1992),** ce qui en fait une ressource agricole stratégique.

Parmi les sous-produits de cette culture, les feuilles d'olivier sont générées en grandes quantités, notamment lors de la récolte et du tri des olives. Elles représentent environ 10 % de la masse totale des olives récoltées **(Aouidi, 2012).** Longtemps considérées comme des déchets, ces feuilles suscitent aujourd'hui un intérêt croissant en tant que matière première valorisable. Elles sont riches en composés phénoliques, tels que l'oleuropéine, qui leur confèrent des propriétés antimicrobiennes, rendant leur utilisation intéressante dans des applications comme la fabrication de films biodégradables **(Martiny *et al., 2020*).**

Face à l'augmentation alarmante de la pollution plastique, notamment due aux emballages alimentaires, l'industrie s'oriente vers des solutions plus durables. Entre 1964 et 2014, la production mondiale de plastique a été multipliée par vingt, et les prévisions annoncent un doublement d'ici les vingt prochaines années **(Guillard & Gontard, 2017).** Ces déchets plastiques, qu'ils soient flottants, aériens ou solides, ont un impact environnemental majeur et menacent la santé humaine et animale.

Dans ce contexte, l'emballage biodégradable représente une alternative prometteuse. Il s'agit de matériaux capables de se décomposer naturellement sous l'action des micro-organismes, réduisant ainsi leur impact environnemental. Ces matériaux sont souvent issus de ressources renouvelables comme l'amidon, la cellulose ou les protéines **(Guillard & Gontard, 2017).** Les bioplastiques, définis comme contenant au moins 40 % de composants d'origine végétale ou biodégradables, sont convertibles en CO_2 et H_2O en conditions aérobies, ou en CH_4 et H_2O en conditions anaérobies **(Douafer & Djidel, 2019 ; Kerouani, 2019).**

Dans cette logique d'économie circulaire, l'intégration des feuilles d'olivier dans la fabrication de films biodégradables apparaît comme une solution à la fois écologique innovante, valorisant un sous-produit agricole tout en répondant aux défis environnementaux actuels.

L'objectif de ce travail est d'étudier les propriétés physico-phytochimiques ainsi que l'activité microbiologique des feuilles d'olivier, en vue de l'élaboration d'un film biodégradable à base des feuilles d'olivier. Pour cela, nous avons utilisé des matériaux végétaux naturels, facilement biodégradables et décomposables.

Ce mémoire est structuré en deux grandes parties. La première, bibliographique, comprend deux chapitres : le premier est consacré à l'étude botanique de l'olivier et de ses feuilles, tandis que le second porte sur l'étude des emballages alimentaires biodégradables. La seconde partie, expérimentale, comprend également deux chapitres : le premier décrit la méthodologie adoptée ainsi que le matériel utilisé ; le second présente les résultats obtenus et leur discussion. Enfin, une conclusion générale vient clore ce travail en résumant l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus, tout en proposant quelques perspectives pour de futures recherches.

Partie bibliographique

I. Feuilles d'olivier

I.1. Généralités sur l'olivier

L'olivier, un arbre ancien et prestigieux, offre des fruits aux bienfaits diététiques et thérapeutiques indéniables. Il fait partie des plus anciennes espèces d'arbres cultivées dans le monde, avec une histoire très ancienne, sa culture remontant à l'Antiquité. Cet arbre est l'un des symboles les plus représentatifs de la région méditerranéenne et joue un rôle crucial sur les plans nutritionnel, social, culturel et économique pour les populations de cette région où il est largement présent **(Liphschitz et *al*., 1991).** Bien que l'olivier est un arbre caractéristique de la région méditerranéenne, il a la capacité de s'adapter à des conditions environnementales extrêmes telles que la chaleur et la sécheresse. Cet arbre prospère dans un sol bien aéré, mais il peut également s'acclimater à différents types de sols (**Boulkroune, 2018).**

Sa longévité est remarquable, il peut atteindre les 1000 ans. Il convient parfaitement au climat méditerranéen. Effectivement, une grande partie des terres mondiales consacrées à cette culture est située dans le bassin méditerranéen, où se concentre 95 % de la production et 85 % de la consommation mondiale (**Claridge & Walton, 1992).**

La classification botanique de l'olivier selon **Cronquist (1981)** est la suivante :

Règne :	*Plantae*
Sous-règne :	*Tracheobionta*
Division :	*Magnoliophyta*
Classe :	*Magnoliopsida*
Sous-classe :	*Asteridae*
Ordre :	*Scrophulariales*
Famille :	*Oleaceae*
Genre :	*Olea europaea*
Espèce :	*europaea*

I.2. Généralités sur les feuilles d'olivier

Les feuilles d'olivier, représentant l'un des résidus issus de l'industrie oléicole, peuvent constituer jusqu'à 10% du poids total des olives traitées. Elles ont toujours servi

à la nutrition animale, cependant elles peuvent également être exploitées dans d'autres domaines comme les cosmétiques, les industries thérapeutiques et alimentaires. Dans les temps anciens, on utilisait des feuilles pour combattre diverses infections et désinfecter les plaies cutanées. Effectivement, des recherches récentes indiquent que les feuilles d'olivier pourraient servir de source naturelle de composés bioactifs, notamment des composés phénoliques qui possèdent diverses activités biologiques (antibactérienne, antioxydante, antivirale) et thérapeutiques. Toutefois, ces dernières années, des extraits de feuille d'olivier ont fait leur apparition sur le marché **Bouaziz, M. (2003).**

I.3. Description

Les feuilles d'olivier présentent une forme allongée et ovale, persistante. Elles sont maintenues par un court pétiole rétréci à la base et mucorinées à l'apex. Les bords de la feuille sont repliés sur toute leur longueur, mesurant entre 4-10 cm en longueur et 1-3cm en largeur. La face inférieure est recouverte de pubescence le long des nervures qui sont d'une couleur argentée, tandis que la face supérieure est d'un vert foncé brillant et lisse **Bruneton, J. (2016).** Sans odeur, amères et acerbes, elles ont une durée de vie moyenne de trois ans avant de jaunir et tomber. En été principalement, on estime la production de feuilles d'olive à environ 25 kilogrammes par arbre **Boudhrioua*, et al., (2009).***

I.4. Composition globale

Les feuilles d'olivier fraîches se distinguent par une teneur en matière sèche d'environ 50%. Le **tableau I** présente sa composition chimique globale telle qu'indiquée par divers auteurs. La composition chimique des feuilles est influencée par plusieurs facteurs : le type de variété, les conditions météorologiques, le moment de la récolte et l'âge des plantations **(Nefzaoui, 1995)**.

Tableau I : Composition chimique globale des feuilles d'olivier (exprimé en g par 100g) selon plusieurs auteurs

Composition en (%)	Boudhrioua et al., 2009	Erbay et Icier, 2009	Martin-Garcia et al., 2006	Garcia-Gomez et al., 2003

Eau	46,2-49,7 a	49,8 a	41,4 a	Nd
Protéines	5,0-7,6 a	5,’ a	7,0 b	nd
Lipides	1,0-1,3 a	6,5 a	3,2 b	6,2 b
Minéraux	2,8-4,4 a	3,6 a	16,2 b	26,6 b
Carbohydrates	37,1-42,5 a	27,5 a	nd	nd
Fibres brutes	Nd	7,0 a	nd	nd
Cellulose	Nd	nd	nd	19,3 b
Hémicellulose	Nd	nd	nd	25,4 b
Lignin	Nd	nd	nd	30,4 b
Polyphénols totaux	1,3-2,3 b	nd	2,5 b	nd
Tannins solubles	Nd	nd	nd	nd
Tannins condensés	Nd	nd	0,8 b	nd

a *correspond aux valeurs exprimées par rapport à la masse fraiche des feuilles d’olivier.*
b *correspond aux valeurs exprimées par rapport à la masse sèche des feuilles d’olivier.*
nd *valeur non déterminée.*

I.5. Composés bioactifs

La composition des feuilles d'olivier en composés bioactifs varie en fonction de leur provenance, des conditions climatiques, du procédé de séchage, du temps d'extraction et des différents solvants utilisés ainsi que des conditions de conservation. **(Altiok .2010).**

Les feuilles d’olivier se distingue par sa forte teneur en polyphénols totaux. Le **tableau II** montre les principaux composés dans les feuilles d’olivier.

Tableau II : Composition des feuilles d’olivier en composés bioactifs (Gracia et *al*.2008)

Famille chimique	Constituants chimique
Acide phénolique	Acide caféique Acide cinameique Acide p coumarique Verbascosid Apigenine

	Hesperidine Quercetine Acide oléanolique Acide masilinique Acide hydroxy-oléanolique Ligustroside aglycone Oleuropeine (Oleuropéoside) Oléoside, dimethylester oléoside 11-déméthyl-oleuropéoside *Oleuropeine aglycone*

I.6. Propriétés thérapeutiques des feuilles d'olivier

Les feuilles d'olivier présentent plusieurs activités biologiques dont on peut citer :

I.6.1 Activité antioxydante

Les feuilles d'olivier ont une grande aptitude à capturer les radicaux libres en comparaison aux autres parties de l'arbre d'olivier. Les composés phénoliques présents dans les feuilles d'olivier, tels que l'oleuropéine et l'hydroxytyrosol, possèdent une puissante capacité antioxydantes. Ils ont la capacité de neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les espèces réactives de l'azote, offrant ainsi une protection à l'ADN contre les dommages **(De la Puerta *et al.2001*)**. Les groupes hydroxyles présents dans les flavonoïdes des feuilles d'olivier confèrent également une activité antioxydante. Cette action est aussi attribuée à la présence de triterpènes.

