

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département des Sciences biologiques**



**Mémoire de Master Académique / Professionnel**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences biologiques**

**Spécialité : Biochimie appliquée**

**THEME**

**Extraction des polyphénols et des huiles  
essentielles à partir de la plante *Deverra scoparia*  
et leur application**

Présenté par :

**MORGHAD Bochra**

Soutenu publiquement :

Le 16/06/2025

Devant le jury :

Mr. OULD EL HADJ M. D.

**Président**

Pr. UKM Ouargla

Mlle. HAMMOUDI Roukia

**Promoteur**

Pr. UKM Ouargla

Mlle. TELLI Alia

**Examineur**

MCA UKM Ouargla

**Année Universitaire : 2024/2025**



# Remerciements



*Je voudrais tout d'abord remercier le Créateur de l'Univers, Dieu Tout M'avoir guidé tout au long de ces années d'études et de m'avoir accordé la santé, le courage et la patience nécessaires à l'accomplissement de cette humble tâche.*

*J'exprime mon sincère gratitude, mon profond respect et ma reconnaissance à ma directrice de thèse, le professeur **Hammoudi Rokja**, pour ses conseils, son assistance et son soutien, et surtout pour la confiance qu'elle m'a accordée.*

*J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury, spécialement désignés, et en particulier aux professeurs **Ould El-Hadj** et **Dr Telli Alia**.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à tous mes professeurs pour leurs précieux efforts durant mes études. Je remercie mes professeurs, les professeurs **Mr. Bouricha**, **Mr. Bacha** et **Mlle Khjenfer Siham**. Je remercie également **Mr. Foudil Khiane** et **Mr. Lotfi Khiane**, professeurs à l'Université de Biskra, pour leur assistance.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à tout le personnel du Laboratoire du Centre de recherche en analyses physiques et chimiques de Ouargla, et en Particulier à son directeur **Mr. Hakim**.*

*Je ne peux oublier de mentionner les laboratoires d'enseignement de L'Université des Sciences Naturelles et de la Vie de Kasdi Merbah, à Ouargla, ainsi que le Laboratoire de Biochimie des Milieux Désertiques.*

*Je tiens à remercier toute personne qui a, de près ou de loin, contribué d'une manière ou d'une autre au succès de ce travail, et spécialement ceux dont les noms ne sont pas mentionnés, mais qui sont présents dans mon esprit et dans mon cœur.*



# Dédicace



*À moi-même...*

*À celle qui a persévéré malgré la fatigue et les épreuves,*

*À celle qui n'a jamais abandonné, convaincue que chaque effort porte ses fruits...*

*Je te dédie ce travail, car tu le mérites*

*À mon tout premier professeur, à celui qui m'a tout donné, qui m'a offert les moyens d'apprendre et de réaliser mes rêves, à l'homme au grand cœur... à toi, **mon cher père Abdelkader.***

*À celle dont le sourire m'a illuminée, et dont la présence m'a toujours comblée : à toi, ma tendre **mère Radhia.** Qu'Allah t'accorde santé et longue vie.*

*À mes chers frères **Mohamed Faouzi** et **Mohamed Lakhdar,** que Dieu les protège et leur accorde réussite et bonheur.*

*À ceux qui nous ont quitté pour un monde meilleur : **ma mère Gharsa, mes grand-mères, et mon oncle Fradj.** Qu'Allah les comble de Sa miséricorde et les accueille dans Son vaste paradis.*

*À celle dont la présence me donne la force et un amour sans limites : ma sœur et amie précieuse **Maroua,** qu'Allah la protège, la guide et éclaire son chemin.*

*À toute ma grande famille : mes oncles, mes tantes, ainsi que leurs enfants.*

*À mes chères amies, en particulier : **Anfal, Narimene, Ilhem, Malek, Besma, Abir et Ikram.***

*À tous ceux qui m'ont témoigné leur amour, leur respect et leur soutien, de près ou de loin.*

*Et enfin, à l'ensemble de mes professeurs, pour leur aide et leur accompagnement tout au long de mon parcours universitaire.*

**Bohra**

**Table des matières :**

Remerciements .....	I
Dédicace .....	II
Table des matières : .....	III
Liste des abréviations : .....	VI
Liste des figures : .....	VII
Liste des tableaux : .....	IX
Résumé .....	X
Introduction .....	1

**Chapitre I Synthèse Bibliographique**

I.1 Généralités sur <i>Deverra scoparia</i> Coss. & Dur .....	4
I.1.1. Présentation de la plante.....	4
I.1.2. Répartition géographique .....	4
I.1.3. Position systématique.....	4
I.1.4. Utilisation.....	5
I.1.5. Activités biologiques.....	5
I.1.6. Métabolites secondaires .....	5
I.2. Bioplastique.....	7
I.2.1 Définition .....	7
I.2.2 Classification de bioplastique.....	8
I.2.3. Bioplastique et emballage .....	8

**Chapitre II Matériels et méthodes**

II.1. Matière végétale.....	11
II.2. Extraction des huiles essentielles.....	11
II.3. Extraction des polyphénols par macération .....	12
II.4. Caractérisation des extraits .....	12
II.4.1 Caractéristiques des huiles essentielles par chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS).....	12
II.4.2 Dosage des polyphénols totaux.....	12
II.5. Incorporation des extraits dans la synthèse de bioplastiques.....	13
II.5.1. Préparation des bioplastiques.....	13

II.5.2. Caractérisation des bioplastiques .....	14
II.5.2.1. Caractérisation physique .....	14
II.5.2.2 Caractérisation chimique .....	16
II.5.2.3. Caractérisation structurelle des bioplastiques .....	16
II.5.2.4. Caractérisation morphologique.....	17
II.5.2.5. Caractérisation optique .....	17
II.6 Études <i>in vitro</i> des activités biologiques des extraits et des bioplastiques .....	19
II.6.1 Évaluation de l'activité antioxydante .....	19
II.6.2. Activité antimicrobienne.....	21
II.7. Propriétés de barrière microbienne .....	21
II.8. Test de biodégradabilité.....	22
II.9. Emballage alimentaire .....	23

## **Chapitre III Résultats et Discussion**

III.1. Rendement et caractéristiques des huiles essentielles ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.2. Rendement et caractéristiques de l'extrait hydroalcoolique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.3. Études <i>in vitro</i> des activités biologiques des extraits .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.4. Caractérisation des bioplastiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II.4.1. Propriété physique .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.4.2. Propriété chimique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II.4.3. Caractéristiques structurelle.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II.4.4. Caractéristiques morphologiques.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II.4.5. Caractéristiques optique.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.5. les activités biologiques des biolastiques .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.6. Propriétés de barrière microbienne.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II.7. Essai de biodégradabilité .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III.8. Emballage alimentaire .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Conclusion.....	26
Références : .....	28
Annexes : .....	36



**Liste des abréviations :**

<b>ABTS</b>	Acide 2,2'-azinobis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) (test antioxydant)
<b><math>\Delta E</math></b>	Différence de couleur (variation chromatique)
<b><math>\Delta P</math></b>	Différence de pression de vapeur d'eau
<b>DPPH</b>	2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl (test antioxydant)
<b>DRX</b>	Diffraction des Rayons X
<b>EAG</b>	Équivalent en Acide Gallique (unité du TPC)
<b>FTIR / IRTF</b>	Fourier Transform Infrared / Infrarouge à Transformée de Fourier
<b>GC-MS</b>	Chromatographie en phase gazeuse - Spectrométrie de masse
<b>HE</b>	Huile Essentielle
<b>L</b>	Épaisseur du film
<b>L*, a*, b*</b>	Paramètres colorimétriques (système CIELAB)
<b>MEB</b>	Microscope Électronique à Balayage
<b>O<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	anion superoxyde
<b>P (%)</b>	Pourcentage de biodégradation
<b>Pa</b>	Pascal (unité de pression)
<b>PP</b>	Polyphénols
<b>T</b>	Film Témoin (sans additifs)
<b>T600</b>	Transmittance à 600 nm (utilisée dans le calcul de transparence)
<b>TPC</b>	Total Phenolic Content (contenu phénolique total)
<b>UV-Vis</b>	Spectroscopie Ultraviolet - Visible
<b>WVP</b>	Water Vapor Permeability (perméabilité à la vapeur d'eau)
<b>WVTR</b>	Water Vapor Transmission Rate (taux de transmission de vapeur d'eau)

## Liste des figures

### Liste des figures :

Figure 1: <i>Deverra scoparia</i> Coss. & Dur.( original) .....	4
Figure 2: Classification de bioplastique(La pointe., 2012) .....	8
Figure 3: La plante <i>Deverra scoparia</i> (a) après séchage et (b) après broyage .....	11
Figure 4: Schéma de synthèse d'un bioplastique .....	14
Figure 5: Structure chimique du radical DPPH <sup>·</sup> et de sa forme réduite .....	20
Figure 6: Chromatogramme de GC/MS d'huile essentielle de <i>Deverra scoparia</i> Coss. & Du .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 7: l'activité antioxydante des huiles essentielles HE et polyphénols PP en fonction de leur concentration par trois tests ABTS, DPPH et H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 8: Évolution de WVP des films enrichis en huiles essentielles ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 9: Répartition en pourcentage de la teneur en cendre et la matière organique dans les différents films biodégradables .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 10: Spectres FTIR des films bioplastiques sans et avec ajout d'huile essentielle et de polyphénols, ainsi que des extraits purs d'huile essentielle et de polyphénols de <i>Deverra</i> <i>scoparia</i> . (A) l'huile essentielle ; (B) Spectre polyphénols ; (C) bioplastique .....	<b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>
Figure 11: La diffraction des rayons X (DRX) a été utilisée afin d'analyser l'effet de l'incorporation d'huile essentielle (HE) à différentes concentrations .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 12 : L'analyse morphologique des films bioplastiques obtenus a été réalisée à l'aide du microscope électronique à balayage (MEB) à un grossissement de 500×.....	45
Figure 13: Absorbance et transmittance en UV-Vis de biofilms avec différentes concentrations de polyphénol et huile essentielle.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 14: Transparence et opacité des films bioplastiques enrichis en huile essentielle ou en polyphénols de <i>Deverra scoparia</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 15: Évaluation de l'activité antioxydante (ABTS, DPPH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) des des bioplastiques enrichis en composés bioactifs HE et PP.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 16: Biodégradation dans le sol de biofilms testés par mesure de la perte de masse en fonction de temps .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figure 17: Biodégradation dans l'eau de biofilms testés par mesure de la perte de masse en fonction de temps .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## *Liste des figures*

**Liste des tableaux :**

Tableau 1: Les principaux composés identifiés dans les huiles essentielles de la plante *Deverra scoparia* .....6

Tableau 2: les principaux composés identifiés dans les polyphénols de la plante *Deverra scoparia* .....7

Tableau 3: Caractéristiques organoleptiques et physiques des HE de *Deverra scoparia* .**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 4: Composés majoritaires des huiles essentielles de *Deverra scoparia* Coss. & Dur analysées par GC/MS ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 5: Zones d'inhibition (en mm) de l'huile essentielle contre les souches testées .**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 6: Paramètres physiques des films bioplastiques à base d'amidon enrichis en huile essentielle ou en polyphénols de *Deverra scoparia* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tableau 7: Paramètres de couleur et indice de blancheur des films des huiles essentielles et polyphénols de la plant *Deverra Scoparia* avec différents pourcentages**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 8: Biodégradation dans le sol de biofilms testés par analyse d'image .....**Error! Bookmark not defined.**

Tableau 9: Test de conservation des aliments sur un morceau de banane .... **Error! Bookmark not defined.**

## Extraction des polyphénols et des huiles essentielles à partir de la plante *Deverra scoparia* et leur application

### Résumé

Face à la problématique environnementale liée à l'accumulation de plastiques d'origine pétrochimique, cette étude vise à développer un film bioplastique biodégradable, enrichi en composés bioactifs extraits de *Deverra scoparia*, une plante médicinale locale. L'objectif principal est de valoriser les huiles essentielles et les polyphénols issus de cette plante dans l'élaboration d'un matériau d'emballage alimentaire à propriétés fonctionnelles.

