



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE ABBES LAGHROUR KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

FILIERE : Biotechnologie

OPTION: Biotechnologie Végétale

Thème

**Caractérisation physico-chimique et fonctionnelle
d'un film à base de gélatine incorporé d'huile
essentielle d'*Artemisia herba-alba* Asso., 1779**

Présenté par :

Chahinez MILI et Fatiha MARIR

Soutenu le 19/06/2024

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de :

Président	Dr. BENSIZERARA Djamel (MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Encadreur	Dr. ZERAIB Azzeddine (MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Examineur	Mm. ZITOUNI Wassila (MAA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Année universitaire 2024/ 2025

Dédicace

"univers'Et leur dernière invocation sera : Louange à Allah, Seigneur de l"

.Louange à Dieu au commencement comme à la fin

.obtient'Celui qui dit 'je suis fait pour elle', l

échecs et de réussites, mais nous sommes fiers de notre 'fut un long chemin, semé d Ce
.persévérance dans la réalisation de nos rêves

Un moment que j'ai longtemps attendu, un rêve enfin réalisé, une histoire dont les chapitres
...sont désormais complets

,a appris le don sans attendre en retour'À celui qui m

,À celui dont je porte le nom avec fierté

,À celui que Dieu a honoré de Sa sagesse et de Sa dignité

âme de mon cher père, je prie Dieu de faire de ta tombe un jardin parmi les jardins du 'À l
.envelopper de Sa miséricorde infinie'Paradis et de t

,aimée, lumière de mes yeux, battement de mon cœur-À ma mère bien

,À celle dont les prières sincères ont été le secret de ma réussite

.Je te dédie cet accomplissement avec tout mon amour et ma reconnaissance

,À mes frères et sœurs, mon pilier dans la vie

.Que Dieu vous garde toujours à mes côtés

.À mon époux, merci pour ton soutien et ton appui constant

.amour et de la complicité qui nous unissent'Je prie Dieu que cette réussite soit le fruit de l

,tous mes amis sans exception À toute ma famille, à

,À tous les professeurs respectables qui nous ont tendu la main

.offre ce travail'À vous tous, j

.Que Dieu nous guide tous vers le bien

Marir Fatiha

Dédicace

a donné la vie, véritable'Je dédie ce modeste travail à celle qui m
symbole de tendresse et de sacrifice, qui a veillé sans relâche sur mon bonheur et ma
.ma chère mère : réussite

À mon père, pour son soutien indéfectible, ses encouragements
.et sa protection tout au long de ma vie constants

,À ma sœur aînée, première école de mon enfance
.inspiration et de sagesse'source d

,Ma profonde gratitude à ma partenaire dans ce travail de recherche
.parcours Marir Fatiha, pour sa précieuse collaboration et son soutien tout au long de ce

,À mon fiancé Lotfi, pour sa présence rassurante
.et son appui inconditionnel son amour

,À ma meilleure amie Ikrame
.fidèle complice de chaque moment important de ma vie

,À mes chères tantes, pour leur affection sincère
.à tous les amis qui ont été pour moi une véritable seconde famille'ainsi qu

Oussaima / Achouak

qui occupent une place précieuse dans mon Je dédie enfin ce travail à toutes les personnes
.entourent de leur amour'et qui m cœur

Mili Chahinez

Résumé

Le présent travail a pour objectif de caractériser des films à base de gélatine enrichis en hydrolat et de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* en évaluant leur activité antibactérienne et antioxydante, ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Les résultats ont montré que les films obtenus sont très homogènes et présentent une couleur transparente. L'incorporation de l'huile essentielle d'*A. herba alba* influence les paramètres analysés, en augmentant l'opacité et la solubilité, tout en réduisant l'épaisseur, la perméabilité, et l'humidité des films. Par ailleurs, les films enrichis en huile essentielle ont présenté une bonne capacité antioxydante, tandis qu'aucune activité antibactérienne n'a été observée. L'application des films incorporants de l'hydrolat et des huiles essentielles d'*A. herba alba* dans la conservation de la viande hachée bovine a démontré l'efficacité de ces extraits à ralentir l'augmentation du pH et à protéger la viande contre les contaminations extérieures. Les résultats obtenus suggèrent que les films à base de gélatine enrichis en huile essentielle d'*A. herba-alba* peuvent constituer des matériaux d'emballage actif et biodégradable prometteurs pour la préservation de la qualité de la viande hachée.