I.6.2 Activité antibactérienne

Les extraits de feuilles d'olive présentent une activité antimicrobienne relativement élevée contre *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* et *Pseudomonas aeruginosa*. **CHEDJARA, et al., (2020).**

L'efficacité des composés phénoliques extraits des feuilles d'olivier a aussi été examinée contre divers microorganismes responsables d'infections intestinales et respiratoires chez l'homme, notamment des bactéries à Gram positif et gram négatif ainsi que des champignons **(Sudjana *et al., 2009).***

I.7. Les voies de valorisation des feuilles d'olivier

La biomasse des feuilles d'olivier, abondante dans les pays méditerranéens, est une ressource précieuse qui a été utilisée pour améliorer la rentabilité du secteur de l'huile d'olive. Historiquement, les racines de feuilles d'olivier étaient utilisées pour l'alimentation animale et la phytothérapie traditionnelle pour traiter des maladies comme le paludisme et l'hypertension. La phytothérapie moderne inclut désormais des compléments alimentaires à base de feuilles d'olivier, disponibles sous forme séchée ou en poudre. Avec les avancées technologiques et les connaissances, l'utilisation des feuilles d'olivier a évolué et s'est diversifiée, incluant l'extraction de composés comme le mannitol, les stéroïdes et les phénoliques, des propriétés cardioprotectrices et antivirales, ainsi que leur utilisation dans les industries cosmétiques et alimentaires.

II. Emballage et Emballage biodégradable

II.1 Emballage

II.1.1 L'histoire de l'emballage

Depuis les temps anciens, l'homme consommait la nourriture sur place où elle était disponible. Ce qu'ils utilisaient était fabriqué ou pêché par des familles et des villages. Indépendants, ils requéraient peu d'emballage, tant pour leur entreposage que pour leur déplacement. Quand il fallait des récipients, la nature offrait des gourdes, des coquillages et des feuilles. Des contenants ont ensuite été conçus en utilisant des matériaux naturels comme des troncs évidés, des brins d'herbe tressés et des parties d'animaux. L'émergence de minerais et de substances chimiques a conduit au développement des métaux et de la poterie, pavant ainsi la voie vers d'autres types d'emballages. **(Berger, 2003).**

Tableau III : Histoire de l'emballage depuis la révolution industrielle (Ghali, 2017).

Dates	Repères
1809	Nicolas Appert découvre le procédé de conservation par la chaleur des denrées alimentaires contenues dans des bocaux en verre.
1810	Le procédé est appliqué à des boîtes en fer blanc (boîtes de conserve).
1858	L'Américain Mason crée le couvercle métallique à vis pour les pots en verre.
1871	Jones (Etats-Unis) invente le carton ondulé.
1883	Stilwell (Etats-Unis) commercialise les premiers sacs en papier

1885	Painter (Etats-Unis) dépose le brevet de la première capsule de bouteille jetable.
1934	L'American Can Company commercialise les premières « boîtes boissons » ancêtres des canettes pour la brasserie américaine Kru eger.
1951	Invention en Suède de l'ancêtre du Tetrapak : emballage tétraédrique jetable en papier plastifié.
1969	Après Lesieur en 1960, Vittel commercialise ses premières maxibouteilles rondes en PVC (polychlorure de vinyle).
1976	Pepsi-Cola vend ses premières bouteilles en PET (polyethylene).
2000	Apparition du Doy pack : sachet en plastique souple tenant debout.
2005	Le fabricant Tetrapak lance le Tetrapak Wedge Aseptic Clear : emballage transparent.

II.1.2 Définition

La directive européenne 94/62/CE (Commission Européenne 1994) définit le concept d'« Emballage » comme suit :« Tout produit constitué de matériaux de toute nature, destiné à contenir et à protéger des marchandises données, allant des matières premières aux produit finis, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation. Tous les articles à jeter (usage unique) utilisés aux mêmes fins doivent être considéré comme des emballages. » **(Debeaufort *et al.,2022*)**

Selon la définition de l'Institut international de l'emballage (présente dans la Glossary of Packaging Terms, 1988), l'emballage est considéré comme : le conditionnement de produits, d'articles ou de paquets dans une poche, un sac, une boite, un gobelet, une barquette, une canette, une bouteille ou tout autre récipient pour remplir une ou plusieurs des fonctions suivantes : contenance, protection, préservation, information, usage et performance **(Robertson, 2013).**

On trouve également d'autres définitions de l'emballage telles que : comprennent un système qui coordonne la préparation des marchandises pour le transport, la distribution, le stockage, la vente au détail et l'utilisation finale afin de garantir leur livraison au consommateur dans des conditions sûres et saines. Cela inclut également une fonction technicocommerciale afin d'optimiser les coûts de livraison tout en maximisant les profits » **(DEBEAUFORT *et al.,2022*).**

II.1.3 Plastique

Les plastiques sont des produits artificiels créés à partir du pétrole, du carbone ou de gaz naturel. **(Mellal & Chaanbi, 2022).**

Dans le secteur industriel, on emploie le terme « plastique » pour décrire les substances et les matériaux (matière premières ou produits finis) à base de polymères organiques synthétiques qui peuvent devenir fluides et se preter au moulage. Dans le secteur technologique, on désigne souvent sous le terme de matière plastique, un mélange comportant un polymère et divers ingrédients transformés en produits finis. **(Flora, 2023).**

Les plastiques et les microplastiques sont libérés dans l'environnement au cours de leur cycle de vie. Dans la mer, 8 à 15 millions de tonnes de plastiques provenant des continents arrivent dans l'océan chaque année, avec environ 5 250 milliards de particules flottant à la surface. Dans le sol, les plastiques s'accumulent à la surface et peuvent être inhalés par les organismes vivants. Dans l'air, les plastiques pénètrent dans le système atmosphérique par diverses voies, y compris la combustion, l'explosion éolienne, la poussière urbaine et les déchets diffus. La plupart des plastiques dans l'atmosphère appartiennent aux tailles micro et nano, mais des particules plus grandes peuvent être suspendues.

II.2 Emballage biodégradable

À la question de savoir ce qu’est un emballage biodégradable ? La plupart de nos enquêtés ont donné approximativement cette définition : « c’est un emballage qui peut être détruit facilement par des microorganismes (bactéries ou champignons) dans l’eau, le dioxyde de carbone et certains biomatériaux ». C’est donc un « emballage qui peut être dégradé par des micro-organismes vivant dans le milieu naturel, tels que les bactéries, les champignons et les algues.

Le produit final de cette décomposition peut être de l'eau, du CO2 ou du méthane. Les substances biodégradables peuvent provenir de sources naturelles, comme le bois, le liège, le lin ou le coton, mais aussi des plastiques en fonction de leur composition synthétique ou végétale. Il est donc crucial de préciser que l'emballage biodégradable est celui qui se dégrade rapidement lorsqu'il est exposé à l'air ou à l'eau**. (Boubakary, 2018).**

Les emballages biodégradables produits à partir de matériaux renouvelables, voire de déchets agricoles, dont la fabrication génère beaucoup moins de CO2 et qui sont compostables, jouent un rôle crucial dans le développement durable. En effet, de

nombreux théoriciens et professionnels commencent à s'accorder sur l'importance capitale des emballages biodégradables pour le développement durable, soulignant leur rôle clé dans la diminution de l'usage de combustibles tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel **(Boubakary, 2018).**

Durant les deux dernières décennies, une multitude de plastiques biosourcés et/ou biodégradables ont été lancés sur le marché des matériaux d'emballage, dans l'intention principale de remplacer les plastiques dérivés du pétrole. Le défi très attendu de la recherche agroalimentaire consiste à remplacer les matériaux pétrochimiques par des matériaux biodégradables et provenant de ressources renouvelables non alimentaires, comme les déchets issus des industries agroalimentaires. Certains chercheurs s'efforcent actuellement d'y parvenir. **(Gontard *et al., 2017*).**

Le développement des bioplastiques n'en est qu'à ses débuts ; ils représentent actuellement environ 5 à 10 % du marché actuel du plastique, soit environ 50 000 tonnes en Europe. Les pays européens les plus consommateurs de bioplastiques sont la France, l'Allemagne, l'Angleterre, les Pays-Bas et l'Italie, mais d'autres pays comme la Belgique, l'Autriche, l'Espagne et la Suisse vont les utiliser pour des applications spécifiques. Leur principal domaine d'application concerne les films d'emballage pour les produits alimentaires, les films en vrac pour le transport et les services. **(Siracusa *et al.,2008*).**

De plus, ce genre d'emballage, étant compostable, offre la possibilité de convertir les déchets en compost. De plus, ils minimisent non seulement l'empreinte de carbone et l'effet sur l'environnement, mais ils apportent également des avantages une fois leur but atteint, car les matériaux d'emballage sont biodégradables. De plus, ces emballages écologiques laissent une image positive pour les entreprises, puisqu'ils démontrent leur préoccupation pour l'environnement et leur sens des responsabilités. Finalement, ces emballages contribuent à diminuer les problèmes de réchauffement climatique et d'autres enjeux écologiques. **(Mellal & Chaanbi, 2022).**

Partie pratique

I. Matériels et méthodes

I.1. Etude physico-phytochimique et l'activité microbiologique des feuilles d'olivier

I.1.1. Zone d'échantillonnage

Les feuilles d'olive de type Aberkane sont récoltées durant le mois de février 2025 dans la région de SIDI IDIR (36.38403207953925, 4.726986832585171), commune EL Main, Wilaya de Bordj Bou Arreridj, Algérie. **(Figure 1).**

Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'échantillonnage (Google maps)

I.1.2. Préparation de la matière végétale

Les feuilles utilisées sont de la variété Aberkane, de forme Elliptique, de couleur vert-bleu, de longueur 6,7 cm, de largeur 1,8 cm et de longueur de pétiole 0,23 cm. Ces feuilles sont séchées à l'ombre et à l'abri de la lumière pendant 10 jours suivi d'un deuxième séchage à l'étuve à 40°C pendant 24h. Après le séchage, les échantillons secs obtenues ont été broyés à l'aide d'un broyeur Électrique de type IKA WERK STAUFEN jusqu'à l'obtention d'une poudre très fine. Le tamisage de la poudre a été effectué à l'aide un tamis de 0.2 µm **(Figure 2)**.

Figure 2 : la poudre des feuilles d'olivier

I.1.3. Analyse physicochimique

I.1.3.1. Détermination du taux d'humidité

L'évaluation du taux d'humidité de la poudre végétale (PV) sèche issue des plantes médicinales permet de confirmer leur adéquate conservation et un emballage approprié. D'après l'AOAC (2000), on dépose 2 g de la PV des feuilles dans un Bécher en verre déjà calibré, puis on le place dans une étuve à une température de 103 ± 2°C pour une durée de 24 heures. Une fois refroidi, on procède à la pesée du Bécher. On utilise l'équation suivante pour déterminer le taux d'humidité :

$$H\ (\%) = \frac{(M - M')}{M}\ x\ 100$$

Où ;

H (%) : Taux d'humidité exprimé en pourcentage ;

M : Masse de l'échantillon en poudre avant le séchage ;

M': Masse de l'échantillon en poudre après le séchage.