Les huiles essentielles ont été extraites par hydrodistillation, tandis que les polyphénols ont été isolés par macération hydro-alcoolique. Ces extraits ont été incorporés dans une matrice d'amidon selon la méthode du « casting » pour produire des films bioplastiques. Ces derniers ont été caractérisés par des analyses physico-chimiques, structurales, optiques et biologiques, incluant l'évaluation de leur activité antioxydante et antimicrobienne.

Les résultats ont montré que les films enrichis présentent une stabilité structurelle, une activité antioxydante élevée (notamment contre le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), et une efficacité antimicrobienne significative contre plusieurs souches pathogènes. L'essai de conservation alimentaire réalisé sur des tranches de banane a confirmé l'efficacité des films à limiter l'oxydation à l'air.

Ces résultats confirment le potentiel des films développés comme matériaux d'emballage actifs, biodégradables, et respectueux de l'environnement.

**Mots-clés :** *Deverra scoparia*, huiles essentielles, polyphénols, bioplastique, activité antioxydante, activité antimicrobienne, emballage alimentaire.

### استخلاص البوليفينولات والزيوت العطرية من نبات *Deverra scoparia* وتطبيقاتها

#### الملخص:

نظرًا للمشاكل البيئية المتزايدة الناتجة عن تراكم المواد البلاستيكية ذات الأصل البتروكيميائي، تهدف هذه الدراسة إلى تطوير فيلم بيوبلاستيكي قابل للتحلل الحيوي، مدعم بمركبات نشطة بيولوجيًا مستخلصة من نبات *Deverra scoparia*، وهو نبات طبي محلي. الهدف الأساسي من هذا العمل هو تامين الزيوت الأساسية والبوليفينولات المستخلصة من هذه النبتة في إنتاج مادة تغليف غذائي ذات خصائص وظيفية.

تم استخراج الزيوت الأساسية بواسطة التقطير المائي، بينما استُخلصت البوليفينولات عن طريق النقع في محلول مائي كحولي. ثم أُدمجت هذه المستخلصات في مصفوفة نشوية باستخدام تقنية الصب الحر، لإنتاج أفلام بيوبلاستيكية. خضعت هذه الأفلام لتوصيف شامل من خلال تحاليل فيزيائية-كيميائية، وبنوية، والضوئية، وبيولوجية، شملت تقييم النشاط المضاد للأوكسدة والنشاط المضاد للبكتيريا.

أظهرت النتائج أن الأفلام المدعّمة تتميز بثبات هيكلي جيد، ونشاط مضاد للأوكسدة مرتفع) خاصة ضد ( $H_2O_2$ )، وفعالية مضادة للميكروبات ضد عدة سلالات ممرضة. كما أكد اختبار الحفظ الغذائي على شرائح الموز كفاءة هذه الأفلام في الحد من الأوكسدة الهوائية.

تؤكد هذه النتائج الإمكانيات الكبيرة للأفلام المطوّرة كمادة تغليف نشطة، قابلة للتحلل، وصديقة للبيئة.

**الكلمات المفتاحية:** *Deverra scoparia*، الزيوت الأساسية، البوليفينولات، البيوبلاستيك، النشاط المضاد للأوكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا، التغليف الغذائي

## **Extraction of polyphenols and essential oils from the plant *Deverra scoparia* and their application**

### **Abstract**

In light of the growing environmental concerns caused by the accumulation of petrochemical-based plastics, this study aimed to develop a biodegradable bioplastic film enriched with bioactive compounds extracted from *Deverra scoparia*, a local medicinal plant. The primary objective was to valorize essential oils and polyphenols obtained from this plant in the formulation of a food packaging material.

Essential oils were extracted using hydrodistillation, while polyphenols were obtained through hydroalcoholic maceration. These extracts were incorporated into a starch matrix using the casting method to produce bioplastic films. The films were thoroughly characterized using physical, chemical, structural, optical, and biological analyses, including assessments of their antioxidant and antimicrobial activities.

The results showed that the enriched films demonstrated structural stability, high antioxidant activity (especially against  $H_2O_2$ ), and significant antimicrobial effects against several pathogenic strains. A food preservation test on banana slices confirmed the films' ability to reduce oxidative degradation in open air.

These findings highlight the potential of the developed films as active, biodegradable, and eco-friendly packaging materials.

**Keywords:** *Deverra scoparia*, essential oils, polyphenols, bioplastic, antioxidant activity, antimicrobial activity, food packaging.



# **Introduction**

### **Introduction**

Face aux préoccupations croissantes liées à l'utilisation massive de plastiques conventionnels issus de ressources fossiles, notamment dans le domaine de l'emballage alimentaire, il est devenu impératif d'explorer des alternatives durables et respectueuses de l'environnement. L'usage intensif de polymères synthétiques a entraîné des effets néfastes sur la santé humaine et les écosystèmes, en particulier marins, en raison de l'accumulation de microplastiques et de composés chimiques toxiques (Groh *et al.*, 2019). De plus, ces matériaux peuvent contaminer les aliments lors des procédés thermiques, soulignant ainsi la nécessité urgente de solutions d'emballage plus sûres et efficaces (Alabi *et al.*, 2019).

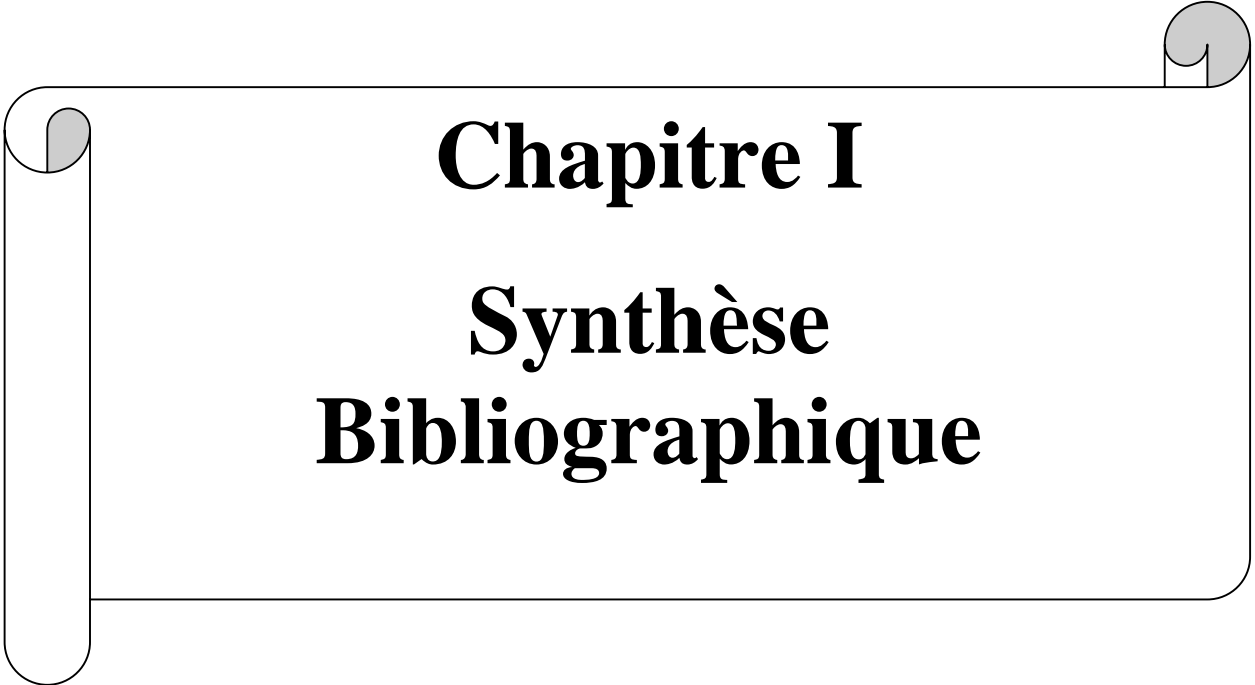
Dans cette optique, les biopolymères biodégradables issus de sources naturelles telles que les polysaccharides (amidon et autre) et la biomasse microbienne ont suscité un intérêt considérable en tant qu'alternatives prometteuses aux plastiques conventionnels. Toutefois, ces matériaux présentent souvent des limites en termes de propriétés mécaniques et de barrière, nécessitant ainsi leur renforcement par l'incorporation de composés bioactifs pour améliorer leurs performances fonctionnelles (Raj *et al.*, 2023).

Parmi les approches les plus novatrices figure l'intégration de substances bioactives – telles que les huiles essentielles et les polyphénols extraits de plantes médicinales – dans la matrice des bioplastiques. Ces composés présentent des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et antifongiques, grâce à leur richesse en phénols, terpènes, esters et alcools aromatiques, conférant ainsi aux films d'emballage une capacité à prolonger la durée de conservation des aliments et à renforcer leur sécurité sanitaire (Criado *et al.*, 2018 ; Adel *et al.*, 2019 ; Sharma et Barkauskaite, 2020).

Par ailleurs, l'exploration des antioxydants naturels d'origine végétale constitue aujourd'hui une étape essentielle dans le développement de traitements alternatifs. Les plantes médicinales, connues pour leurs propriétés pharmacologiques, sont considérées comme des sources riches en composés capables de prévenir diverses maladies chroniques. De nombreuses études ont mis en évidence l'efficacité des substances phytochimiques, notamment les polyphénols, dans la neutralisation des radicaux libres, contribuant ainsi à la réduction de l'incidence et de la mortalité liées aux maladies associées au stress oxydatif (Karbab *et al.*, 2020).

Dans ce contexte, notre travail vise à développer un bioplastique innovant à base d'amidon, enrichi en huile essentielle et en polyphénols extraits de plantes médicinales locales,

afin d'obtenir un matériau d'emballage biodégradable doté de propriétés antimicrobiennes et antioxydantes. Cette approche représente une solution prometteuse, non seulement pour la conservation optimale des denrées alimentaires, mais aussi pour la réduction de la pollution plastique et la protection de l'environnement.