Mots clés : huile essentielle, gélatine, conservation, *A. herba alba*, antioxydant, antibactérien.

Abstract

The aim of the present study is to characterize gelatin-based films enriched with hydrosol and essential oil of *Artemisia herba-alba* by evaluating their antibacterial and antioxidant activities, as well as their physicochemical properties. The results showed that the resulting films were highly homogeneous and exhibited a transparent appearance. The incorporation of *A. herba-alba* essential oil affected the analyzed parameters by increasing opacity and solubility, while reducing thickness, permeability, and moisture content. Moreover, the essential oil-enriched films demonstrated good antioxidant capacity, whereas no antibacterial activity was observed. The application of films incorporating *A. herba-alba* hydrosol and essential oil in the preservation of ground beef proved effective in slowing the rise in pH and protecting the meat from external contamination. The findings suggest that gelatin-based films enriched with *A. herba-alba* essential oil could serve as promising active and biodegradable packaging materials for preserving the quality of ground meat.

Key-words: Essential oil, Gelatin, Preservation, *A. herba alba*, Antioxidants, Antibacterial.

الملخص

يهدف هذا العمل إلى توصيف الأغشية القائمة على الجيلاتين والمدعمة بالماء العطري والزيت العطري لنبته *Artemisia herba-alba* من خلال تقييم نشاطها المضاد للبكتيريا ومضاد الأكسدة، بالإضافة إلى خصائصها الفيزيائية والكيميائية. أظهرت النتائج أن الأغشية الناتجة متجانسة للغاية وتتميز بمظهر شفاف. وقد أثر إدماج الزيت العطري لـ *A. herba-alba* على الخصائص المدروسة من خلال زيادة العتامة والذوبانية، مع تقليل السماكة، والنفاذية، ومحتوى الرطوبة. علاوة على ذلك، أظهرت الأغشية المدعمة بالزيت العطري قدرة جيدة على مقاومة الأكسدة، في حين لم يُلاحظ أي نشاط مضاد للبكتيريا. وقد أثبت استخدام هذه الأغشية المحتوية على الماء العطري والزيت العطري لنبته *A. herba-alba* في حفظ لحم البقر المفروم فعاليتها في إبطاء ارتفاع درجة الحموضة (pH) وحماية اللحم من التلوثات الخارجية. تشير النتائج المحصلة إلى أن الأغشية القائمة على الجيلاتين والمدعمة بزيت *A. herba-alba* العطري يمكن أن تمثل مواد تغليف نشطة وقابلة للتحلل البيولوجي واعدة في الحفاظ على جودة اللحم المفروم.

الكلمات المفتاحية ,

زيت أساسي ، الجيلاتين ، الحفظ ، *A. herba-alba* ، مضادات الأكسدة ، مضاد للجراثيم

Remerciements

*Avant toute chose, nous tenons à remercier dieu le tout puissant,
pour nous avoir accordé la force et le courage nécessaires pour
mener à bien ce travail*

*Nous tenons d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers
le **Dr. ZERAI B Azzeddine** pour son engagement exceptionnel,
son expertise scientifique précieuse et son soutien constant tout
au long de ce travail de recherche. Son accompagnement
rigoureux et ses conseils éclairés ont été déterminants dans la
réalisation de cette étude.*

*Nous tenons à remercier **Dr. BENCIZERARA Djamel** d'avoir
assuré la présidence du jury de ce mémoire.*

*Nous souhaitons exprimer également nos remerciements à **Dr.
ZITOUNI Wassila** qui nous a fait le grand honneur de juger
notre travail.*