I.1.3.2. Détermination du taux de cendres

La quantification de la teneur en cendres est effectuée conformément à la méthode AOAC (2000). Une quantité de 2 g de poudre végétale est initialement soumis à une minéralisation sèche dans un creuset en céramique à l'aide d'un four à moufle et à une température de 550 °C pendant une durée de 6 heures jusqu'à obtention des cendres blanches. Une fois refroidi dans un dessiccateur, l'échantillon est pesé. Le résultat est calculé selon la formule suivante :

$$Tc\ (\%) = \frac{(M - M')}{E}\ x\ 100$$

Où :

Tc : Taux de cendres ; **M** : Masse finale (creuset + cendres totales) ; **M':** Masse du creuset vide ; **E** : Quantité de la poudre végétale utilisée.

I.1.3.3. Dosage des sucres totaux

La méthode de Dubois (1956) est utilisée pour déterminer les sucres totaux (STs). Sous l'effet de l'acide sulfurique concentré, l'ensemble des sucres se déshydrate et génère du furfural ainsi que des dérivés. Ces derniers, en présence de phénol, produisent un complexe coloré (jaune-orangé), dont la vivacité de la couleur est directement liée à la concentration en sucres totaux.

En résumé, 0,5 g de PV est incorporé à 20 ml d'acide sulfurique (0,5 N) dans un bécher et ensuite placé dans une étuve pour être chauffé pendant 3h à une température de 105°C. Versez le contenu du bécher dans une fiole volumétrique de 500 ml, puis complétez le volume à 500 ml avec de l'eau distillée et filtrez finalement. Par la suite, 1 ml du filtrat est mélangé avec 1 ml de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique concentré. Un spectrophotomètre est employé pour mesurer la densité optique des échantillons à 490 nm après une incubation de 30 minutes à 30C°. Le niveau de (STs) est déterminé par une courbe d'étalonnage du D-glucose. Les résultats sont présentés en mg équivalent de D-glucose/g d'PV puis converti en pourcentage (%).

I.1.4. Analyse phytochimique

I.1.4.1. Préparation de l'extrait

Pour l'obtention de l'extrait éthanolique des feuilles d'olivier, nous avons utilisé la technique de macération avec agitation. Cette méthode permet une bonne extraction des composés présents dans la poudre de feuilles.

Concrètement, 5 g de poudre ont été introduits dans un erlenmeyer, auxquels nous avons ajouté 75 ml d'éthanol à 70 % (composé de 70 ml d'éthanol et 30 ml d'eau). Le mélange a ensuite été placé sur un agitateur magnétique à température ambiante pendant 24 heures.

Après cette première macération, le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre (Whatman). Le filtrat obtenu a été conservé au réfrigérateur. Une seconde macération a été réalisée en ajoutant à la poudre déjà utilisée une quantité identique de solvant, dans les mêmes conditions que la première.

À l'issue de cette deuxième extraction, les deux filtrats ont été réunis, puis concentrés par évaporation à l'aide d'un rota-vapeur. Enfin, l'extrait brut a été séché dans une étuve à 40 °C pendant 24 heures (Figure 3).

Figure 3 : Extrait éthanolique des feuilles d'olivier

Le pourcentage de rendement de l'extraction est déterminé à l'aide de la formule ci –dessous :

$$R\ (\%) = \frac{M_1}{M_2}\ x\ 100$$

Où :

R (%) : le rendement d'extraction ; $\mathbf{M_1}$: la masse d'extrait sec ; $\mathbf{M_2}$: la masse de la prise d'essai de poudre.

I.1.4.2. Dosage des polyphénols

Le contenu total en phénols des extraits a été évalué selon le protocole décrit par (Singleton et Rossi,1965). On ajoute 1ml de réactif de Folin-Ciocalteau (dilué 10 fois) à 200 µl de chaque extrait ainsi qu'au standard avec des concentrations appropriées. Après 4min, 800 µl d'une solution de carbonate de sodium (7,5) sont ajoutés au mélange réactionnel. Après 2h d'incubation à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 760 nm. La concentration des polyphénols est calculée à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage établie avec de l'acide gallique (0-160 µg/ml) et est exprimée en µg équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG/mg d'extrait sec). Le témoin est préparé en mélangeant 0,2 ml d'éthanol avec 1ml du réactif de Folin-Ciocalteau et 0,8 ml de solution de carbonate de sodium. Une courbe d'étalonnage est réalisée dans les mêmes

conditions en utilisant de l'acide gallique comme standard afin de déterminer les concentrations en phénols totaux des extraits, exprimées en mg équivalent d'acide gallique/g d'extrait sec.

I.1.4.3. Dosage des flavonoïdes

L'évaluation de la quantité totale de flavonoïdes présents dans les extraits de feuilles d'olivier s'effectue suivant la méthode décrite par **Jain *et al., (2011*).**

Pour ce faire, on ajoute 1ml d'une solution de chlorure d'aluminium (AlCl3) à 2% à un volume de 1 ml d'extrait. Cette préparation est laissée à incuber pendant une heure à température ambiante. L'absorbance est mesurée à 430 nm en utilisant un spectrophotomètre. La même procédure est alors appliquée en remplaçant l'extrait par la quercitrine. Le témoin est réalisé en substituant l'extrait par le solvant d'extraction. Les concentrations des flavonoïdes présents dans l'extraction des feuilles d'olivier sont déterminées selon la courbe de calibration établie avec la quercitrine comme norme, et les résultats présentés en mg équivalent de quercitrine/g d'extrait sec.

I.1.4.4. Dosage des tannins

La méthode de dosage des tannins utilisée est celle de la vanilline en milieu acide, comme décrite par **Sun *et al., (1998)*. Oyedmi et Afolayan (2011).** On mélange 0,5 ml de la solution d'extrait (5mg /ml) avec 3ml de la solution de vanilline (4%) préalablement élaborée dans du méthanol et 1,5 ml d'HCl (37%). On agite soigneusement le mélange, puis on le laisse incuber à température ambiante pendant une demi-heure. On mesure l'absorbance à 500 nm. On prépare le blanc en combinant 0,5 ml d'éthanol avec 3ml de la vanilline à 4% et 1,5 ml d'HCl. Toutes les actions sont effectuées en trois exemplaires. La détermination de la concentration en tannins se fait en consultant la courbe d'étalonnage obtenue à partir de l'utilisation de la catéchine comme référence. Les résultats sont présentés en mg équivalent catéchine par gramme d'extrait.

I.1.4.5. Dosage des caroténoïdes

La méthode de **(Sass-Kiss *et al., 2005*)** est suivie, avec quelques modifications, pour l'extraction et le dosage des caroténoïdes dans les feuilles d'olivier. On commence par mélanger 50 mg de poudre avec 10 ml d'un mélange de solvants (hexane, acétone, éthanol). Après agitation durant 15 minutes, on centrifuge à 4500 tours/min durant la même durée. La phase supérieure (hexadique), où se trouvent les pigments, est récupérée et un second passage d'extraction est effectué sous les mêmes conditions.

Les deux phases hexadiques sont ensuite combinées et l'absorbance du mélange est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 450 nm. Les résultats sont présentés en microgrammes équivalents de β-carotène par milligramme de matière végétale sèche selon la courbe d'étalonnage du β-carotène (µg E β-C /mg MS).

I.1.5. Evaluation de l'activité antioxydante

I.1.5.1. Capacité antioxydant total

L'évaluation de la capacité antioxydant globale de l'extrait de feuilles d'olivier examinée s'effectue par le test du phosphomolybdène, conformément à la méthode décrite par **Prieto *et al., (1999)***. On combine 0,3ml de chaque échantillon ou standard avec 3ml du mélange qui comprend (0,6M d'acide sulfurique (3,265ml dans 100ml d'eau distillée),28Mm de phosphate de sodium (436mg/100ml d'eau distillée) et 4mm de molybdate d'ammonium (495mg/100ml d'eau distillée)). Par la suite, le mélange est incubé au bain-marie à 95°C pendant 90 min. après refroidissement, après quoi les absorbances sont déterminées à une longueur d'onde de 695nm. On exprime l'activité antioxydant en milligrammes d'équivalent acide ascorbique par gramme d'extrait sec (mg EAA/g d'ES). On se sert du BHA comme référence standard.

I.1.5.2. Activité antioxydant (DPPH)

L'efficacité de l'extrait de poudre de feuille d'olivier à neutraliser le radical libre stable 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) a été examinée en suivant la méthode exposée par **Boumerfegue *et al.,(2012).*** Une solution mère a été préparée en dissolvant le DPPH dans 100ml de méthanol. La solution éthanol de travail a ensuite été obtenue en diluant la solution mère de DPPH avec du méthanol afin d'atteindre une absorbance d'environ (0,98 ± 0,02) à 517 nm. On a introduit 100µl de chaque extrait à diverses concentrations dans 2,5 ml de solution méthanolique diluée de DPPH. On a brassé le mélange et on l'a gardé à l'abri de la lumière pendant une demi-heure. L'absorbance de la solution obtenue a été évaluée à 517nm. Un contrôle est en cours de préparation en substituant la solution d'extrait par du méthanol. Pour chaque échantillon, le blanc est préparé en combinant 2,5 ml de méthanol avec 100µl du solvant d'extraction. Chaque opération est effectuée en deux répétition. Le calcul du pourcentage de l'activité scavenger du radical DPPH• pour chaque des extraits se fait de la manière suivante :

$$\% \text{ de l'activité scavenger du radical DPPH} = \text{Ac} - \frac{(At - Ae)}{Ac}\ x\ 100$$

Où :

Ac : Absorbance du contrôle (c'est l'absorbance du blanc contenant seulement le DPPH) ; **At :** Absorbance du test (c'est l'absorbance de la solution de DPPH contenant l'extrait) ; **Ae :** Absorbance de blanc (c'est l'absorbance de la solution de l'extrait sans le DPPH).