**Chapitre I**

**Synthèse**

**Bibliographique**

## I.1 Généralités sur *Deverra scoparia* Coss. & Dur

### I.1.1. Présentation de la plante

*Deverra scoparia* Coss. & Dur ou (*Pituranthos scoparius* Coss. & Dur) une espèce endémique de la famille Apiaceae, est communément désignée par les termes vernaculaires "Guezzah" et "Tattai" (Ksouri et al.,2017).

Parfaitement adaptée aux conditions arides, cette Apiaceae est commune dans les pâturages rocailloux d'Afrique du Nord. En Algérie, elle est particulièrement bien représentée dans les zones montagneuses et désertiques (Quezel., 1963).



**Figure 1: *Deverra scoparia* Coss. & Dur(original)**

Cette plante, caractérisée par ses tiges dressées, ramifiées en leur partie supérieure, et des fleurs regroupées en ombelles. Ses pétales, étroitement veinés, confèrent à la plante un aspect caractéristique (Benras., 2024).

### I.1.2. Répartition géographique

*Deverra scoparia* est endémique d'Afrique du Nord, présente une répartition contrastée commune dans le nord du Sahara, elle se raréfie vers le sud, mais forme des populations denses sur les plateaux du Tassili et du Hoggar, en particulier dans les lits d'oueds caillouteux. (Hammoudi., 2015).

### I.1.3. Position systématique

**Règne :** Plantae

**Classe :** Magnoliopsida

**Ordre :** Apiales

**Famille :** Apiaceae

**Genre :** *Deverra*

**Espèce :** *Deverra scoparia* Coss. Et Dur. (**Bull. Herb. Boissier 2: 209 1894**)

#### **I.1.4. Utilisation**

D'après Adida *et al.*, (2014), cette plante possède des propriétés médicinales reconnues par les populations locales, qui l'utilisent traditionnellement pour traiter un large éventail de maux, tels que la rougeole, le rhumatisme, l'asthme et la jaunisse. Ses propriétés aromatiques en font également un condiment apprécié, notamment pour affiner le fromage et aromatiser le beurre de chèvre (Hammoudi., 2015). De plus, elle est utilisée pour soulager la diarrhée, les douleurs dorsales, l'eczéma et faciliter la digestion. Les Touareg l'intègrent également à leur cuisine comme aromate pour la viande et le pain. (Benras., 2024).

#### **I.1.5. Activités biologiques**

Les études menées sur la famille Apiaceae, notamment sur *Deverra scoparia*, mettent en évidence un potentiel thérapeutique significatif. Ces plantes présentent des propriétés antioxydantes, antitumorales, cytotoxiques et chimiopréventives. De plus, elles exercent des effets diurétiques, hépato-protecteurs, anti-inflammatoires, antalgiques et antipyrétiques (Adida *et al.*, 2014 ; Hammoudi *et al.*, 2015 ; Harchaoui., 2019 ; Brahimi., 2019 ;).

#### **I.1.6. Métabolites secondaires**

##### **I.1.6.a. Huiles essentielles du *Deverra scoparia***

*Deverra scoparia* est une plante connue pour ses propriétés aromatiques et médicinales. Son huile essentielle est particulièrement intéressante en raison de sa richesse en composés bioactifs, comme les terpènes et les phénols, qui lui confèrent plusieurs effets bénéfiques. En effet, différentes études ont montré que ces substances peuvent agir comme antibactériens, antioxydants et anti-inflammatoires. Grâce à ces propriétés, l'huile essentielle de *Deverra scoparia* suscite un intérêt croissant, notamment pour son potentiel d'utilisation dans des domaines divers. Le tableau 01 récapitulatif des recherches précédentes est présenté ci-dessous pour illustrer les principaux composés identifiés dans les huiles essentielles de la plante *Deverra scoparia*.

**Tableau 1: Les principaux composés identifiés dans les huiles essentielles de la plante *Deverra scoparia***

Lieu de collecte	Période de collecte	Principaux constituants (%)	référence
Tamanrasset	2012	L- $\alpha$ -bornyl acétate ( 31.997%) ,(+)-Epi-bicyclosésquiphellandrène ( 8.419%),Eremophelène (8.15%), $\gamma$ -Cadinène ( 6.293%), $\beta$ -Eudesmol (5.225%),Trans-Caryophyllène ( 4.347%), $\alpha$ -pinène ( 12.055%)	Hammoudi <i>et al.</i> (2015)
Souk-Ahras	Avril 2014	Sabinène (16,3 ; 26,5), $\alpha$ -pinène (34,4 ; 23,6), p-cymène (10,1 ; 8,6), $\alpha$ -thujène (5,3 ; 5,7), $\beta$ -pinène (5,5 ; 2,4), terpinéol-4 (4,1 ; 9,7)	Chikhouné <i>et al.</i> , 2016
Tamanrasset (Hoggar)	Mars 2012	Limonène (46,9), 1,8-cinéole (7,6), spathuléol (2,5), $\beta$ -eudesmol (2,4), ar-Curcumène (3,2)	Ksouri <i>et al.</i> , 2017
Béchar	2018	6-méthoxy élémicine (13,0 - 59,6%), sabinène (1,1 - 43,0%) ,limonène (6,6 - 39,0%), $\alpha$ pinène (0,7 - 8,4%), germacrène D (0,2 - 8,3%) , terpinéol-4 (0,3 - 7,0%) , myristicine (jusqu'à 0,3%), l'élémicine (jusqu'à 0,4%) ,l'apiole dill (jusqu'à 0,1%)	Malti <i>et al.</i> , 2019
Ghardaïa		limonène (9,2 - 44,0%) , myristicine (0,0 - 29,4%), l' $\alpha$ -pinène (5,9 - 22,1%), l' $\alpha$ -phellandrène (6,2 - 17,8%) , sabinène (0,8 - 2,3%) . , germacrène D (jusqu'à 9,5%), $\beta$ -pinène (jusqu'à 7,3%), p-cymène (jusqu'à 6,8%) , apiole dill (jusqu'à 5,7%) .	
Biskra, Batna		deux sous-groupes :Limonène (0,3 - 4,5%). Le sous-groupe A é : sabinène (28,0 - 55,6%), l'élémicine (0,0 - 29,1%), sous-groupe B :sabinène (6,2 - 35,5%) myristicine (1,5 - 32,4%), $\alpha$ -pinène (4,2 - 31,0%) apiole dill (0,1 - 31,4%).	
Tamanrasset	November 2023	Limonene (20.35%) , $\alpha$ -Terpinolene (20.42%), N-Butylidene-phthalide (12.95%) $\alpha$ -Pinene (17.37%), $\beta$ -Ocimene (6.75%), 1-Phellandrene (5.27%), $\alpha$ -Thujene (5.04%), Dillapiole (3.35%), and $\beta$ -Eudesmol (3.47%).	Boukhalfa <i>et al.</i> , 2023

#### I.1.6.1.b Polyphénols du *Deverra scoparia*

*Deverra scoparia* est également une source intéressante de polyphénols, des composés naturels bien connus pour leurs puissantes propriétés antioxydantes. Ces substances jouent un rôle important dans la protection des cellules contre le stress oxydatif et contribuent à divers effets bénéfiques sur la santé, notamment des activités anti-inflammatoires, antimicrobiennes

et même anticancéreuses selon certaines études. Grâce à cette richesse en polyphénols, *Deverra scoparia* est de plus en plus étudiée comme plante médicinale prometteuse. Le tableau 02 ci-après présente les principaux polyphénols isolés à partir de cette plante, tels que rapportés dans la littérature scientifique.

**Tableau 2: les principaux composés identifiés dans les polyphénols de la plante *Deverra scoparia***

Lieu de collecte	Période de collecte	Principaux constituants (%)	Référence
Tamanrasset	Non précisée	Acide rosmarinique (28,44%), acide salicylique (21,81%), lutéoline (6,96%), apigénine (5,70%), kaempférol (3,63%)	Harchaoui <i>et al.</i> (2018)
Tamanrasset	Non précisée	Myristicine (jusqu'à 58,19%), dill apiole (jusqu'à 25,52%), (Z)-ligustilide (jusqu'à 27,5%)	Benarfa <i>et al.</i> (2020)
Ghardaïa	2022	Alcaloïdes, terpènes, flavonoïdes, tanins, coumarines	Hammoudi <i>et al.</i> (2022)

## I.2. Bioplastique

L'industrie des plastiques et des composites innove constamment pour répondre aux exigences de l'économie circulaire. L'utilisation de matières renouvelables au lieu de ressources fossiles est considérée comme une avancée positive pour l'environnement. Les plastiques biosourcés sont fabriqués à partir de matières renouvelables d'origine terrestre, marine ou micro-organismes. L'amidon, un glucide complexe présent dans les plantes, est une matière première agricole importante utilisée dans diverses industries, y compris la production de plastiques biosourcés et biodégradables (Randriamihoatra., 2019).

### I.2.1 Définition

Les bioplastiques sont des matériaux qui peuvent être à la fois biosourcés (fabriqués à partir de matières organiques renouvelables) et biodégradables (se décomposant naturellement sous l'action de micro-organismes). Ces matériaux innovants suscitent un grand intérêt au 21<sup>ème</sup> siècle, et leur production et leur consommation connaissent une croissance mondiale. Cependant, il est essentiel d'évaluer attentivement ces matériaux en termes de gestion des déchets et de durabilité. Il est important de noter que tous les plastiques biosourcés ne sont pas

nécessairement biodégradables, et inversement, tous les plastiques biodégradables ne sont pas forcément biosourcés (Tonuk *et al.*, 2016 ; Ashter *et al.*, 2016).