Table des matières

	Page
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
Liste des abréviations	V
Liste des Annexes	VI

Introduction

Introduction	1
--------------------	---

Matériel et Méthodes

1- Matériel	4
1-1- Matériel végétal	4
1-2- Matériel microbiologique	5
1-3- Denrée alimentaire (la viande hachée)	5
2- Méthodes	6
2-1- Extraction des huiles essentielles	6
2-2- Préparation des films à base de gélatine	7
2-3- Caractérisation physico-chimique des films à base de gélatine	7
2-3-1- Aspect visuel du film	7
2-3-2- Epaisseur	8
2-3-3- Opacité	8
2-3-4- Couleur	9
2-3-5- Perméabilité à la vapeur d'eau (WVP)	9
2-3-6- Hydro-solubilité	9
2-3-7- La teneur en humidité	10
2-3-8- Capacité de rétention d'eau	10
2-3-9- Test de biodégradabilité	10
2-4- Caractérisation biologique des films à base de gélatine	11
2-4-1- L'activité antibactérienne	11
2-4-2- L'activité antioxydante	11
2-5- Application des films à la bio-conservation de viande hachée	12

2-5-1- Préparation de la viande hachée	12
2-5-2- Détermination du pH	12
2-5-3- Dénombrement de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)	13
2-6- Analyses statistiques	13
Résultats et Discussion	
1- Rendement en huile essentielle	14
2- Caractérisation physico-chimique des films	15
2-1- Aspect visuel	15
2-2- Epaisseur	16
2-3- Opacité	17
2-4- Couleur	19
2-5- Perméabilité à la vapeur d'eau (WVP)	20
2-6- Hydro-solubilité	21
2-7- Humidité	22
2-8- Biodégradabilité	24
3- Activités biologiques des films à base de gélatine	25
3-1- Activité antibactérienne	25
3-2- Activité antioxydante	26
4- Application des films à la bio-conservation de viande hachée	28
4-1- Effet de film sur le pH de la viande hachée	28
4-2- Dénombrement de la Flore Mésophile Aérobie Totale	30
Conclusion	31
Références bibliographiques	32

Liste des Tableaux

	Page
Tableau 01: Classification botanique de l'espèce <i>Artemisia herba-alba</i>	4
Tableau 02: Résultats de mesure de l'épaisseur des films à base de gélatine étudiés	16
Tableau 03: Résultats de l'opacité des films à base de gélatine étudiés	18
Tableau 04 : Résultats de la perméabilité à la vapeur d'eau des films à base de gélatine	20
Tableau 05: Résultats de l'hydro-solubilité des films à base de gélatine	22
Tableau 06: Résultats de l'humidité des films à base de gélatine	23
Tableau 07 : Cinétique d'évolution du pH des échantillons de la viande hachée conservés à 4 °C pendant 12 jours	28
Tableau 08 : Résultats de dénombrement de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)	30

Liste des figures

	Page
Figure 01: Le Matériel végétale récolté	05
Figure 02: Dispositif d'hydrodistillation Clevenger	06
Figure 03: Mesure de l'épaisseur des films à base de gélatine à l'aide d'un pied à coulisse numérique	08
Figure 04: Préparation de la viande hachée pour l'application des films à la bio- conservation	12
Figure 05: Aspect visuel des films d'emballage à base de gélatine préparés	16
Figure 06: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'épaisseur des films à base de gélatine	17
Figure 07: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'opacité des films à base de gélatine	18
Figure 08: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur la couleur des films à base de gélatine	19
Figure 09: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur la perméabilité à la vapeur d'eau des films à base de gélatine	20
Figure 10: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'hydrosolubilité des films à base de gélatine	21
Figure 11: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'humidité des films à base de gélatine	23
Figure 12 : Propriétés antibactériennes de films de gélatine	25
Figure 13 : Propriétés antioxydantes de films de gélatine via la méthode de DPPH ...	26
Figure 14 : Evolution du pH des échantillons de la viande hachée conservés à 4 °C pendant 12 jours	28

Liste des abréviations

ANOVA: analyse de la variance

DPPH : Le 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle.