Les résultats sont présentés sous forme d'IC50, la concentration nécessaire pour provoquer 50% d'activité antioxydant contre le radical DPPH°+, déterminée par régression linéaire des taux d'inhibition calculés à partir de différentes concentrations des extraits préparés.

I.1.5.3. Pouvoir réducteur du fer ferrique

C'est l'un des tests les plus couramment employés pour mesurer l'activité antioxydant d'un extrait. Cette approche repose sur l'évaluation de l'activité antioxydant basée sur le potentiel réducteur des composés phénoliques (principalement les flavonoïdes) présents dans diverses extractions. Ces composés, ayant une capacité de réduction, interagissent avec le ferricyanate de potassium (Fe^{3+}) pour produire du ferrocyanate de potassium (Fe^{2+}). Ce dernier, à son tour, réagit avec le chlorure ferrique pour former un complexe quantifiable à 700 nm **(Jayanthi et Lalitha,2011).**

La capacité réductrice des extraits de feuilles d'olivier est évaluée en suivant la méthode d'**Oyaïzu (1986)**. Chaque extrait à diverses concentrations est combiné avec 200µl de la solution et ajouté à 500µl de solution tampon phosphate (0,2 M ; pH = 6,6), suivi de l'ajout de 2,5 ml d'une solution de ferricyanate de potassium à 1% (K3Fe (CN)6) préparée dans l'eau distillée. On incube le mélange à une température de 50°C pendant une durée de 20 minutes, après quoi les tubes de test sont ôtés. On ajoute 2,5 ml de l'acide trichloroacétique à 10% (TCA), puis on procède à une centrifugation à 650 rpm pendant une durée de 10 minutes. Finalement, on incorpore 2,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml de FeCl3 à une concentration de 0,1% dans 500 µl du surnageant.

On mesure l'absorbance à 700 nm et les résultats sont indiqués en A0,5, qui représente la concentration correspondant à une absorbance de 0,5. Les valeurs de A0,5 sont déterminées par une régression linéaire des absorbances calculées en relation avec diverses concentrations des extraits préparés.

I.1.6. Activité antibactérienne

La technique couramment employée pour évaluer l'activité antimicrobienne des extraits de plantes est la méthode de diffusion sur disque. L'agent antimicrobien se propage dans la gélose et freine la germination et l'expansion du microorganisme testé, après quoi il faut procéder à des mesures du diamètre de la zone d'inhibition.

Préparation de l'inoculum :

Initialement, chaque espèce est inoculée sur une gélose nutritive pour obtenir une culture de 18 à 24 heures. Après avoir préparé l'inoculum, 4 à 5 colonies bactériennes soigneusement isolées sont dispersées dans un bouillon nutritif et incubées pendant une nuit. Suite à l'incubation, certaines gouttes de cette suspension sont mélangées avec de l'eau physiologique stérile, puis ajustées pour correspondre à la norme Mc Farland correspondant à une valeur de 0,5, ou une densité optique mesurée à 625 nm variant entre 0,08 et 0,10. Ceci correspond à une suspension contenante approximativement 108 unités formant colonies par millilitre pour les bactéries.

Mode opératoire : L'activité antimicrobienne de l'extrait de feuille d'olivier est évaluée in vitro par la technique de diffusion (méthode des puits) en milieux solide.

Souches bactériennes utilisées : Afin d'évaluer l'activité antibactérienne de l'extrait de feuilles d'olivier, nous avons choisi cinq souches bactériennes standards obtenues.

Tableau IV : Souches bactériennes utilisée

Souches bactériennes	*Escherichia coli* (ATCC 25922)	Gram (-)
	Pseudomonas aeruginosa (ATCC 27853)	Gram (-)
	Salmonella enteritidis	Gram (-)
	Staphylococcus aureus (ATCC 25923)	Gram (+)
	Micrococcineae	Gram (+)

On verse 30 ml de Gélose Nutritive dans des boîtes de Pétri aseptisées. Initialement, la suspension microbienne de culture bactérienne juvénile (10^8UFC/ml), On réalise des puits dans les plaques de Pétri à l'aide du bout d'une pipette Pasteur stérilisée. Pour restreindre la propagation de l'extrait sur la gélose, une goutte de gélose molle (7% Agar) est disposée au fond des puits. Puis, on ajoute de façon aseptique 80µl de chaque extrait préparé dans du diméthylformamide (DMF) à

diverses concentrations (64, 32, 16, 8 et 4 mg/0,5 ml DMF) dans chaque puits. **Mekhoukh, (2024).**

Suite à un refroidissement à 4°C pendant deux heures, les boîtes sont placées en incubation à 37°C pendant une journée pour accueillir les bactéries. Selon **Mrabet *et al. (2017),*** la gentamycine et le DMF sont respectivement utilisés comme référence positive et négative.

On obtient les résultats en évaluant le diamètre de la zone d'inhibition créée autour des puits avec un pied à coulisse électronique et en calculant la moyenne des trois essais réalisés **(Gulluce *et al., 2007).***

I.2. Elaboration d'un emballage biodégradable

I.2.1. Ingrédients et réactifs

Amidon (agent filmogène principal), j**us de citron** (ajuste le pH, a un effet antibactérien), v**inaigre** (acide acétique : agent de conservation et aide à la gélification), g**lycérine végétale** (plastifiant pour le rendre film souple), **eau distillée et extrait de feuilles d'olivier** (obtenu précédemment)

I.2.2. Mode opératoire

Dans un bécher, 15 mg d'extrait de feuilles d'olivier ont été solubilisés dans 100 ml d'eau distillée sous agitation magnétique. À cette solution, 25 g d'amidon préalablement tamisé (maillage standard) ont été ajoutés progressivement. Le mélange a été agité jusqu'à obtention d'un gel homogène. Par la suite, 15 ml d'acide acétique (vinaigre) et 15 ml de jus de citron (source naturelle d'acide citrique) ont été incorporés en tant qu'agents acidifiants, suivis de l'ajout de 15 ml de glycérine végétale, utilisée comme plastifiant. La formulation a été chauffée à basse température sous agitation constante afin de favoriser la gélification complète et l'activation des interactions polymériques. La solution visqueuse obtenue a ensuite été étalée de manière uniforme sur une plaque en verre à l'aide d'un applicateur et laissée à sécher à température ambiante (25 ± 2 °C) ou en étuve à basse température (40–45 °C). Le film formé présente une structure homogène, une bonne flexibilité mécanique, et est entièrement biodégradable.

II. Résultats et discussion

II.1. Etude physico-phytochimique et l'activité microbiologique des feuilles d'olivier

II.1.1. Analyse physicochimique

II.1.1.1. Taux d'humidité et taux de cendres :

On calcule et on rapporte le niveau d'humidité (H%) et de matière sèche (MS%) présents dans les feuilles d'olivier de variété Aberkane.

En ce qui concerne l'humidité, l'évaluation de cette dernière détermine le taux d'eau dans les plantes aromatiques et médicinales, présumant qu'elle est effectuée en vue de développer des techniques de préservation, conservation et d'améliorer leurs conditions de culture. Les résultats obtenus indiquent que l'humidité des feuilles d'olivier est de 6,59±0,38%. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par **Louala & Yahi (2022),** Qui indiquent une moyenne estimée de taux d'humidité des feuilles fraiches est de 43,61% de variété Aberkane de TAKRIT Bejaia.

En revanche, l'analyse du pourcentage de cendres indique la quantité totale de sels minéraux présente dans la poudre végétale. Selon la pharmacopée européenne, les normes exigent que le taux de cendres ne dépasse pas 14%**(Fattah,2019).** Le résultat obtenu indique que pourcentage de feuilles d'olivier de la variété Aberkane est 3,48±0,12%. Ce résultat est inférieur par rapport à ce de **Louala & Yahi (2022).** Qui ont rapporté un taux de cendres estimé à 4,22% de variété Aberkane de TAKRIT Bejaia, et sont inférieures à celle obtenu par **BEN BELAL & TEBBAKH (2020),** Qui indiquent un taux de cendre estimé de 5,51% de variété inconnu de Belghanem de wilaya de Ghardaïa. L'analyse des cendres indique la quantité globale de sels minéraux présents dans la poudre végétale. La partie organique se brule et on récupère la portion inorganique de l'échantillon. Une faible concentration en minéraux indique et justifie une forte présence de matière organique **(Ouldyerou *et al.*, *2020).***

II.1.1.2. Teneur en sucres totaux

Le résultat de dosage de teneur en sucres obtenu est résumé dans le tableau ci- dessus indique que les feuilles d'oliviers de variété Aberkane présenté le pourcentage de 19,40±1,50%. Ce résultat est inférieur par rapport à ce de **ERBAY et ICIER (2009)** qui indiquent une teneur en sucres de 27,5%. Ces résultats montrent que les feuilles d'oliviers sont

riches en sucres, ce qui peut permettre de considérer que les feuilles d'olivier étudiées comme une source importante en nutriments.