### I.2.2 Classification de bioplastique

Les bioplastiques peuvent être classés selon différents critères : leur composition chimique, leur méthode de synthèse, leur procédé de fabrication, leur importance économique ou encore leurs applications. La figure illustre les quatre principaux groupes de plastiques biodégradables, qui sont définis en fonction de leur origine (biosourcée ou fossile) et de leur capacité à se biodégrader (La pointe., 2012)

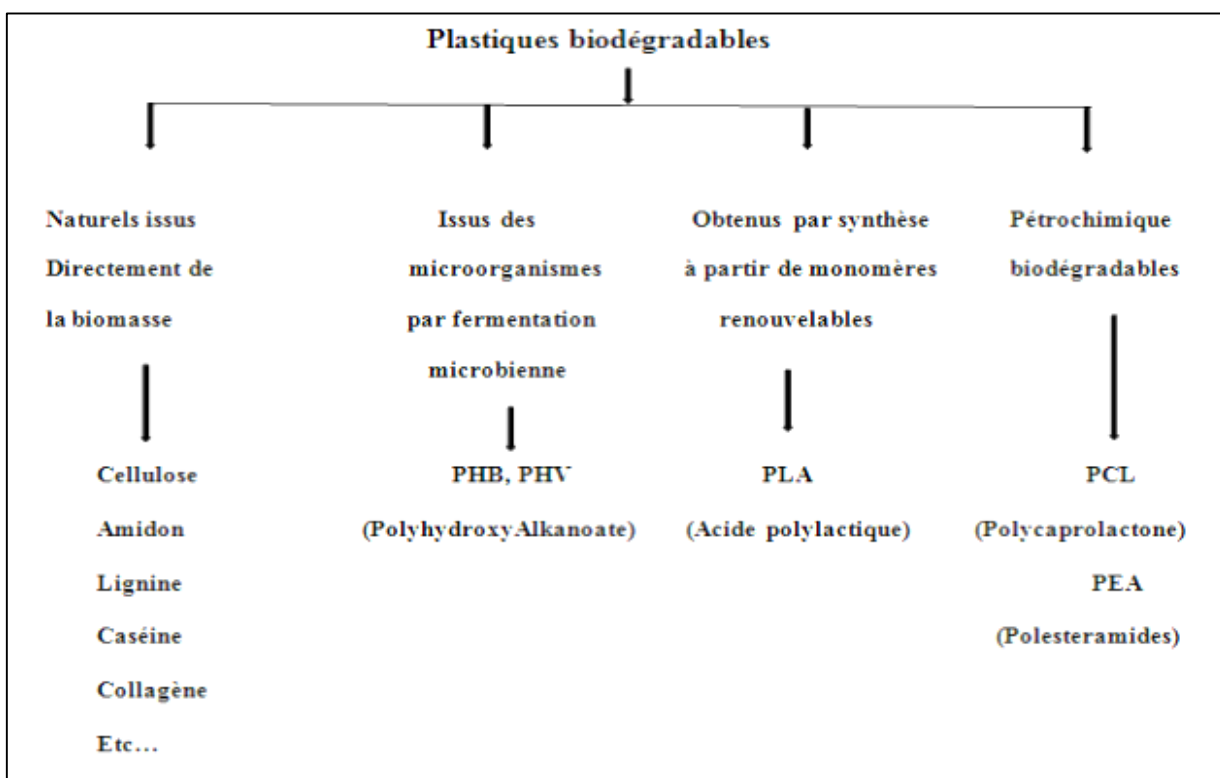


Figure 2: Classification de bioplastique(La pointe., 2012)

### I.2.3. Bioplastique et emballage

Devant les défis environnementaux considérables engendrés par l'accumulation des plastiques issus de la pétrochimie dans les écosystèmes marins, ainsi qu'aux préoccupations croissantes quant à l'usage de matériaux non biodégradables dans l'emballage, la recherche scientifique s'oriente vers le développement de biomatériaux recyclables, biodégradables et compostables, issus de sources renouvelables (Ncube *et al.*, 2020). Ces biopolymères, conçus dans le respect des normes de sécurité sanitaire, présentent une bonne résistance aux conditions de conservation variées des denrées alimentaires, tout en étant adaptés au contact direct avec celles-ci (Roohi *et al.*, 2018). Grâce à leur origine biosourcée, leur capacité à réduire la

dépendance aux énergies fossiles et à limiter les émissions de gaz à effet de serre, les bioplastiques attirent un intérêt croissant dans les domaines de la conception industrielle, de l'architecture et de la science des matériaux (Pavlovskaya *et al.*, 2020). En tant qu'alternatives plus durables aux plastiques traditionnels, ils offrent une biodégradabilité accrue et un impact environnemental moindre (Muller *et al.*, 2017)

Dans le domaine de l'emballage alimentaire, les films bioplastiques présentent plusieurs avantages pratiques, notamment la prolongation de la durée de conservation des aliments, tout en permettant l'intégration de propriétés actives ou antimicrobiennes (Sone Aung *et al.*, 2018). De plus, l'essor de ces matériaux s'inscrit dans un contexte économique marqué par l'augmentation de la consommation alimentaire et la montée des prix, ce qui accentue l'intérêt pour des emballages fonctionnels, refermables et faciles à utiliser. Toutefois, l'utilisation de ressources agricoles pour la production de bioplastiques soulève également des questions stratégiques, car ces matières premières sont également en concurrence avec l'alimentation humaine, transformant les terres agricoles en un enjeu économique de haute valeur (Kadri., 2024).

Aujourd'hui, les bioplastiques sont couramment utilisés dans la vie quotidienne, en particulier dans la fabrication d'emballages alimentaires variés. On les retrouve sous forme de bouteilles, sacs, boîtes, plateaux et contenants rigides, ce qui témoigne d'une offre industrielle mature et diversifiée. Plusieurs grands producteurs internationaux dominent ce marché en pleine expansion, proposant des solutions concrètes et déjà adoptées dans divers segments de l'emballage. Cette évolution témoigne non seulement du potentiel des bioplastiques comme matériaux d'avenir, mais souligne également l'importance stratégique de leur développement dans une perspective de transition écologique, économique et alimentaire durable (Laifa., 2016)



# **Chapitre II**

## **Matériels et méthodes**

Le travail expérimental a été réalisé au niveau du laboratoire pédagogique de la faculté sciences de la nature et de la vie de l'université Kasdi Merbah Ouargla, laboratoire Biogéochimie des milieux désertiques et le laboratoire CRAPC Ouargla pendant 04 mois.

### **II.1. Matière végétale**

Dans cette étude, la plante sélectionnée est de : *Deverra scoparia* (Ghezah). Elle est récoltée à Metlili (Ghardaïa N 3°38'13"E"46'32°16) en novembre 2024.

Le séchage de l'échantillon s'est déroulé à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Une fois sèche, la plante a été broyée, puis soigneusement stockée dans un endroit sec.



**Figure 3: La plante *Deverra scoparia* (a) après séchage et (b) après broyage**

### **II.2. Extraction des huiles essentielles**

L'hydrodistillation a été réalisée à l'aide d'un appareil de Clevenger afin d'extraire les huiles essentielles de la plante.

Cette technique repose sur la libération des composés aromatiques volatils des cellules végétales sous l'action de l'eau chaude. Après condensation dans un réfrigérant, ces molécules forment les huiles essentielles. 100g de matière végétale sèche ont été placés dans un ballon d'1 L, puis recouverts d'eau distillée. Le mélange a été porté à ébullition pendant trois à quatre heures. Les huiles essentielles, entraînées par la vapeur d'eau, se sont condensées dans le réfrigérant, formant un distillat biphasique. La phase organique, constituée des huiles essentielles, a été séparée de la phase aqueuse par décantation (Marković, 2019).

Le calcul du rendement d'extraction s'est effectué selon la relation suivante :

$$R=100 \times (m/M).$$

**m** : la masse de l'huile essentielle ;

**M** : la masse de la charge végétale.

### **II.3. Extraction des polyphénols par macération**

Cette étape consiste à extraire le maximum des substances actives contenues dans les plantes en utilisant l'éthanol comme solvant organique auquel nous avons ajouté une quantité d'eau pour en augmenter la polarité. Une quantité de 10 g de plante sèche et finement broyée est macérée dans 100 ml éthanol-eau dans une proportion de (70:30) en volume, pendant 24H. Les macérations hydroéthanoliques ainsi obtenues sont filtrées sur papier filtre, puis évaporées à sec sous vide à l'aide d'un rotavapeur à 40°C (Hammoudi., 2015).

### **II.4. Caractérisation des extraits**

#### **II.4.1 Caractéristiques des huiles essentielles par chromatographie couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS)**

La composition chimique d'huile essentielle de *Deverra scoparia* a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un chromatographe GCMS-TQ Séries, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme. Les conditions chromatographiques étaient les suivantes : colonne Rxi-5Sil MS (apolair), 30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre interne et 0,25 µm d'épaisseur de film ; température de l'injecteur : 250°C (mode split 1/60) ; température du détecteur (MS) : 200°C ; programmation de la température : 40°C pendant 3 minutes, puis augmentation jusqu'à 300°C en 15 minutes ; gaz vecteur : hélium (He) à un débit de 3 mL/min. Cette technique permet d'identifier et de quantifier les différents composés chimiques présents dans les huiles essentielles, offrant ainsi une caractérisation précise de leur composition.

#### **II.4.2 Dosage des polyphénols totaux**

Les composés phénoliques interagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu, un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ). Lors

de l'oxydation des polyphénols, ces acides sont réduits en oxydes de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ), produisant une coloration bleue avec une forte absorption à une longueur d'onde de 765 nm. Dans cette méthode, l'acide gallique est utilisé comme phénol de référence (Annexe 01) (Karbab et al., 2020).

A partir d'une solution mère préparée de l'acide gallique de concentration 1mg/ml, des solutions filles sont préparées avec des concentrations allant de 0.004 mg/ml à 0.5mg/ml. 100  $\mu$ L de chaque concentration, sont introduits dans des tubes à essais. Après 2 minutes, on ajoute 2000  $\mu$ L de carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ ) à 7.5% (m/v) (favoriser un milieu alcalin pour déclencher la réaction d'oxydoréduction). Puis 500  $\mu$ L du réactif de Folin-Ciocalteu à (10%) ont été ajoutés. Les solutions sont maintenues à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante. La lecture de l'absorbance de chaque solution est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis à une longueur d'onde de 765 nm contre un blanc. Pour les extraits phénoliques, les mesures ont été réalisées par la même procédure. Toutes les manipulations sont répétées 3 fois. Le contenu phénolique total (TPC) est exprimé par mg EAG/g d'extrait.

## **II.5. Incorporation des extraits dans la synthèse de bioplastiques**

### **II.5.1. Préparation des bioplastiques**

Dans le cadre de ce travail, des biofilms à base d'amidon ont été élaborés en enrichis en huile essentielle de *Deverra scoparia* (HE) et en polyphénols (PP) . La méthode de fabrication adoptée est celle du coulage en solution (solvent casting), largement décrite dans la littérature (El miri et al., 2015 ; López-Chávez et al., 2017 ; Araya et al., 2021), avec quelques modifications apportées pour optimiser la formulation suite à des essais préliminaires.

Pour préparer le film témoin (ou film pur), 4 % d'amidon natif ont été dissous dans 100 ml d'eau distillée, avec du glycérol ajouté comme agent adoucissant. Le mélange a été bien agité pendant 10 minutes à température ambiante, puis chauffé à 50°C jusqu'à ce que la température de gélification soit atteinte tout en maintenant un rapport massique amidon/glycérol constant de 70/30 jusqu'à l'obtention d'une solution homogène. Une fois la solution bien homogénéisée, elle a été versée dans une boîte de Pétri propre et laissée sécher à température ambiante. La même procédure a été appliquée pour fabriquer des films réticulés, cette fois chargés par différentes concentrations d'extraits naturels huile essentielle (HE) ou polyphénols (PP).