FHE : films incorporés avec les huiles essentielles

FMAT: Flore Mésophile Aérobie Totale

FT : films témoin (sans Extrait).

GN : Gélose nutritif.

HEs : huiles essentielles.

HEAH: les huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba*

MH : Mueller Hinton.

PI : Pourcentage d'inhibition.

PVE : Perméabilité à la vapeur d'eau.

SFF : solution formant le film.

UV : ultra-violets.

ZI: zone d'inhibition.

Liste des Annexes

Annexe 01: Appareillage, produits chimiques et réactifs utilisés

Annexe 02: Préparation de la solution de 0,5 McFarland

Annexe 03: Préparation de tampon phosphate de potassium 0,04 M (pH 6,8)

Annexe 04: Préparation de l'eau peptonnée tamponnée

Annexe 05: Préparation de 0.1 mM de DPPH

Annexe 06: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur l'épaisseur du film à base de gélatine

Annexe 07: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur l'opacité du film à base de gélatine

Annexe 08: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur la qualité de la couleur du film à base de gélatine

Annexe 09: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur la perméabilité du film à base de gélatine

Annexe 10: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur l'hydro-solubilité du film à base de gélatine

Annexe 11: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur la teneur en humidité du film à base de gélatine

Annexe 12: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEAH sur le pouvoir antioxydant du film à base de gélatine

Annexe 13: Résultats de l'anova, effet de la durée de conservation sur les valeurs de pH

Annexe 14 : Résultats de l'anova, effet de l'ajout de l'huile sur les valeurs de pH

Introduction

Introduction

La conservation des aliments est un domaine crucial dans l'industrie agroalimentaire moderne. Avec la croissance rapide de la population mondiale et l'augmentation des besoins alimentaires, les défis liés à la préservation des aliments sont devenus plus complexes. L'objectif principal de la conservation alimentaire est de maintenir la sécurité microbiologique ainsi que la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits, tout en minimisant les pertes et en prolongeant leur durée de conservation (**Torre et al., 2022 ; Dweh et al., 2024**). Les méthodes traditionnelles de conservation, telles que la réfrigération, la congélation et l'utilisation de conservateurs chimiques, ont été largement utilisées pour relever ces défis. Cependant, la prise de conscience croissante des effets indésirables des conservateurs chimiques sur la santé humaine et l'environnement a conduit à une recherche active de solutions alternatives et plus durables (**Cedillo-Olivos et al., 2024**).

Dans ce contexte, les huiles essentielles et les extraits de plantes se sont révélés être des alternatives prometteuses. Ces substances naturelles possèdent des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes qui les rendent efficaces pour prolonger la durée de conservation des produits alimentaires. Les huiles essentielles, extraites principalement des feuilles, fleurs et racines, sont des mélanges complexes de composés bioactifs tels que les terpènes, les phénols et les alcools. Ces composés ont la capacité d'inhiber la croissance des micro-organismes pathogènes, tels que les bactéries, les moisissures et les levures, et de prévenir l'oxydation des graisses, l'un des principaux facteurs de détérioration des aliments (**Bakkali et al., 2008; Bouhanna et al., 2022**). En plus de leurs propriétés antimicrobiennes, ces composés ont également montré des effets antioxydants significatifs, ce qui permet de protéger les aliments contre les radicaux libres et de prolonger leur durée de conservation (**Al-Refaie et al., 2023 ; Noshirvani, 2024**).