II.1.2. Rendement de l'extraction

La méthode de macération est utilisée pour l'extraction et la préparation de l'extrait éthanolique des feuilles d'olivier, permettent ainsi d'obtenir d'extrait concentré en différents composées biochimiques. Le rendement d'extraction des feuilles d'olivier de variété Aberkane est déterminé à **R%= 23,56**. Ce résultat est inférieur par rapport à ce de **Louala & Yahi (2022).** Qui on a rapporté un rendement d'extraction pour la variété Aberkane environ (41%). Et d'après **OURAK & BENBRAHIM (2019).** Qui noté que l'extrait par macération avec en rendement de 20,84% ce sont inférieure à nos résultats ; (20,84% < 24,18%). Le rendement d'extraction dépende de plusieurs facteurs à savoir les facteurs environnementaux tels que la géographie, la température, la longueur du jour, les éléments nutritifs, etc., devraient être examinés pour leur rôle clé dans la composition chimique des extraits obtenus à partir des feuilles d'oliviers. Ainsi que la variation de l'espèce végétal elle –même, l'organe végétale, le stade de la croissance, la conservation de matériel végétale et la méthode d'extraction **OURAK & BENBRAHIM (2019).**

II.1.3. Etude phytochimique

II.1.3.1. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en phénols totaux de l'extrait des feuilles d'oliviers a été réalisée selon la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteau, basée sur une courbe d'étalonnage construite avec différentes concentrations d'acide gallique (Annexe 01). Les résultats sont présentés en microgrammes d'acide gallique équivalent par milligramme de l'extrait séché (µg EAG/mg). L'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage : (y= 0,0068x+ 0,056) avec un coefficient de corrélation R^2=0,9991. L'analyse quantitative des composés phénoliques révèle une concentration de **229,61µg EAG/ mg d'extrait sec** des feuilles d'oliviers. Ce résultat est inférieur à ceux enregistré par **Louala & Yahi, (2022)** qui elles trouvons la concentration des composés phénolique de variété Aberkane **(560µg EAG/ mg d'ES)** et par **Mirad et Badis, (2020)** pour les feuilles d'olivier cultivé (*Olea Europaea*) **(522et 561µg EAG/mg de MS).** Et c'est supérieur à l'étude menée par **Madani Yousfi, (2017**), la concentration totale en polyphénols totaux ont été estimé de (124,90µg EAG/ mg d'ES). La quantité totale de polyphénols dans les feuilles d'olivier varie en fonction de plusieurs facteurs, ces facteurs incluent les différentes variétés d'oliviers, le climat, les saisons, la période de la récolte et l'âge des plantations (**Khady *et al., 2010).***

II.1.3.2. Teneurs en flavonoïdes

La teneur en flavonoïde de l'extrait des feuilles d'olivier de variété Aberkane est exprimé en microgramme équivalent de Quercitine par milligramme de l'extrait sec (mg EQr/mg ES) sur en courbe d'étalonnage (annexe 2). L'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage : (y= 0,0333x+ 0,024) avec un coefficient de corrélation R^2=0,9917. Le résultat de dosage des flavonoïdes totaux des feuilles d'oliviers est **46,09µg E Qr/mg d'ES**. Ce résultat est inférieur à ce rapporté par **BEN BELAL & TEBBAKH (2020)** pour l'extrait aqueux de poudre des feuilles d'oliviers cultivés est **245,6µg EQr/mg d ES** et est supérieur par **Louala & Yahi, (2022)** qui indiquent la teneur en flavonoïdes existe au niveau de variété Aberkane est **30,66µg EQr/mg d'ES.** D'après **Aouidi, (2020).,** la différence de la quantité des polyphénols entre les feuilles d'Olivers dépend de la méthode de préparation des feuilles (déshydratation et broyage), techniques d'analyse qualitative et quantitative.

II.1.3.3. Teneur en tanins condenses

Les tanins condenses sont des composés phénoliques formés de chaines d'épicatéchines, de catéchines et d'esters d'acide gallique, susceptibles d'avoir des impacts positifs sur la santé humaine. L'obtention des tanins condenses est influence par le solvant employé, leur composition chimique et les conditions de fonctionnement. **MEKHOUKH., (2024).** Le résultat de l'analyse des tanins condense de l'extrait des feuilles d'oliviers est **53,85µg ECat/mg d'ES.** Le résultat obtenu dans cette étude est inférieur à ceux rapporté par **Louala & Yahi (2022)** qui enregistré la teneur en tanins est 809,33µg ECat/mg d'ES. Et par **Madani en 2017** qui a trouvé la moyenne de teneur en TC par macération des feuilles d'*Olea Europaea* de 164,28µg ECat/mg d'ES.

II.1.3.4. Teneur en caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes de l'extrait des feuilles d'olivier de variété Aberkane déterminer à partir de l'équitation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage (y= 0,092x) exprimé en microgramme équivalent de la ß-Carotène par milligramme. **(Annexe 4)**. Le dosage des caroténoïdes dans les feuilles d'olivier a révélé une teneur de **4,15µg E ß-C/mg MS.** La teneur en caroténoïde existant dans notre extrait est inférieure à celles obtenues par **Louala & Yahi (2022)** qui indiquent que l'extrait des feuilles d'olivier de variété Aberkane contient 4,674µg E ß-C/ mg MS.

II.1.4. Activité antioxydante

L'activité antioxydante des différents extraits de composés phénoliques de feuilles d'olivier est évaluée par la mesure de l'activité antioxydante totale, la capacité à piéger le radical libre DPPH et le pouvoir réducteur ferrique.

II.1.4.1. Activité antioxydante totale

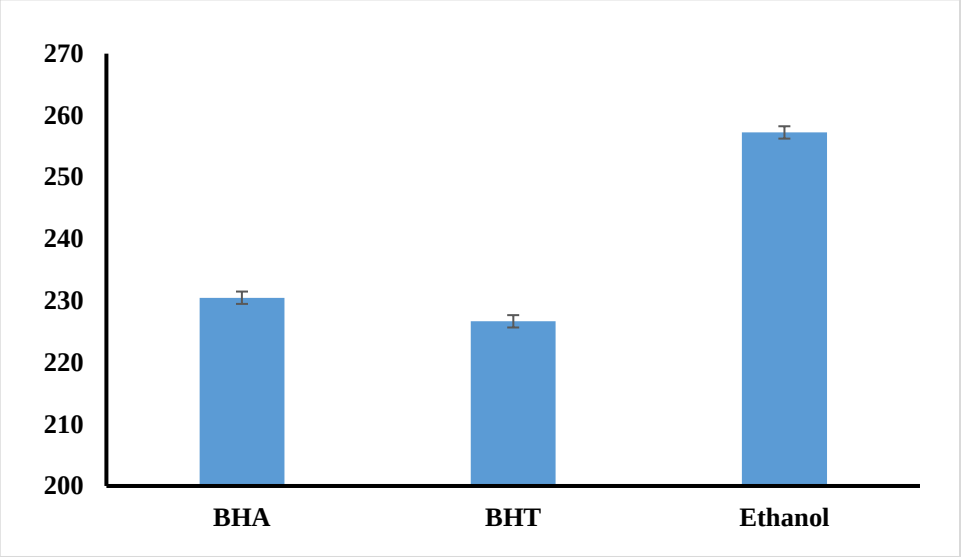

Figure 4 : Activité antioxydante total TAC

La détermination de la capacité antioxydante totale de l'extrait analysé est réalisée à partir de l'équation d'étalonnage de l'acide ascorbique(y=0,0052x) référence à (annexe 4). L'activité antioxydante est exprimée en microgramme équivalent d'acide ascorbique par milligramme d'extrait sec (µg EAA/mg d'ES). Le résultat montre que l'activité antioxydante totale dont la teneur de 257,24µg EAA/ mg d'ES. Notre résultat indique que l'extrait des feuilles d'olivier possèdent une activité antioxydante totale est proches aux BHA 222,84µg EAA/mg d'ES, ce résultat est fort par rapport des résultats obtenus par **Louala & Yahi (2022)** qui ont trouvés que l'extrait des feuilles d'olivier de variété Aberkane possède une activité antioxydante totale égale à 167,8µg EAA/ mg d'ES. L'activité antioxydante d'extrait végétaux est affecté par plusieurs éléments, comme la concentration en antioxydante, les conditions météorologiques, la modalité et la durée de conservation, la durée de récolte, le niveau de croissance, la température et l'humidité de la plante, le solvant d'extraction et sa polarité ainsi que la méthode d'analyse utilisés **(Prior et *al.*,1998), (Amin et *al.*, 2004) ; (Zhao et *al.*, 2007)**.

II.1.4.2. Activité de piégeage du radical libre DPPH°+

Le test DPPH° est largement utilisé pour évaluer l'activité d'inhibition des radicaux libres des extraits de plantes médicinales **(LoScalzo, 2008)**. Cette méthode permet de mesurer la concentration inhibitrice moyenne IC50 des composés antioxydants. Il s'agit de la concentration nécessaire pour réduire de 50% le radical libre (DPPH°). Par conséquent, plus la valeur de l'IC50 est faible, plus l'activité antioxydante de l'extrait est élevée. Le résultat de l'activité de piégeage du radical libre DPPH° par l'extrait des feuilles d'olivier de variété Aberkane est IC50= 2,39 mg/ml. Ce résultat est supérieur celle de IC50 déterminé avec l'acide ascorbique 0,12 mg/ml utilisé en tant que référence. Ce résultat est inférieur à ceux rapporté par **Addab *et al., (2020)*** qui déterminé une concentration moyenne estime de 87,02 mg/ml pour l'extrait 1 de Batna, et de 92,15mg/ml pour l'extrait 2 de Mila, 84,74mg/ml pour l'extrait de Skikda, ainsi que de 102,50 mg/ml pour l'extrait 4 de Biskra. Et son supérieur à ceux rapporté par **Louala & Yahi (2022)** qui indiquent une activité radicalaire moyenne avec IC50 1,45m g/ml.

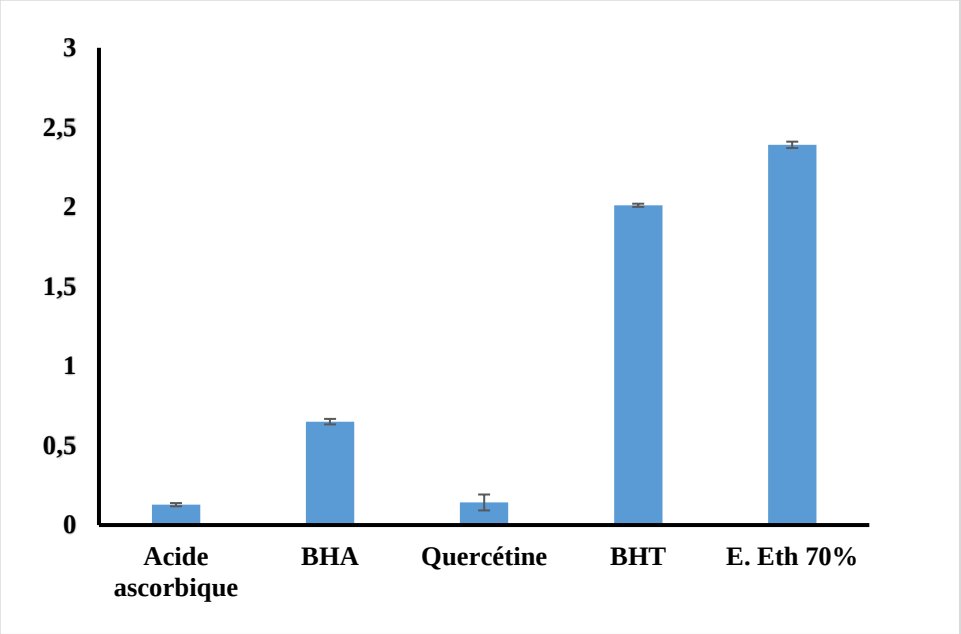

Figure 5 : Piégeage du radical libre (DPPH)