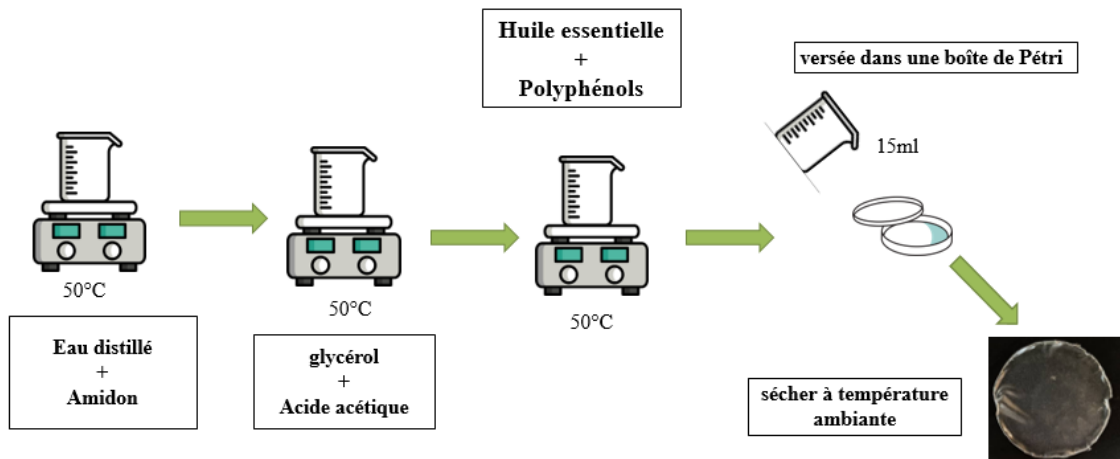


Figure 4: Schéma de synthèse d'un bioplastique

## II.5.2. Caractérisation des bioplastiques

### II.5.2.1. Caractérisation physique

#### a. Épaisseur et densité

L'épaisseur des films a été déterminée à l'aide d'un pied à coulisse électronique numérique, possédant une sensibilité de 1  $\mu\text{m}$ . Les mesures ont été réalisées en cinq points différents répartis sur la surface de chaque film, afin de tenir compte des éventuelles variations d'épaisseur. Les valeurs moyennes obtenues ont ensuite été utilisées pour l'évaluation de la perméabilité à la vapeur d'eau des films. La détermination des densités ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) des films biocomposites a été réalisée selon la méthode proposée par Raj *et al.* (2023).

#### b. Teneur en eau

Le taux d'humidité des films a été déterminé en évaluant la variation de leur masse avant et après un séchage effectué dans une étuve maintenue à une température de  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ , et ce, jusqu'à l'obtention d'un poids constant correspondant au poids sec de l'échantillon. Afin d'assurer la fiabilité des résultats, chaque mesure a été réalisée en triplicata (Kadri, 2024). La teneur en humidité a été calculée selon la relation suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = ((m_1 - m_2) / m_1) \times 100$$

Où  $m_1$  représente la masse initiale du film avant séchage, et  $m_2$  correspond à la masse du film après séchage dans les conditions précédemment décrites.

**c. Solubilité dans l'eau**

La solubilité des films dans l'eau a été évaluée en déterminant le pourcentage de perte de masse des échantillons après immersion dans de l'eau distillée, conformément à la méthode décrite par Araya *et al.* (2021). L'analyse a été réalisée 15 jours après la préparation des films afin de garantir leur stabilisation. Avant l'immersion, chaque échantillon de film a été préalablement séché à 105°C pendant 24 heures afin de déterminer sa masse initiale (Mi). Par la suite, des échantillons de forme rectangulaire (20 mm × 20 mm) ont été immergés dans 50 ml d'eau distillée et soumis à une agitation de 100 tr/min dans un agitateur orbital pendant 24 heures. Après cette période, les films ont été récupérés, séchés de nouveau à 105°C pendant 24 heures, puis pesés afin de déterminer la masse résiduelle non dissoute (Mf). La solubilité des films dans l'eau a été calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Solubilité dans l'eau (\%)} = ((M_i - M_f) / M_i) \times 100$$

Où Mi représente la masse initiale de l'échantillon, Mf la masse finale après séchage, et WS le pourcentage de solubilité du film dans l'eau.

**e. Perméabilité et transmission à la vapeur d'eau (WVP)**

La perméabilité à la vapeur d'eau (WVP) constitue un paramètre essentiel pour évaluer les performances des matériaux d'emballage, notamment dans la conservation des aliments sensibles à l'humidité (Shojaeiarani, Bajwa et Chanda, 2021 ; Rangappa *et al.*, 2020). Les films polymères, en raison de leur structure semi-perméable, peuvent favoriser le passage de la vapeur d'eau, entraînant ainsi une altération des aliments. Il est donc indispensable de déterminer le taux de transmission de la vapeur d'eau (WVTR) afin de sélectionner un matériau d'emballage adéquat.

Les échantillons de films ont été fixés hermétiquement sur des tubes à essai contenant de KCl, puis placés dans un dessiccateur contenant de l'eau distillée à 25°C. La masse a été suivie pendant 5j.

Le taux de transmission de la vapeur d'eau (WVTR) a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{WVTR} = W / (t \times A)$$

Où W est la perte de masse (g), t le temps d'essai (h) et A la surface du film (m<sup>2</sup>).

La perméabilité à la vapeur d'eau (WVP) a ensuite été calculée à partir de l'équation :

$$\text{WVP} = (\text{WVTR} \times L) / \Delta P$$

Où  $L$  est l'épaisseur du film (m) et  $\Delta P$  la différence de pression de vapeur d'eau entre les deux faces du film (Pa).

### **II.5.2.2 Caractérisation chimique**

#### **a. Teneur en cendres**

La teneur en cendres d'un échantillon est déterminée selon la méthode suivante : un creuset contenant l'échantillon préalablement séché est placé dans un four à moufle à une température de 500 °C à 600°C pendant 5 heures. Ensuite, le creuset est retiré du four et placé dans un dessiccateur afin de le ramener à température ambiante. Une fois refroidi, le creuset contenant les résidus est pesé de nouveau pour calculer la teneur en cendres (Gupta *et al.*, 2022).

### **II.5.2.3. Caractérisation structurelle des bioplastiques**

#### **a. Infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)**

La spectroscopie infrarouge (IR) constitue une technique d'analyse efficace permettant de distinguer les composés organiques et inorganiques en fonction de leurs modes de vibrations caractéristiques (déformation, allongement) des liaisons chimiques excitées par le rayonnement IR (Yahiaoui, 2011). L'analyse comparative entre le rayonnement incident et le rayonnement transmis permet d'identifier les principales fonctions chimiques présentes dans l'échantillon.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) est couramment utilisée pour l'étude des polymères, l'évaluation de leur degré de polymérisation, ainsi que pour la détection des nouvelles liaisons formées entre polymères et fibres, à travers l'analyse des variations de fréquence et d'intensité des bandes d'absorption (Boudjema, 2016).

Dans cette étude, les spectres IR des biofilms ont été enregistrés à l'aide d'un spectromètre, opérant dans la plage de 400 à 4000  $\text{cm}^{-1}$  avec une résolution de 4  $\text{cm}^{-1}$ . Les biofilms ont été directement fixés sur le support d'échantillon pour l'acquisition des spectres.

#### **b. Diffraction des rayons X (DRX)**

La diffraction des rayons X (DRX) constitue une technique d'analyse structurale permettant d'évaluer l'état de dispersion des charges ou des matériaux incorporés dans une matrice polymère. Dans le cadre de cette étude, les analyses DRX en mode réflexion, en utilisant un rayonnement Cu-K $\alpha$ . (Yahiaoui, 2016).

#### **11.5.2.4. Caractérisation morphologique**

##### **a. Microscope électronique à balayage (MEB)**

Le microscope électronique à balayage (MEB) est un outil d'analyse permettant d'obtenir des images en haute résolution des surfaces d'échantillons, grâce à un faisceau d'électrons focalisé. Les interactions entre les électrons incidents et les atomes de l'échantillon génèrent des signaux permettant d'obtenir des informations précises sur la topographie, la composition chimique et la structure de surface en trois dimensions (Kadri, 2024).

Dans cette étude, la morphologie des surfaces des films a été caractérisée par microscopie électronique à balayage (MEB). Les échantillons, de dimensions 20 mm  $\times$  20 mm, ont été fixés sur des supports à l'aide d'un adhésif conducteur, puis recouverts d'une fine couche de carbone à l'aide d'un métalliseur. L'observation a été réalisée sous une tension d'accélération de 15 kV après dépôt d'une couche d'or pour améliorer la conductivité des échantillons.

#### **II.5.2.5. Caractérisation optique**

Les propriétés optiques des films influencent directement leurs performances et leur utilisation, ce qui en fait des matériaux de grande importance dans diverses industries (Muralidharan *et al.*, 2020).

Les films bioplastiques, en raison de leurs applications multiples dans des secteurs tels que l'emballage, l'agriculture et d'autres industries, nécessitent une évaluation approfondie de leurs caractéristiques optiques. Parmi les propriétés optiques clés, on retrouve l'absorbance dans la plage UV-visible, la transparence et la couleur.

##### **a. Absorbance UV-visible**

Le spectre UV-visible des films a été obtenu selon la méthode standard décrite par Janani *et al.* (2020). Les spectres ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis dans une gamme de longueurs d'onde de 200 à 800 nm.

**b. Transparence**

La transparence des échantillons de biofilms a été mesurée à 600 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Les mesures ont été répétées trois fois pour assurer la fiabilité des résultats. La transparence a été calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Transparence} = (-\log T_{600}) / x$$

Où  $T_{600}$  est la transmittance fractionnelle à 600 nm et  $x$  représente l'épaisseur des biofilms (en mm).

**c. Opacité**

La mesure de la couleur et les estimations de l'opacité ont été utilisées pour mener une analyse optique des films. La procédure de mesure de l'opacité des films utilisée est celle décrite par Gupta *et al.* (2021). Le film a d'abord été découpé en bandes rectangulaires de (10 mm × 40 mm), puis placé dans une cellule de test d'un spectrophotomètre UV-Vis. Le spectre d'absorption du film a été enregistré dans la plage de (200–800) nm. L'opacité a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{Opacité} = A_{600} / \text{mm}$$

Où  $A_{600}$  est l'absorbance à 600 nm et **mm** est l'épaisseur du film.

**e. Indice de blancheur**

À l'aide d'un colorimètre, les valeurs de couleur selon le système Hunter ( $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$ ) ont été calculées. L'équation a été utilisée pour calculer l'indice de blancheur du film à partir de ces valeurs (Elsebaie et al., 2023).

$$\text{Indice de blancheur} = 100 - \sqrt{a^2 + (100 - L)^2 + b^2}$$

**f. Couleur**

Les caractéristiques colorimétriques des films ont été déterminées selon les trois paramètres standards du système CIELAB :  $L^*$  (luminosité),  $a^*$  (axe rouge-vert) et  $b^*$  (axe jaune-bleu). Pour évaluer la variation de teinte entre les échantillons de films composites et une tuile de référence, la différence de couleur globale ( $\Delta E$ ) a été calculée à l'aide d'une formule spécifique. Des valeurs plus faibles de  $\Delta E$  indiquent une meilleure correspondance chromatique entre le film et la tuile standard, traduisant une uniformité visuelle accrue (Sharma *et al.*, 2020).