Cependant, l'utilisation directe de ces extraits dans les produits alimentaires peut être limitée en raison de leur volatilité et de leur capacité à se dégrader rapidement lorsqu'ils sont exposés à l'oxygène ou à la chaleur. Pour résoudre ce problème, les chercheurs ont exploré différentes solutions, dont l'intégration de ces extraits dans des matrices polymères naturelles. Parmi ces matrices, la gélatine, un biopolymère dérivé du collagène animal, s'avère être l'une des solutions les plus prometteuses. En effet, la gélatine est largement utilisée dans l'industrie alimentaire grâce à ses propriétés filmogènes, encapsulantes et biocompatibles. Elle permet de

stabiliser les huiles essentielles et les extraits de plantes tout en protégeant leurs propriétés actives contre les facteurs environnementaux tels que l'humidité, la chaleur et la lumière (Stoleru & Brebu, 2021 ; Tița *et al.*, 2024). De plus, elle joue un rôle important dans la formation de films ou de revêtements comestibles qui agissent comme une barrière protectrice pour les aliments, tout en permettant une libération contrôlée des composés bioactifs (Abdelhedi *et al.*, 2022).

L'Algérie, avec sa biodiversité riche et ses vastes ressources en plantes médicinales, représente un terrain propice à la mise en place de films bioactifs à base d'extraits végétaux. Parmi les plantes les plus prometteuses figure l'espèce *Artemisia herba-alba*, également connue sous le nom d'armoise blanche ou Echih. L'armoise blanche est traditionnellement utilisée pour traiter les troubles digestifs, les ulcères, les brûlures, la diarrhée, etc. Elle fait l'objet de plusieurs études visant à déterminer ses propriétés biologiques ainsi que sa composition chimique (Vernin *et al.*, 1995; Mighri *et al.*, 2010; Mohamed *et al.*, 2010; Tilaoui *et al.*, 2011; Janacković *et al.*, 2015; Benyoucef *et al.*, 2018; Moussii *et al.*, 2020; Houti *et al.*, 2023; Dmour *et al.*, 2024; Medjeldi *et al.*, 2024; Baranová *et al.*, 2025). Les huiles essentielles de cette espèce, riches en métabolites secondaires aux effets antibactériens et antioxydants, présentent des propriétés qui les rendent idéales pour une utilisation dans des systèmes d'emballage actif, capables de prolonger la durée de vie des produits alimentaires tout en préservant leur qualité nutritionnelle et organoleptique.

L'intégration de la gélatine avec des extraits de plantes médicinales dans le développement de films bioactifs ouvre la voie à des solutions de conservation alimentaire plus durables et écologiques. Ces films, en plus de leur capacité à maintenir la qualité des aliments, offrent également des avantages environnementaux importants. En remplaçant les emballages plastiques traditionnels par des films comestibles et biodégradables, il est possible de réduire considérablement l'empreinte écologique de l'industrie agroalimentaire. De plus, ces films bioactifs permettent une réduction de l'utilisation de consommateurs pour des produits naturels et sans additifs chimiques (Ștefănescu *et al.*, 2022).

L'objectif principal de cette étude est de formuler et de caractériser des films bioactifs à base de gélatine incorporant des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba*. Elle vise à exploiter les propriétés antimicrobiennes et antioxydantes de cette plante afin d'améliorer la conservation des denrées alimentaires (la viande hachée), en prolongeant leur durée de vie tout en maintenant leur qualité nutritionnelle et organoleptique. L'étude s'inscrit dans une approche éco-innovante, cherchant à proposer une alternative naturelle, biodégradable et sans additifs chimiques aux méthodes traditionnelles de conservation et aux emballages plastiques, tout en valorisant les ressources végétales locales à fort potentiel bioactif.

Matériel

et

Méthodes

Matériel et Méthodes

1- Matériel

1-1- Matériel végétale

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué des parties aériennes de l'espèce *Artemisia herba-alba* Asso., 1779 (*A. herba-alba*), espèce largement employée en médecine traditionnelle. Les échantillons ont été récoltés le 15 février 2025 dans la région d'El Hamma (wilaya de Khenchela). L'identification botanique a été réalisée et confirmée par le Dr. Azzeddine ZERAIB, maître de conférences à l'Université Abbès Laghrour de Khenchela (Tableau 1).

Tableau 1 : Classification botanique de l'espèce *Artemisia herba-alba*.