II.1.4.3. Pouvoir réducteur de fer ferrique

La capacité d'un antioxydant à céder un électron est mesurée par son pouvoir réducteur **(Lim et Tee, 2007).** Ce procédé consiste à mesurer la capacité réductrice des extraits en observant la transformation du fer ferrique (Fe3+) en fer ferreux (Fe2+) **(Barros *et al., 2007*).** Les résultats du pouvoir réducteur du fer ferreux de l'extrait de feuilles d'olivier

et de molécule standard, exprimés en A0,5mg/ml, sont illustrés dans la figure 5. L'augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés. Le résultat de l'activité réductrice du fer ferrique (Fe3+) de l'extrait des feuilles d'oliviers est A0,5= 5,75mg/ml. Sont inférieures à celles de standards testés, l'acide ascorbique (A0,5=0,47mg/ml) qui ont un pouvoir réducteur plus fort. Ce résultat est inférieur par rapport à ceux de **Meddour et Soualem (2021)** qui expriment la capacité réductrice des extraits des feuilles d'*Olea europaea* pour l'extrait d'étalon est 2,16mg/ml. En conséquent, nos résultats montrent clairement que l'extraits des feuilles d'olivier étudiés possèdent un potentiel antioxydant important, mais relativement faible que celui des antioxydants de référence utilisés dans ce test acide ascorbique.

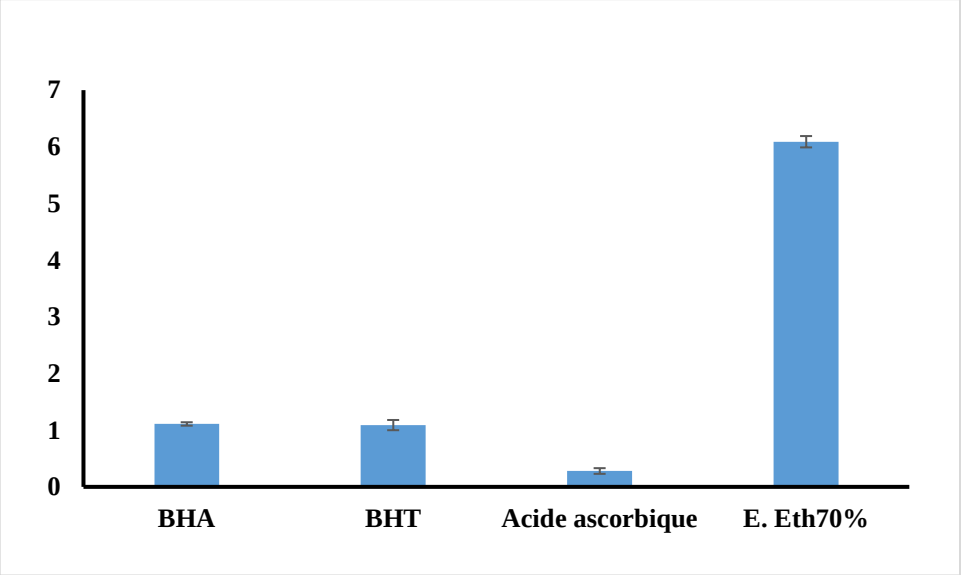

Figure 6 : Pouvoir réducteur de fer ferrique

II.1.5. Activité antimicrobienne

Les résultats de l'activité antimicrobienne de l'extrait des feuilles d'olivier sont présentés dans le **tableau V**.

Tableau V : Diamètre de la Zone d'inhibition des souches testées (en mm)

Bactérie / Extrait (mg/ml)	*E. coli*	*P. aeruginosa*	*Staphylococcus aureus*	*Micrococcineae*	*Salmonella enteritidis*
64mg/ml	23	23	11	13	16
32mg/ml	13,1	20,3	-	12,99	14,3
16mg/ml	12	16,5	-	12,99	9
8mg/ml	11,3	16	-	-	6
4mg/ml	-	14	-	-	-

(-) : pas d'inhibition

Selon le tableau, les zones d'inhibition sont observées à la concentration maximale de 64mg/ml. L'extrait des feuilles d'olivier a montré l'effet antibactérien le plus important contre *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* avec une zone d'inhibition de 23 mm, suive par l'effet moins actifs contre *Salmonella enteritidis* de zone d'inhibition de 16,93 mm, et par la suive montrer une faible activité contre *Micrococcineae*, et *Staphylococcus aureus*, par des zones d'inhibition de 13 mm ; 11,47 mm respectivement. Ces résultats sont similaires ont été présentés par **Djenane *et al., (2012*)**, vis-à-vis les Bactéries *S. aureus* et *S. enteritidis* avec un diamètre de (13,70 mm et 16,33 mm) respectivement. D'après les données relevées dans cette étude, il apparaît que l'extrait de feuilles d'olivier présente une activité antibactérienne qui fluctue selon la souche considérée. Cette activité peut varier en importance, être élevée, faible ou même nulle, en fonction de la concentration de l'échantillon et du niveau de sensibilité des souches.

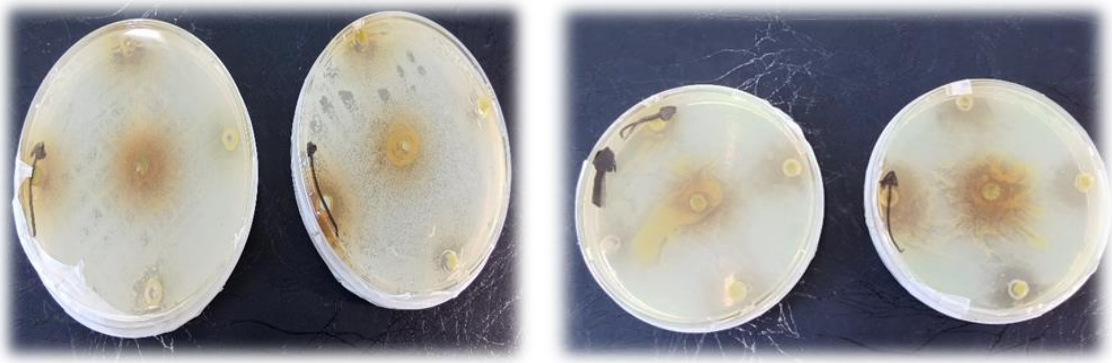

Figure 7 : Photographie de l'activité antimicrobienne contre *E. coli* et *Pseudomonas aeruginosa.*

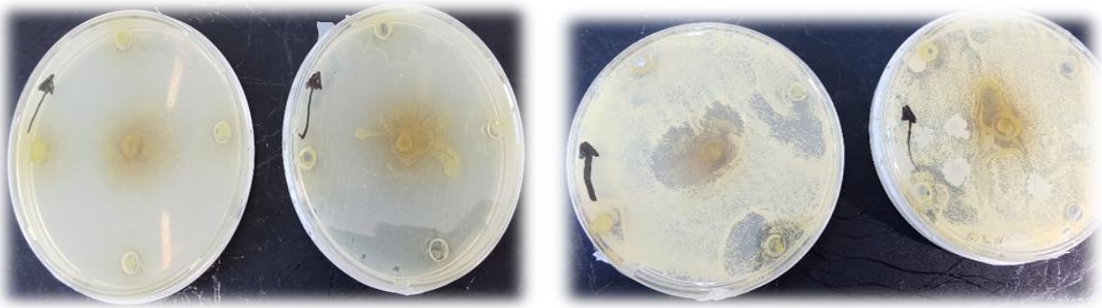

Figure 8 : Photographie de l'activité antimicrobienne contre *Salmonella enteritidis* et *Micrococcineae*

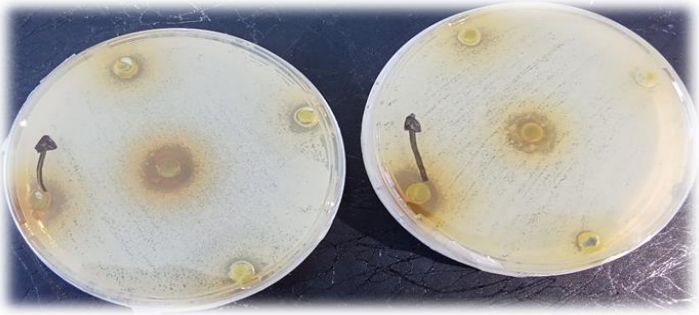

Figure 9 : Photographie de l'activité antimicrobienne *Staphylococcus aureus.*

II.2. Elaboration d'emballage biodégradable

La **figure 10** est présenté un film biodégradable à base de feuilles d'olivier, souple, fin et translucide. Il mesure environ 20 × 10 cm avec une épaisseur inférieure à 0,2 mm fabriqué à partir de biopolymères naturels, il offre une bonne résistance, une flexibilité adaptée à l'emballage et se décompose naturellement en milieu compostable.

Figure 10 : Emballage biodégradable à base des feuilles d'olivier(bioplastique).

Conclusion

Conclusion

Dans le cadre de notre travail, nous avons cherché à valoriser les sous-produits de l'olivier, en particulier les feuilles, en les soumettant à différentes analyses. Nous avons réalisé une caractérisation morphologique, des analyses physico-chimiques et phytochimiques, ainsi qu'une évaluation de leur activité antioxydante et antimicrobienne.

Notre étude s'est portée sur les extraits de feuilles de neuf variétés d'***Olea europaea***, dont la variété Aberkane, récoltées dans le village de Sidi Idir, situé dans la région d'Il Mayen, wilaya de Bordj Bou Arreridj. L'extraction des composés bioactifs a été effectuée par macération dans l'éthanol.

La teneur en flavonoïdes a été mesurée à l'aide de la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium. Les résultats obtenus montrent que notre extrait est plus riche en flavonoïdes que ceux rapportés dans la littérature pour la même variété.