Les mesures colorimétriques ont été effectuées à l'aide d'un colorimètre. L'appareil a été préalablement calibré à l'aide d'une plaque blanche de référence présentant les valeurs suivantes :  $L = 93,97$ ,  $a = -0,88$  et  $b = 1,21$ . Chaque film a été analysé en trois points distincts, puis les moyennes des valeurs  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  ainsi que les écarts-types ont été calculés. La différence de couleur ( $\Delta E$ ) a ensuite été déterminée selon l'équation suivante :

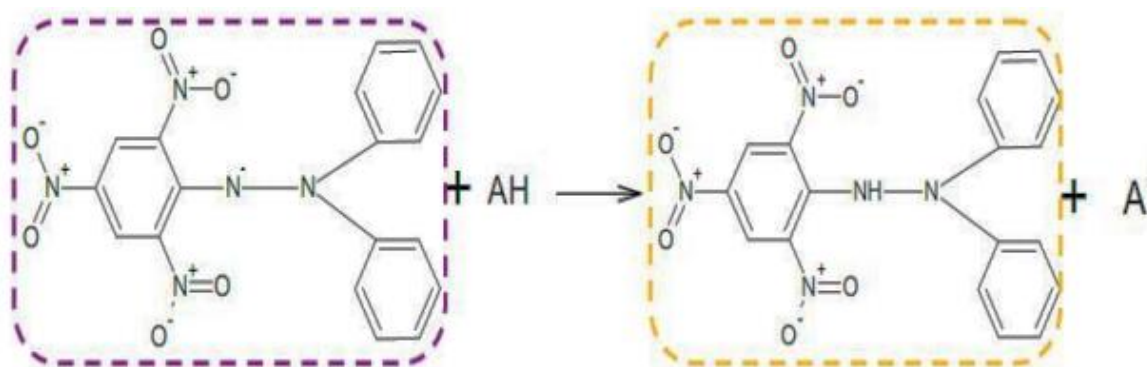
$$\Delta E = \sqrt{((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2)}$$

## II.6 Études *in vitro* des activités biologiques des extraits et des bioplastiques

### II.6.1 Évaluation de l'activité antioxydante

#### a. Test DPPH (2,2-diphényl picryl-hydrazyl)

La molécule de 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH $\cdot$ ) est un radical libre stable couramment utilisé pour évaluer l'activité antioxydante. Sa solution, de couleur violette, présente une absorption caractéristique à 517 nm. En présence d'une substance antioxydante, capable de donner des atomes d'hydrogène, le DPPH $\cdot$  est réduit. Ceci provoque la perte de la coloration violette en coloration jaune caractérisée par une bande d'absorption dans le visible à 517 nm (Amarti *et al.*, 2011)



DPPH (violet)

DPPH (jaune)

**Figure 5: Structure chimique du radical DPPH' et de sa forme réduite**

100  $\mu$ l de l'échantillon est mélangé avec 1000  $\mu$ l de DPPH (0,1 mM). L'acide ascorbique a été utilisé comme antioxydant de référence. Après 30 minutes d'incubation à l'obscurité à température ambiante, la mesure de l'absorbance a été effectuée à 517 nm et traduite en pourcentage d'inhibition par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage d'inhibition (\%)} = (\text{AbsC} - \text{AbsE} / \text{AbsC}) \times 100$$

Où : **AbsC**: absorbance de contrôle et **AbsE**: absorbance d'échantillon.

**b. Test ABTS (Acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))**

Le radical cation de l'acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) (ABTS) est stable sous sa forme libre. Ce radical est facilement formé à partir de l'acide correspondant par oxydation en présence de persulfate de potassium. La concentration de ce radical peut être déterminée en mesurant l'absorbance à 734 nm. L'addition d'un antioxydant à une solution de ce radical cation entraîne sa réduction et une diminution de l'absorbance. Cette diminution dépend de l'activité antioxydante du composé testé mais, souvent, aussi du temps et de la concentration (Hammoudi, 2015).

20  $\mu$ L d'extrait est ajouté à 780 $\mu$ L de la solution radicalaire d'ABTS. Le mélange est incubé à 37°C à l'abri de la lumière pendant 30 min. Un contrôle constitué de 20  $\mu$ L de MeOH et de 780  $\mu$ L de la solution d'ABTS est lu avec chaque série d'extrait à 734 nm. Tous les tests sont reproduits au moins trois fois. L'activité de piégeage du ABTS a été calculée selon la formule suivante:

$$\text{Activité (\%)} = [(Ac - Ae) / Ac] \times 100$$

Où : **Ac**: Absorbance de contrôle ; **Ae** : Absorbance de l'échantillon.

**c. Test H2O2**

L'activité de piégeage du peroxyde d'hydrogène a été déterminée par la méthode du (Ruch et al., 1989). En effet, dans des tubes à hémolyse, 50  $\mu$ l d'extrait est ajouté à 1 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (40 mM). Le mélange est incubé pendant 10 minutes, et l'absorbance est ensuite lue à 230 nm. Le

contrôle positif a été préparé de la même manière en remplaçant l'extrait par l'acétone 60%. Tous les essais ont été effectués en triple exemplaires. L'activité de piégeage du peroxyde d'hydrogène a été calculée selon la formule suivante:

$$\text{Activité (\%)} = [(Ac - Ae) / Ac] \times 100$$

Où : **Ac**: Absorbance de contrôle et **Ae** : Absorbance de l'échantillon.

### **II.6.2. Activité antimicrobienne**

Le potentiel antimicrobien de l'huile essentielle, de polyphénols et de films préparés est déterminé par la méthode de diffusion sur disque. L'activité antimicrobienne est testée sur six micro-organismes, trois Gram négatives (*Escherichia coli* ATCC25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATTC27853 et *Salmonella enterica* ATCC6017), deux Gram positives (*Micrococcus luteus* ATCC9314 et *Staphylococcus aureus* ATCC25923) et une souche fongique (*Candida albicans* ATCC10237). Des colonies microbiennes bien isolées ont été transférées dans des tubes contenant de bouillon nutritif stérile afin d'obtenir des suspensions ayant une turbidité équivalente au standard de McFarland 0,5 (environ  $10^8$  UFC/mL). Les micro-organismes sontensemencés dans des boîtes Pétries sur gélose Muller-Hinton à l'aide d'un coton-tige stérile. Des disques stériles de papier Whatman n°3 ( $\varnothing$  0,5 cm), préalablement stérilisés à 120°C pendant 30 minutes, ont été placés à la surface de la boîte pétrieensemencée. 10  $\mu$ L de chaque concentration d'huiles essentielles et de polyphénols dissous dans du DMSO sont déposés sur les disques. Des disques témoins contenant uniquement du DMSO ont servi de contrôles négatifs (Kadri., 2024). Pour les disques de bioplastiques stériles déposés sur la surface du milieu de culture. Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 12 à 18 heures pour les bactéries (Raj et al., 2023). L'apparition d'un halo translucide autour des disques, semblable à de la gélose stérile, indiquait une absence de croissance microbienne. Le diamètre de ce halo, mesuré en centimètres, a servi à évaluer l'activité antimicrobienne. Une boîteensemencée mais sans disque a été utilisée comme témoin de croissance.

### **II.7. Propriétés de barrière microbienne**

Des films biocomposites stérilisés (5 cm  $\times$  5 cm) ont été placés de manière aseptique à l'ouverture d'un tube à essai contenant un bouillon nutritif stérile, et les coins ont été scellés avec du Parafilm. Le tube témoin a été laissé ouvert. Tous les tubes ont été incubés à

température ambiante. Après le troisième jour, la technique de l'étalement sur plaque a été utilisée pour déterminer la croissance microbienne (Raj *et al.*, 2023).

## **II.8. Test de biodégradabilité**

Les plastiques biodégradables sont fabriqués à partir de matériaux renouvelables, et il est essentiel de mesurer leur biodégradabilité. Les tests sur le terrain consistent à introduire le matériau dans le sol, un lac ou une rivière pour qu'il subisse un processus de dégradation. Cependant, les conditions environnementales telles que la température, le pH et l'humidité ne peuvent être contrôlées, et l'analyse des résidus après dégradation est complexe en raison de l'environnement. Pour surmonter ces limitations, diverses techniques de simulation ont été développées, comme les tests en laboratoire, permettant d'évaluer la biodégradabilité dans des conditions contrôlées, facilitant la récupération des résidus et la gestion des paramètres environnementaux (Rangappa *et al.*, 2020).

La biodégradabilité a été évaluée en laboratoire en utilisant la méthode d'analyse d'image avec un appareil photo numérique et en mesurant la perte de poids des biofilms à l'aide d'une balance analytique, précise à quatre chiffres après la virgule. Les mesures ont été effectuées en triple. Les échantillons ont été observés et pesés avant et après leur incubation à intervalles réguliers (tous les 10 jours). Afin d'obtenir des résultats fiables, les films ont été soigneusement nettoyés et séchés dans une étuve avant chaque pesée pour éviter toute erreur de mesure. Le pourcentage de biodégradation a été calculé selon la formule suivante :

$$P (\%) = (m_i - m_f) \times 100$$

Où P : représente la perte de masse en pourcentage,  $m_i$  : la masse initiale avant biodégradation, et  $m_f$  : la masse après biodégradation.

### **a. Biodégradation dans le sol**

Le test de biodégradation des échantillons de biofilm a été réalisé dans des conditions de sol suivant la méthode décrite par (Janani *et al.*, 2020). Les échantillons de biofilm (20 mm x 20 mm) ont été enterrés dans un sol de 5 cm d'épaisseur, avec une humidité relative maintenue entre 50-60% par pulvérisation d'eau. Les échantillons ont été surveillés pendant toute la durée de l'essai. La biodégradation a été contrôlée tous les 5 jours pendant une période de 45 jours.

**b. Biodégradation en milieu aqueux**

Pour étudier le comportement des matériaux dans l'eau salée, des mesures de variation de masse ont été effectuées sur les différents échantillons. Les films préparés ont été découpés (20 x 20 mm), séchés dans une étuve à 50°C pendant 8 heures, puis refroidis dans un dessiccateur et pesés. Les échantillons ont ensuite été immergés dans une solution composée d'eau distillée et de chlorure de sodium (NaCl) à une concentration de 30 g/l et conservés pendant 30 jours à température ambiante. Pendant cette période, les films ont été retirés de la solution à intervalles réguliers et pesés à l'aide d'une balance.

**II.9. Emballage alimentaire**

Afin d'évaluer l'efficacité des films bioplastiques, une tranche de banane fraîchement coupée a été enveloppée dans le film polymère, tandis qu'une autre tranche, non protégée, a été exposée à l'air libre. Après une période d'incubation de 150 minutes, les deux échantillons (filmés et témoins) ont été comparés visuellement afin d'évaluer la capacité des films à limiter l'oxydation en présence d'oxygène atmosphérique. Des observations ont été réalisées à intervalles réguliers afin de suivre l'évolution des modifications visuelles (Singh et *al.*, 2024)





**Conclusion**

### Conclusion

Ce travail s'inscrit dans une démarche de recherche visant à valoriser les ressources végétales naturelles locales, en l'occurrence *Deverra scoparia*, pour le développement de matériaux innovants à base de biopolymères. L'objectif principal était d'extraire des composés bioactifs (huiles essentielles et polyphénols) à partir de cette plante endémique et de les incorporer dans une matrice à base d'amidon afin d'élaborer un film bioplastique fonctionnel, biodégradable et apte au contact alimentaire.