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Asterales
Famille	Asteraceae
Sous-famille	Asteroideae
Tribu	Anthemideae Cass., 1819
Sous-Tribu	Artemisiinae Less., 1890
Genre	<i>Artemisia</i> L., 1753
Espèce	<i>Artemisia herb-alba</i> Asso, 1779

Après la récolte et l'identification botanique, les parties aériennes de la plante ont été soigneusement nettoyées afin d'éliminer toute impureté, puis séchées à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité, pendant 15 jours. Une fois séchées, elles ont été découpées en fragments d'environ 1 cm de longueur, puis conservées dans des sachets en papier jusqu'à leur utilisation pour l'extraction des huiles essentielles.



Figure 1 : Le Matériel végétale récolté. (Photos personnelles)

1-2- Matériel microbiologique

Trois souches bactériennes de référence, issues de la collection American Type Culture Collection (ATCC), ont été sélectionnées pour évaluer l'activité antibactérienne des films à base de gélatine. Il s'agit de:

- ✚ *Escherichia coli* (ATCC 25922), une bactérie à Gram négatif appartenant à la famille des Enterobacteriaceae;
- ✚ *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), une bactérie à Gram positif de la famille des Staphylococcaceae;
- ✚ *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603), un micro-organisme à Gram négatif également rattaché à la famille des Enterobacteriaceae.

1-3- Denrée alimentaire (la viande hachée)

De la viande hachée d'agneau, fraîchement préparée, a été obtenue auprès d'une boucherie située à Khenchela, puis transportée au laboratoire dans une glacière isotherme afin de préserver sa qualité et prévenir toute altération.

2- Méthodes

2-1- Extraction des huiles essentielles

L'huile essentielle des parties aériennes d'*A. herba-alba* a été extraite par hydrodistillation selon **Zeraib (2018)**. Une quantité de 150 g de matériel végétal a été placée dans un ballon contenant 1,5 L d'eau distillée. Le mélange a été porté à ébullition pendant 3 heures. Les vapeurs chargées d'huile essentielle ont d'abord traversé un tube vertical (colonne de réfrigération) avant d'être condensées dans un réfrigérant. Le condensat formé s'est accumulé dans le tube collecteur du Clevenger, préalablement rempli d'eau distillée. Grâce à la différence de densité, l'huile essentielle a surnagé à la surface de l'eau, permettant sa récupération précise (**figure 02**).



Figure 2 : Dispositif d'hydrodistillation Clevenger. (Photo personnelle)

L'huile essentielle obtenue est séparée de l'eau par une simple décantation. L'humidité résiduelle présente dans l'huile est ensuite éliminée à l'aide d'un agent déshydratant, le sulfate de sodium. Enfin, l'huile essentielle est conservée à l'abri de la lumière à une température de 4°C jusqu'à son utilisation.

Le rendement correspond à la quantité d'huile essentielle extraite d'une masse donnée de matériel végétal pendant une durée déterminée. Il est calculé comme le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de matériel végétal utilisé.

2-2- Préparation des films à base de gélatine

Le film d'emballage à base de gélatine a été élaboré selon la méthode décrite par **Bouhanna et al. (2021)**, avec certaines modifications. Deux types de films ont été préparés dans le cadre de cette étude : un film témoin (FT), ne contenant aucun extrait, et un film enrichi en huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* à différentes concentrations (0,5 % et 1 %, v/v) (FAH1, FAH2), ainsi qu'en hydrolat à 10 % (FAH3).

Pour la préparation de la solution filmogène, 4 g de poudre de gélatine ont été dissous dans 50 ml d'eau distillée (concentration: 4 g/50 ml). Par la suite, 1,2 ml de glycérol (correspondant à 0,3 ml/g de gélatine) a été ajouté en tant que plastifiant, ainsi que 1,2 g de sorbitol (0,3 g/g de gélatine).