Nous avons également évalué l'activité antibactérienne des extraits, et les résultats ont mis en évidence une capacité à inhiber la croissance de plusieurs souches bactériennes, ce qui confirme leurs propriétés antimicrobiennes.

Dans une démarche de valorisation durable, nous avons utilisé l'amidon comme matrice pour développer un film biodégradable à base d'extraits de feuilles d'olivier, riches en antioxydants. Notre objectif est de créer un matériau 100 % naturel, capable de protéger les aliments tout en réduisant l'impact environnemental des plastiques conventionnels.

Enfin, dans les perspectives, nous envisageons de poursuivre nos recherches afin d'améliorer les propriétés mécaniques de l'emballage et d'évaluer son efficacité dans des conditions réelles de conservation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abaza, L., Youssef, N. B., Manai, H., Haddada, F. M., Methenni, K., & Zarrouk, M. (2011)**. Chétoui olive leaf extracts: influence of the solvent type on phenolics and antioxidant activities. *Grasas yaceites*, *62*(1), 96-104.
- **Addab N., Fetni S., Hamlaoui F., Zerguine A. & Mahloul K. (2020).** Evaluation comparative de l'activité anti-oxydant des extraits éthanoliques des feuilles d'Olea europaea L. de l'Est Algérien. Journal de la faculté de médecine d'Oran, 4(2),579- 586.
- **Altıok, E., Bayçın, D., Bayraktar, O., & Ülkü, S. (2008).** Isolation of polyphenols from the extracts of olive leaves (Olea europaea L.) by adsorption on silk fibroin. *Separation and Purification Technology*, *62*(2), 342-348.
- **Amin I., Zamaliah M. M. & Chin W. F. (2004**) Total antioxidant activity and phenoliccontent in selected vegetables. *Food Chemistry* ,87, 581-586.
- **AOAC. (2000).** Official Methods of Analysis (13th edn). Association of Official Analytical Chemist: Washington, D C. Agron. Fr, (1) : p12.
- **Barros, L., Ferreira, M.J., Queiros, B., Ferreira, I.R., Baptista, P. (2007).** Total phenols, ascorbic acid, b-carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 103(2) : 413-419.
- **Ben Belal, a., & Tebbakh, d. (2020).** Étude comparative entre l'huile d'olive et l'huile d'olive additionnée avec poudre des feuilles d'olivier cultive (doctoral dissertation, جامعة غرداية).
- **Benbettaieb, n., & Sčetar, m. Frédéric debeaufort1, Kata galić2, Mia kurek2. (2022).** Matériaux et procédés d'emballage pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques, coordonné par frédéric.
- **Berger, K. R. (2003).** A brief history of packaging: ABE321/AE206, 12/2002. Edis, 2003(17).
- **Boubakary, B. (2018).** L'expérimentation des emballages biodégradables au Cameroun : un vecteur du développement durable ? Revue Marocaine de recherche en management et marketing, 10(2), 58-77.
- **Boudhrioua, N., Bahloul, N., Slimen, I. B., & Kechaou, N. (2009).** Comparaison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. *Industrial crops and products*, *29*(2-3), 412-419.

- **Boumerfeg S., Baghiani A., Djarmouni M., Ameni D., Adjadj M., Belkhiri F., Charef N., Khennouf S. & Arrar L. (2012)** Inhibitory activity on xanthine oxidase and antioxidant properties of Teucrium polium L. extracts. Chinese Médicine, 3 ; 30-41.
- **Chedjara, K., Aced, S. E., & Bouhaous, O. Y. (2020).** Evaluation des activités biologiques des composés phénoliques issus des feuilles d'olivier (Olea europea L.) (Doctoral dissertation, université ibn Khaldoun Tiaret).
- **Debeaufort, F., Kurek, M., Benbettaieb, N., & Ščetar, M. (2022).** Matériaux et procédés d'emballage pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques. ISTE Group.
- **Djenane D., Aïder A., Yangüela J., Idir L., Gómez D., Roncalés P. 2012.** Antioxidant and antibacterial effects of Lavandula and Mentha essential oils in minced beef inoculated with *E. coli* O157: H7 and *S. aureus* during storage at abuse refrigeration temperature, Meat Science 92: 667 – 674.
- **Douafer Amina, D. S. (2019).** Elaboration et caractérisation d'un nanobiocomposite à base de PLA et de silice pyrogénée.
- **Dubois, M.K.A., Gilli Y.K., Hamilton, P.A., (1956**). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, 28(03): 350-356.
- **Fettah A. (2019).** Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique (antioxydants antibactérienne) des extraits de la plante Teucrium polium L. sous espèce Thymoïdes de la région Beni Souik, Biskra. Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider, Biskra.
- **Flora, K. A. E. (2023).** ETUDE DE LA MIGRATION DES ANTIOXYDANTS PHENOLIQUES DANS LES BOISSONS EN SACHET (ABIDJAN-COTE D'IVOIRE). Consulté le, 12.
- **Gontard, N., Guillard, V., Gaucel, S., & Guillaume, C. (2017).** L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions. *Innovations agronomiques*, *58*, 1-9
- **Gulluce, M., Sahin, F., Sokmen, M., Ozer, H., Daferera, D., Sokmen, A., Polissiou, M., Adiguzel, A., Ozkan, H. (2007).** Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from Mentha longifolia L. ssp. longifolia. Food Chemistry, 103 : 1449-1456

In: *Journal of Agricultural and FoodChemistry.**46***, 2686-2693.

- **Jai Oyedemi, S.O., Afolayan, A.j (2011).** In vitro and in vivo Antioxidant Activity of Aqueous Leaves Extract of Leonotis (L.) R. British International Journal of Pharmacology, 7(2): 248-256.n, D.P.
- **Jayanthi, P., Lalitha, P. (2011).** Reducing power of the solvent extracts of Eichhornia Crassipes (MART.) Solms. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 3(3) : 126-128.
- **Kerouani, S. (2019).** Etude de la biodégradation du polyéthylène thermo-oxydé (Doctoral dissertation).
- **Lim, T.T., Tee, J.J. (2007).** Antioxidant properties of several tropical fruits: a comparative study. *Food Chemistry*, 103 : 1003-1008.
- **Liphschitz, N., Gophna, R., Hartman, M., & Biger, G. (1991).** The beginning of olive (Olea europaea) cultivation in the Old World: à reassessment. Journal of Archaeological Science, 18(4), 441-453.
- **Martiny, T. R., Pacheco, B. S., Pereira, C. M., Mansilla, A., Astorga–España, M. S., Dotto, G. L., ... & Rosa, G. S. (2020).** A novel biodegradable film based on κ-carrageenan activated with olive leaves extract. *Food Science & Nutrition*, *8*(7), 3147-3156.
- **Meddour, E, Soualem, M. (2021).** Contribution à l'étude phytochimique et l'évaluation des propriétés antioxydante d'Olea europaea L. Master en Biochimie. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A
- **Mellak, N., & Chaanbi, R. (2022).** Optimisation des caractéristiques d’un matériau d’emballage biodégradable préparé à partir des pattes de volailles (Doctoral dissertation, Université Larbi Tébessi-Tébessa).
- **Mendil M. et Sebai A. (2006).** Catalogue des variétés algériennes de l’olivier. Institut
- **Mrabet, A., García-Borrego, A., Jiménez-Araujo, A., Fernández-Bolaños, J., Sindic, M., & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2017).** Phenolic extracts obtained from thermally treated secondary varieties of dates: Antimicrobial and antioxidant properties. LWT-Food Science and Technology, 79: 416-422.
- **Mylonaki, S., Kiassos, E., Makris, D. P., & Kefalas, P. (2008).** Optimisation of the extraction of olive (Olea europaea) leaf phenolics using water/ethanol-based

solvent systems and response surface methodology. *Analytical and bioanalytical Chemistry*, *392*, 977-985.

- **Ouldyerou K.et al. (2020).** Etude comparative entre les plantes : MalvaSylvestris, Olea Europea, Citrus Aurantium, Utiliséeé dans les traitements du diabete dans la médecine traditionnelle de la région de mascara, In : Journal of Advanced Research in Science andTechnology, 7(1), P86-87.
- **Ourak Amel, B. S. (2019).** Evaluation de l'activité antibactérienne des extraits aqueux obtenus par trois méthodes d'extraction à partir des feuilles d'Olea europea. L.
- **Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G. and Mainland C.M., (1998).** Antioxidant Capacity as Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of Vaccinium Species.
- **Singleton, V.L., Rossi, J.A. (1965).** Colorimetry of total phenolics whith phosphomolybdic phosphotungstic acids reagents. American Journal of Enology and Viticulture, 16 : 144-158.
- **Sun B., JM. Richardo-da-Silvia I., Spranger (1998). Critical** factors of vanillin assay forcatechins and Proanthocyanidins. In : journal of Agriculture and Food Chemistry, 1998, Vol. (46), page : 4267.

  Technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne. Algérie.
- **Yassamine, L. A., & Intissar, Y. (2022).** Etude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydants des feuilles de quelques variétés d'olivier de la collection d'ITAFV (TAKRIT ? Bejaia) (Doctoral dissertation).
- **Zhao X., Iwamoto T. & Carey E. E. (2007).** Antioxidant capacity of leafy vegetables as affected by high tunnel environment, fertilisation and growth stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture,*87, 2692-2699.µ

Annexes

Annexes

Tableau VI : Matériel utilisée

Verreries	Produits	Autres
Becher	Acétone	Agittateure
Entonnoirs	Acide galique	Aluminium
Eprouvette	Acide sulfrique	Baine marie
Fiole jaugée	Acide trichloracétique (TCA)	Balance
Pipette	Al Cl3	Barreau
Tube à visse	Carbonate de Na	Boite de pétri
	Cyclo hexane	Broyeur électrique
	D-Glucose	Cuve en verre
	DMF	Etuve
	DPPH	Micro pipette
	Ethanol	Papier filtre
	FeCl2	Parafilm
	Folin-Ciocaltau	Pissette
	HCl	Portoire
	Methanol	Spatule
	Molybdate d'amonium	Spectrophotométre
	Na H2 PO4	Tamise
	NaCl	
	Phénol	
	Querctine	
	Vanline	
	Et autre produits….	