Les résultats obtenus à travers les différentes étapes expérimentales ont permis de confirmer l'intérêt scientifique et technologique de cette approche. Les huiles essentielles extraites ont révélé une richesse en monoterpènes et sesquiterpènes, tandis que les extraits polyphénoliques ont démontré une teneur significative en composés antioxydants. Leur incorporation dans les films a permis d'améliorer sensiblement les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes du matériau final, tout en conservant une bonne stabilité structurale et des caractéristiques optiques intéressantes. Par ailleurs, les essais de biodégradabilité ont montré une décomposition progressive en milieu aqueux et terrestre, confirmant la nature écologique du film.

L'évaluation de l'efficacité des films dans l'emballage alimentaire, notamment à travers le test sur les tranches de banane, a révélé un pouvoir réel de protection contre l'oxydation. Le film enrichi a réussi à maintenir l'intégrité du fruit pendant plusieurs heures, contrairement à l'échantillon témoin exposé à l'air libre. Cette application concrète renforce la pertinence du matériau développé, non seulement comme substitut aux plastiques conventionnels, mais également comme solution active dans la préservation de la qualité des aliments.

En perspective, il serait judicieux d'approfondir cette recherche en élargissant les essais à d'autres types de matrices polymériques naturelles (comme la gélatine, la cellulose ou le chitosane), ainsi qu'à d'autres extraits végétaux. Il serait également intéressant d'évaluer les performances du film en conditions réelles de stockage (température, humidité, durée), et d'optimiser les formulations pour améliorer encore la résistance mécanique, l'élasticité et l'adhérence des films. Enfin, une étude de faisabilité à l'échelle industrielle, accompagnée d'une analyse technico-économique et environnementale, permettrait d'envisager une éventuelle commercialisation du produit final.



# **Références**

### Références :

- Adel, A. M., Ibrahim, A. A., El-Shafei, A. M., et Al-Shemy, M. T. (2019). Complexe d'inclusion d'huile de clou de girofle avec un biocomposite chitosane/citrate d' $\beta$ -cyclodextrine/nanocellulose oxydée pour emballage alimentaire actif. *Emballage alimentaire et durée de conservation*, 20 (février), 100307.
- Adida H, Benariba N, Bechiri A, Chekroun E, Djaziri R. (2014) Phytochemical study and evaluation of the antiradical activity of extracts of *Pituranthos scoparius*. *Phytothérapie.*; 14: 207- 212.
- Alabi, O.A.; Ologbonjaye, K.I.; Awosolu, O.; Alalade, O.E. (2019) Public and environmental health effects of plastic wastes disposal: A review. *J. Toxicol. Risk Assess.*, 5, 21.
- Ali, A., Banoo, M., Banoo, H., & Ali, G. (2024). Fabrication and Characterization of Citric Acid Crosslinked, Sea Buckthorn Leaves Extract Incorporated PVA-Based Films with Improved Antioxidative and UV-Shielding Properties for Food Packaging Applications. *Journal of Packaging Technology and Research*.
- Alves, K. A., Araújo, R. H. C. R., Silva, A. S., Almeida, E. S., Oliveira, Á. M. F., Rocha, N. S., Araújo, M. C., Gusmão, T. A. S., Lima, J. F., Delgado, J. M. P. Q., Pereira, J. F., Santos, R. S., & Lima, A. G. B. (2025). Biodegradable film is enriched with pomegranate seed oil and microalgae for preservation of *Cajarana (Spondias dulcis)*. *Polymers*, 17(2), 367.
- Amarti, F., Satrani, B., Ghanmi, M., Aafi, A., Farah, A., Aarab, L., El Ajjouri, M., Guedira, A., & Chaouch, A. (2011). Activité antioxydante et composition chimique des huiles essentielles de quatre espèces de thym du Maroc. *Acta Botanica Gallica*, 158(4), 513-523.
- Araya, J., Esquivel, M., Jimenez, G., Navia, D., et Poveda, L. (2021). Activité antimicrobienne et caractérisation physicochimique de films thermoplastiques à base d'amidon de manioc amer, de nanocellulose et d'huile essentielle de romarin. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 1-26.
- Ashter, S. A. (2016), *Introduction to Bioplastics Engineering*. Willian AndreW
- Atarés, L., Chiralt, A., (2015), *Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging*, *Trends in Food Science & Technology*
- Ayu, G. E., Lubis, M., Ginting, M. H. S., & Hayat, N. (2023). Physical Resistance of Corn Starch Based Bioplastic At Various Storage Temperature. *Journal of Engineering Science and Technology*, 18(1), 235-243.
- Azevedo, L. C., Rovani, S., Santos, J. J., Dias, D. B., Nascimento, S. S., Oliveira, F. F., Silva, L.,

- & Fungaro, D. A. (2020). Biodegradable films derived from corn and potato starch and study effect of silicate extracted from sugarcane waste ash. *ACS Applied Polymer Materials*. Advance online publication.
- Belmekki N., Bendimerad N., Bekhechi C., Fernandez X. (2013).- Chemical analysis and antimicrobial activity of *Teucrium polium* L. essential oil from Western Algeria. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(14): 897-902.
- Benabderrahim, M. A., Yahia, Y., Bettaieb, I., Elfalleh, W., & Nagaz, K. (2019). Antioxidant activity and phenolic profile of a collection of medicinal plants from Tunisian arid and Saharan regions. *Industrial Crops & Products*, 138, 111427.
- Benarfa, A., Gourine, N., Hachani, S., Harrat, M., & Yousfi, M. (2020). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidative phenolic compounds from *Deverra scoparia* Coss. & Durieu (flowers) using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, , 14514.
- Boudjema. H.L (2016) Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables, thèse doctorat, université d'Oran 2.
- Boukhatem, M. N., Ferhat, M. A., Kameli, A., Saidi, F., & Kebir, H. T. (2014). Antiseptic potential of essential oils from Algerian aromatic plants: Screening of antimicrobial activity. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14, 99
- Bouzidi, N. (2016). Etude des activités biologiques de l'huile essentielle de l'armoise blanche <<< *Artemisia herba alba* Asso ». Thèse de Doctorat, Université Mustapha Stambouli De Mascara.Algérie.
- Brahimi, S. (2019). *Deverra reboudii* Coss. Et Durieu : biologie, composition chimique et activités biologiques des extraits et des huiles essentielles [Thèse de doctorat, Université Ziane Achour – Djelfa].
- C. E. W. Malti, M. Boussaïd, L. Belyagoubi, M. Paoli, M. Gibernau, F. Tomi, F. Atik Bekkara, C. Bekhechi, (2019) 'Chemical Variability of the Essential Oil of *Pituranthos scoparius* from Algeria', *Chem. Biodiversity*, 15,e1800149.
- Chikhoune, A., Pavleca, J. D., Shashkov, M., Berroua, Z., Chebbi, K., Bougherra, H., Zeroual, B., Aliane, K., Gagaoua, M., Boudjellal, A., Vovk, I., & Križman, M. (2017).Antioxidant effect induced by the essential oil of *Pituranthos scoparius* in a formulation of a whey spread emulsion. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(6), e13163.

- Criado, P., Hossain, F. M. J., Salmieri, S., et Lacroix, M. (2018). Nanocellulose dans l'emballage alimentaire : efficacité antimicrobienne des biopolymères. Dans *Matériaux composites pour l'emballage alimentaire*, (pp. 291-324). Scrivener Publishing LLC.
- Dick, M., Costa, T. M. H., Gomaa, A., Subirade, M., Rios, A. O., & Flôres, S. H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130, 198–205.
- El Miri, N., Abdelouahdi, K., Barakat, A., Zahouily, M., Fihri, A., Solhy, A. et El, M. (2015). Films bio-nanocomposites renforcés par des nanocristaux de cellulose : rhéologie des solutions filmogènes, transparence, barrière à la vapeur d'eau et propriétés de traction des films. 129, 156-167.
- Elsebaie, E. M., Mousa, M. M., Abulmeaty, S. A., Shaat, H. A. Y., Elmeslamy, S. A.-E., Asker, G. A., Faramawy, A. A., Shaat, H. A. Y., Abd Elrahman, W. M., Eldamaty, H. S. E., Abd Allah, A. L., & Badr, M. R. (2023). Chitosan-based green pea (*Pisum sativum* L.) pod extract gel film: Characterization and application in food packaging. *Gels*, 9(1), 77.
- Evci, M. (2024). Production of a novel biodegradable film made from chitosan and pomegranate (*Punica granatum* L.) seed essential oil. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 8(2), 261–272.
- Fayed, E. M., Abd-eigawad, A. M., Elshamy, A. I., Mohamed, T. A., Al-Rashed, S. A., & El-Amier, Y. A. (2021). Essential oil of *Deverra tortuosa* aerial parts: Detailed chemical profile, allelopathic, antimicrobial, and antioxidant activities. *Chemistry & Biodiversity*, 18(4), e2000914.
- Gómez-Estaca, J., López de Lacey, A., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., & Montero, P. (2009). Biodegradable gelatin–chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation. *Food Microbiology*, 26(5), 505–512.
- González Sandoval, D. C., Luna Sosa, B., Martínez-Ávila, G. C. G., Rodríguez Fuentes, H., Avendaño Abarca, V. H., & Rojas, R. (2019). Formulation and characterization of edible films based on organic mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. *Coatings*, 9(8), 506.
- Gupta, H., Kumar, H., Gehlaut, A. K., Singh, S. K., Gaur, A., Sachan, S., & Park, J. W. (2022). Preparation and characterization of bio-composite films obtained from coconut coir and groundnut shell for food packaging. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(2), 569–581.
- Haddouchi, F., Chaouche, T. M., & Halla, N. (2016). Screening phytochimique, activités

antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. Phytochemical screening, antioxidant activities and hemolytic power of four Saharan plants from Algeria.