Pour la formulation des films enrichis, différentes concentrations d'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* (0,5 ml et 1 ml), 10 ml d'hydrolat, ainsi que 1 ml de Tween 20 (agent émulsifiant) ont été incorporées à la solution. Le volume final a été ajusté à 50 ml à l'aide d'eau distillée. La solution obtenue a été homogénéisée, puis chauffée à 40 °C pendant 15 minutes. Après filtration à l'aide d'une toile de mousseline, un volume approprié de la solution a été versé dans des boîtes de Pétri. Les films ont ensuite été séchés dans un four ventilé à 40 °C pendant 24 heures.

Le film témoin (FT) a été préparé selon le même protocole, l'huile essentielle étant remplacée par un volume équivalent d'eau distillée.

2-3- Caractérisation physico-chimique des films à base de gélatine

2-3-1- Aspect visuel du film

Un examen organoleptique, basé sur l'inspection visuelle et l'évaluation tactile, a été effectué pour l'ensemble des échantillons de films élaborés. Seuls les films présentant une structure homogène, sans présence de particules non dissoutes, et présentant une coloration uniforme ont été retenus pour la suite des analyses (**Bouhanna et al., 2021**).

2-3-2- Épaisseur

L'épaisseur des films à base de gélatine a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse numérique (Mitutoyo, modèle 102-707, Japon), présentant une précision de 0,001 mm (**Figure**). Pour chaque échantillon, au moins trois mesures ont été réalisées à différents points choisis aléatoirement, et la valeur moyenne a été retenue comme épaisseur finale du film. (**Hanani et al., 2014**)

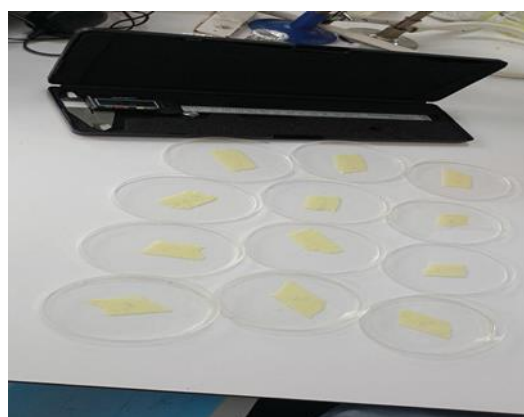


Figure 3: Mesure de l'épaisseur des films à base de gélatine à l'aide d'un pied à coulisse numérique. (photos personnelles)

2-3-3- Opacité

L'opacité constitue une propriété essentielle des biofilms, car elle influence la transmission de la lumière tout en maintenant un certain degré de transparence, permettant ainsi une visibilité partielle à travers le matériau d'emballage (**Abdullah et al., 2022**).

L'évaluation de cette caractéristique a été réalisée selon la méthode décrite par **Sun et al. (2025)**. Des échantillons de films, découpés aux dimensions de $1 \times 2 \text{ cm}^2$, ont été analysés à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à une longueur d'onde de 600 nm, l'air servant de blanc de référence (**Felix et al., 2017**).

$$O = \text{Abs}_{600} \text{ (nm)} / x \text{ (mm)}$$

où :

O: indice d'opacité, **Abs₆₀₀:** absorbance mesurée à 600 nm, **x:** épaisseur du film (en mm).

2-3-4- Couleur

La mesure de la couleur du film est réalisée à l'aide d'un colorimètre. Les densités des couleurs bleue, rouge et verte sont déterminées en employant des longueurs d'onde de 470 nm, 710 nm et 520 nm, respectivement.

2-3-5- Perméabilité à la vapeur d'eau

La perméabilité à la vapeur d'eau (PVE) des films a été évaluée selon la méthode décrite par **Zhang et al. (2020)**, avec quelques modifications. Les films ont été découpés en petits morceaux carrés, puis fixés à l'ouverture de cuvettes contenant environ 0,5 g de gel de silice anhydre, assurant une humidité relative de 0 %. Les cuvettes ont été hermétiquement scellées à l'aide de papier paraffiné, puis placées dans un dessiccateur contenant de l'eau distillée, maintenant une humidité relative élevée, à une température ambiante (environ 22 °C).