Courbe d'étalonnage :

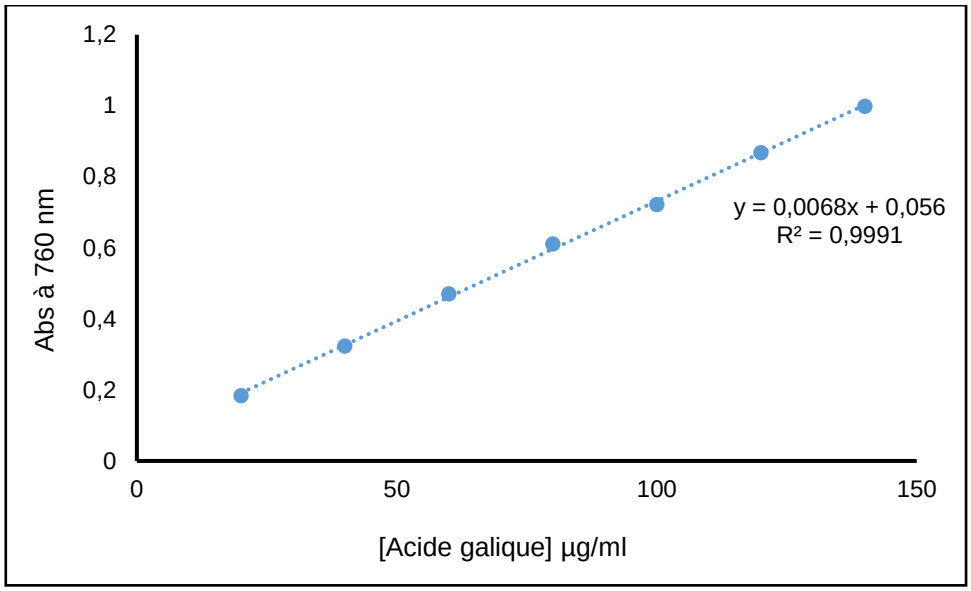

Figure 12 : Gamme d'étalonnage des polyphénols

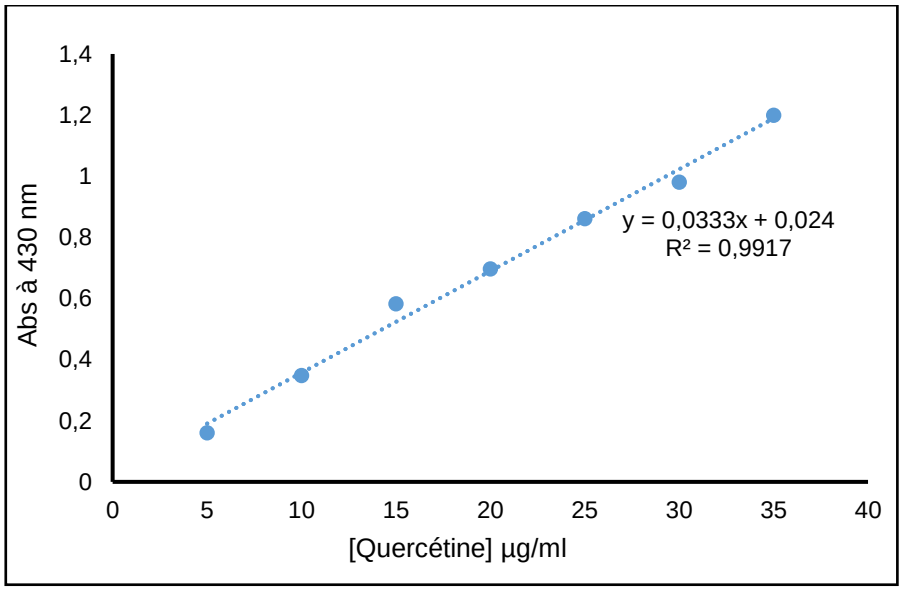

Figure 13 : Gamme d'étalonnage des flavonoïdes

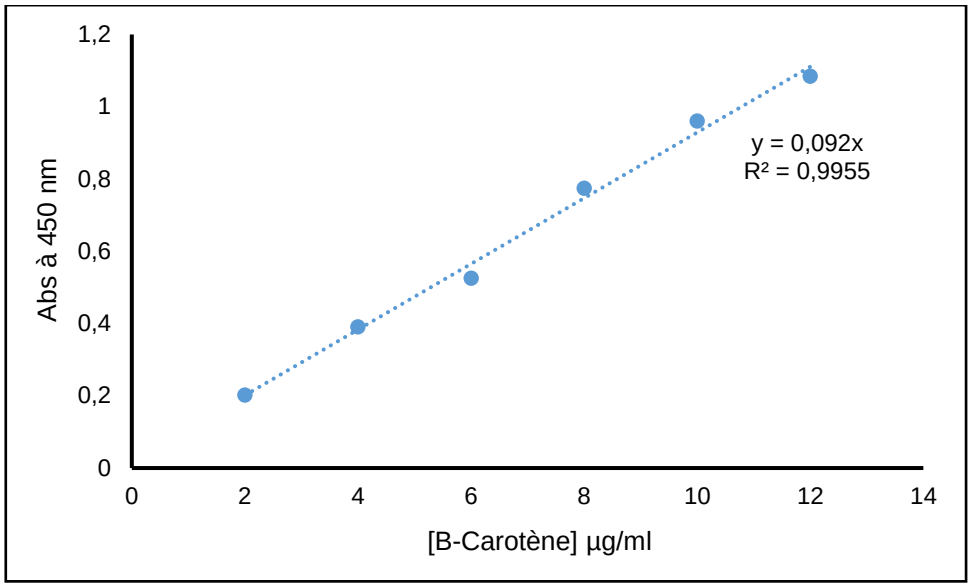

Figure 14 : Gamme d'étalonnage des ß-Carotène

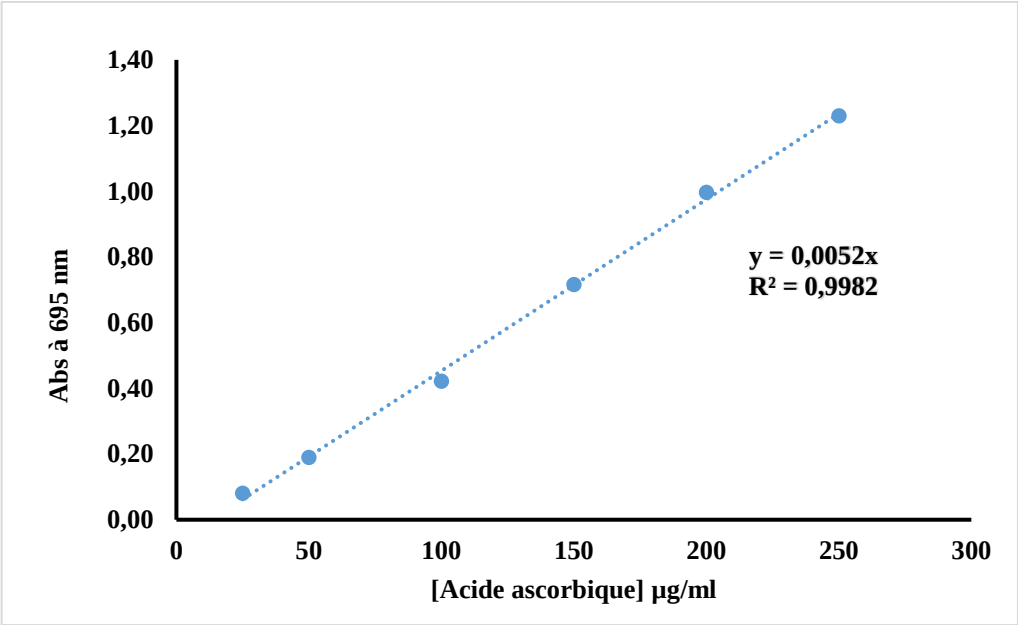

Figure 15 : courbe d'étalonnage d'activité antioxydante totale

Résumé

Ce mémoire porte sur la valorisation des déchets agroalimentaires, en particulier les feuilles d'olivier, en vue de leur utilisation dans la fabrication d'un emballage biodégradable. Bien que l'emballage n'ait pas encore été élaboré, le travail s'est concentré sur l'étude des feuilles d'olivier, notamment leur richesse en composés antioxydants. Des analyses ont été menées pour déterminer leur composition en polyphénols, activité antioxydants et propriété antibactérienne. Les résultats ont montré que ces feuilles sont une source importante de substances bioactives, ce qui pourrait être exploité dans des applications d'emballage écologique. Cette première étape ouvre des perspectives prometteuses pour la réutilisation de ce sous-produit agricole, dans un objectif de réduction des déchets et de promotion de matériaux durables et respectueux de l'environnement.

Abstract

This report focuses on the valorisation of agro-food waste, specifically olive leaves, with the aim of using them in the production of biodegradable packaging. Although the packaging has not yet been developed, the work has concentrated on studying olive leaves, particularly their richness in antioxidant compounds. Analyses were conducted to determine their polyphenol composition, antioxidant activity, and antibacterial properties. The results showed that these leaves are an important source of bioactive substances, which could be utilized in eco-friendly packaging applications. This initial step opens promising prospects for the reuse of this agricultural by-product in order to reduce waste and promote sustainable and environmentally friendly materials.

الملخص

يركز هذا البحث على تثمين النفايات الزراعية الغذائية، ولا سيما أوراق شجرة الزيتون، بهدف استخدامها في تصنيع مواد التغليف القابل للتحلل الحيوي. وعلى الرغم من أن العبوة لم يتم تطويرها بعد، فقد تم التركيز على دراسة أوراق الزيتون، لاسيما غناها بالمركبات المضادة للأكسدة. تم إجراء تحاليل لتحديد محتواها من مركبات متعددة الفينول، ونشاطها المضاد للأكسدة، وخصائصها المضادة للبكتيريا. وأظهرت النتائج أن هذه الأوراق تُعدّ مصدرًا مهمًا للمواد الحيوية النشطة، مما يمكن استغلاله في تطبيقات التغليف البيئي. وتشكل هذه الخطوة الأولى آفاقًا واعدة لإعادة استخدام هذا المُنتَج الزراعي الثانوي في إطار السعي للحد من النفايات وتعزيز استخدام مواد مستدامة وصديقة للبيئة.