- Hammoudi, R., Dehak, K., Hadj-Mahammed, M., & Didi Ouldelhadj, M. (2015). Composition chimique et activité antioxydante des huiles essentielles de *Deverrascoparia* Coss. et Dur. (Apiaceae). *Lebanese Science Journal*, 16(2), 27-36.
- Janani, N., Zare, E. N., Salimi, F., & Makvandi, P. (2020). Antibacterial tragacanth gum-based nanocomposite films carrying ascorbic acid antioxidant for bioactive food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 247(April), 116678.
- Janik, W., Nowotarski, M., Shyntum, D. Y., Banaś, A., Krukiewicz, K., Kudła, S., & Dudek, G. (2022). Antibacterial and biodegradable polysaccharide-based films for food packaging applications: Comparative study. *Materials*, 15(9), 3236.
- Jouki M, Khazaei N, Ghasemlou M, Hadinezhad M (2013) Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydr Polym* 96(1):39–46
- Kadri, M. (2024). Production des emballages alimentaires en bioplastique à l'aide des biopolymères obtenus à partir d'extraits de plantes pour la conservation des aliments. Mascara.
- Karbab A, Mokhnache K, Arrar L, Charef (2020) Total Phenolic Contents and Antioxidant Capacity of Aqueous Extract from *Pituranthos scoparius* (Coss. & Dur.) Growing in Algeria. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics.*; 10(3):125-127
- La pointe, R. (2012). Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinction subtiles mais significatives (Doctoral dissertation, Université de Sherbrooke). Page 13 et 27.
- Lin, X.; Chen, S.; Wang, R.; Li, C.; Wang, L. (2023) Fabrication, characterization and biological properties of pectin and/or chitosan based films incorporated with noni (*Morinda citrifolia*) fruit extract. *Food Hydrocoll.*, 134, 108025.
- López-Chavez, MC ; Osorio-Revilla, G. ; Arellano-Cárdenas, S. ; Gallardo-Velazquez, T. ; Flores-Valle, SO ; López-Cortez, M. (2017). Préparation de films nanocomposites amidon/argile/glycérol et leurs caractérisations Ftir, Xrd, Sem et mécaniques. *Journal mexicain de génie chimique*, 16(3), 793-804.

- Łopusiewicz, Ł., Zdanowicz, M., Macieja, S., Kowalczyk, K., & Bartkowiak, A. (2021). Development and characterization of bioactive poly(butylene succinate) films modified with quercetin for food packaging applications. *Polymers*, 13(11), 1798.
- Luckachan, G. E., & Pillai, C. K. S. (2011). Biodegradable Polymers- A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 637-676.
- Marković, M. S., Milojević, S. Ž., Bošković-Vragolović, N. M., Pavićević, V. P., Babincev, L. M., & Veljković, V. B. (2019). A new kinetic model for the common juniper essential oil extraction by microwave hydrodistillation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27(3), 605-612.
- Moon, M., Mim, S. R., Billah, M. M., & Masud, A. K. M. (2025). Synthesis and characterization of surface modified MWCNTs reinforced PVA composite films. *Heliyon*, 11, Article e41700.
- Muller, J., González-Martínez, C., et Chiralt, A. (2017). Combinaison d'acide polylactique et d'amidon pour emballage alimentaire biodégradable. *Matériaux*, 10(8), 1-22.
- Muralidharan, V., Arokianathan, M. S., Balaraman, M., & Palanivel, S. (2020). Tannery trimming waste based biodegradable bioplastic: Facile synthesis and characterization of properties. *Polymer Testing*, 81(November 2019), 106250.
- Ncube, LK, Ude, AU, Ogunmuyiwa, EN, Zulkifli, R. et Beas, IN (2020). Impact environnemental des matériaux d'emballage alimentaire : un aperçu du développement contemporain des plastiques conventionnels aux matériaux à base d'acide polylactique. *Matériaux*, 13(21), 1-24.
- Onyeaka, H., Obileke, K., Makaka, G., & Nwokolo, N. (2022). Current Research and Applications of Starch-Based Biodegradable Films for Food Packaging. *Polymers*, 14(6), 1126.
- P. Quézel, Nouvelle Flora de l'Algérie. 1963 - Tome 2
- Paudel, S.; Regmi, S.; Janaswamy, S. (2023) Effect of glycerol and sorbitol on cellulose-based biodegradable films. *Food Packag. Shelf Life*, 37, 101090.
- Pavlovskaya, N. E., Gorkova, I. V., Gagarina, I. N., et Gavrilova, A. Y. (2020). Création de nouveaux bioplastiques composites polymères pour la production de vaisselle jetable à base d'amidon. Série de conférences IOP : Sciences de la Terre et de l'environnement, 422(1).
- Post, W., Kuijpers, L. J., Zijlstra, M., van der Zee, M., & Molenveld, K. (2021). Effect of mineral fillers on the mechanical properties of commercially available biodegradable polymers. *Polymers*, 13(3), 394

- Raj, V. A., Sankar, K., Narayanasamy, P., Moorthy, I. G., Sivakumar, N., Rajaram, S. K., Karuppiyah, P., Shaik, M. R., Alwarthan, A., Oh, T. H., & Shaik, B. (2023). Development and characterization of bio-based composite films for food packing applications using boiled rice water and Pistacia vera shells. *Polymers*, 15(3456).
- Rangappa, SM, Jyotishkumar, P., Thiagamani, SMK, Krishnasamy, S., Siengchin, S., Luis, A., Domingues, F. et Silva, F. (2020). Matériaux d'origine biologique pour les emballages alimentaires actifs. Dans *Emballage alimentaire*.
- Roohi, SP, Bano, K., Zaheer, MR et Kuddus, M. (2018). Biopolymères intelligents biodégradables pour les emballages alimentaires : approche durable pour un environnement vert. *Matériaux biosourcés pour Emballages alimentaires : matériaux d'emballage avancés verts et durables*, 197-216
- Salazar, R., Sepúlveda, J., Peña, A., Chávez, D., & García, A. (2019). Water vapor permeability of pectin-based films enriched with silica nanoparticles. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 689–696
- Sani, M. A., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadi, K., & McClements, D. J. (2021). Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials. *Nanomaterials*, 11(5), 1-34.
- Sharma, S., Barkauskaite, S., & Jaiswal, S. (2020). Characterization and Antimicrobial Activity of Biodegradable Active Packaging Enriched with Clove and Thyme Essential Oil for Food Packaging Application. *Foods*, 9, 1117-1133.
- Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, S., Duffy, B. et Jaiswal, A. K. (2020). Développement d'un film actif incorporant des huiles essentielles à partir de mélanges biodégradables de poly(lactide)/poly(butylène adipate-co-téréphtalate) pour l'emballage alimentaire. *Journal of Packaging*.
- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M. A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S. M., ... & Khaksar, R. (2013). Characterization of antioxidant–antibacterial  $\kappa$ -carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 52(1), 116–124
- Shojaeiarani, J., Bajwa, D. S., & Chanda, S. (2021). Cellulose Nanocrystal Based Composites: A Review. In *Composites Part C: OpenAccess*. Elsevier B.V.
- Singh, A., Singh, J., Singh, N., & Kaur, N. (2024). Development and characterization of gelatin/carboxymethyl cellulose based polymeric film with inclusion of ionic liquid to

enhance the shelf life of food. *Food Packaging and Shelf Life*, 42, 101251

Sogut, E.; Balqis, A.I.; Hanani, Z.N.; Seydim, A.C. (2020) The properties of  $\kappa$ -carrageenan and whey protein isolate blended films containing pomegranate seed oil. *Polym. Test.* 277, 105886.

Sone Aung, S.P., Ht et Shein, H., Aye, K.N., & Nen. (2018) Respectueux de l'environnement biopolymères pour l'emballage alimentaire : amidon, protéines et acide polylactique (PLA). *Matériaux biosourcés pour l'emballage alimentaire : matériaux d'emballage avancés verts et durables*, 173-195

Soukoulis, C., Behboudi-Jobbehdar, S., Yonekura, L., Parmenter, C., & Fisk, I. D. (2014). Optimization of the physical stability of essential oil-loaded edible films by microencapsulation with biopolymers. *Food Hydrocolloids*, 41, 172–182.

Tonuk, D., Shove, E., & Suchman, L. (2016). Making bio plastics: an investigation of material – product relationships (Doctorale dissertation, Lancaster University). Page 8.

Tosin, M., & Degli-Innocenti, F. (2019). Biodegradation of plastics in the natural environment. In A. L. Andrady (Ed.), *Plastics and the Environment, Second Edition* (pp. 473–513). John Wiley & Sons, Inc.

Uddin, I., Thomas, S., Mishra, R. K., & Asiri, A. M. (2019). Sustainable polymer composites and nanocomposites. In Springer Nature Switzerland AG (Ed.). 030-05399-4

Yahiaoui, F. (2016). Elaboration de nouveaux matériaux et nanomatériaux à base de biopolymère et de polymère synthétique. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Algérie.

Yahiaoui, L. (2011). Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss). Thèse de Magistère, Université Ferhat Abbas-Setif- Ufas (Algérie).



**Annexes**

## Annexes :

## Annexe 01 : Courbe d'étalonnage

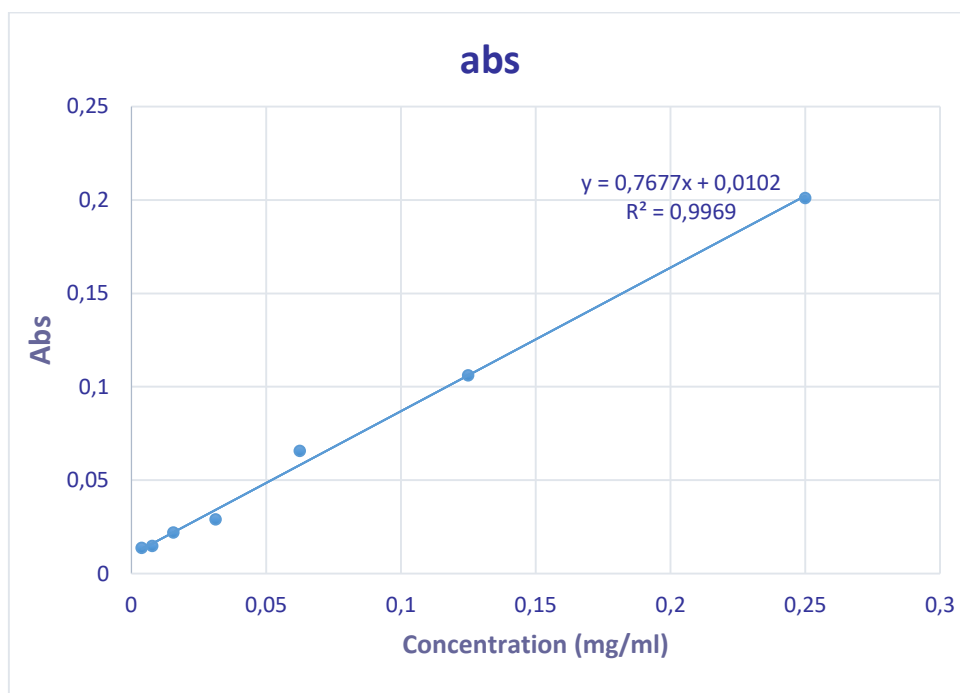


Figure : Courbe d'étalonnage de l'absorbance de l'acide gallique en fonction de la concentration ( $\lambda = 765 \text{ nm}$ )

## Annexe 02

Tableau : les groupes fonctionnels correspondants dans les spectres IRTF (Yang *et al.*, 2021)

Nombres d'ondes ( $\text{cm}^{-1}$ )	Groupes fonctionnels
3287–3290	O–H Vibrations d'étirement
2922–2930	C–H Vibrations d'étirement
1646–1650	O–H Vibrations d'étirement de la molécule d'eau
1408–1416	C–H Vibration de flexion
1363–1368	C–H Déformation
993–1017	O–H Vibrations d'étirement