Chaque type de film a été analysé en trois répétitions, sur une durée totale de 6 heures. Le gain de masse a été enregistré toutes les deux heures afin de suivre la diffusion de la vapeur d'eau à travers les films. La perméabilité à la vapeur d'eau a ensuite été calculée à l'aide de l'équation proposée par **Gómez-Estaca et al. (2009)**:

$$PVE = P \cdot X / A \cdot T (P_2 - P_1)$$

Où, **P**: Poids de cuvettes (g) ; **X**: épaisseur de film (chaque type de film teste) (mm) ; **A**: la surface exposé de film (cm²) ; **T**: le temps (h). **P₂-P₁**, la différence de pression partielle de vapeur entre l'atmosphère sèche et l'eau pure (2642 Pa à 22 °C)

2-3-6- Hydro-solubilité

L'hydro-solubilité des films a été déterminée en suivant le protocole décrit par **Mehmood et al. (2020)**. Des échantillons de dimensions 2 × 2 cm² ont été pesés afin d'obtenir leur masse initiale (P_i). Ils ont ensuite été immergés dans 50 mL d'eau distillée à température ambiante pendant 24 heures. À l'issue de cette période, les échantillons ont été retirés, puis séchés au four à 105 °C pendant 24 heures afin d'obtenir leur masse sèche résiduelle (P_f). Le pourcentage de solubilité dans l'eau (S %) a été calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$S\% = (P_i - P_f) / P_i \cdot 100$$

2-3-7- La teneur en humidité

La teneur en humidité (TH) des films a été déterminée à l'aide de la méthode gravimétrique, conformément au protocole décrit par **Tymczewska et al. (2021)**. Des échantillons de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ont été découpés à partir de chaque film, puis pesés afin d'enregistrer leur masse initiale (P_i). Ces échantillons ont ensuite été placés dans une étuve à 105°C pendant 3 heures afin d'éliminer l'eau résiduelle. Après séchage, les échantillons ont été de nouveau pesés pour déterminer leur masse sèche (P_s).

Chaque analyse a été réalisée en trois répétitions, et la teneur en humidité a été calculée selon la formule suivante:

$$\text{TH (\%)} = \frac{P_i - P_s}{P_i} * 100$$

2-3-8- Test de biodégradabilité

L'évaluation de la biodégradabilité des films a été réalisée selon la méthode décrite par **(Bessalah et al., 2022)**. Des échantillons de films, découpés en petits morceaux carrés de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ et préalablement pesés (P_i), ont été enfouis à une profondeur de 5 cm dans un bac contenant du sol. L'humidité du milieu a été maintenue par une pulvérisation quotidienne d'eau distillée. À des intervalles déterminés (5, 10, 15, 20, 25 et 30 jours), les échantillons ont été soigneusement extraits, lavés à l'eau distillée pour éliminer les particules de sol, séchés à 50°C pendant 24 heures, puis pesés à nouveau (P_f). Le pourcentage de biodégradation a été calculé selon l'équation suivante:

$$\text{Bd (\%)} = \frac{P_i - P_g}{P_i} * 100$$

2-4- Caractérisation biologique des films à base de gélatine

2-4-1- Activité antibactérienne

L'évaluation de l'activité antibactérienne des films préparés a été réalisée par la méthode de diffusion sur gélose, décrite par **Zeraib et al. (2021)**, avec quelques modifications.

Des disques de films à tester, d'un diamètre de 6 mm, ont été déposés sur un milieu Mueller-Hinton préalablement ensemencé avec une suspension bactérienne standardisée à une turbidité de 0,5 McFarland. Les souches bactériennes sélectionnées étaient en phase de croissance exponentielle afin d'assurer leur viabilité optimale. Après incubation à 37 °C pendant 18 heures, les diamètres des zones d'inhibition autour des disques ont été mesurés en millimètres pour évaluer l'activité antibactérienne des films. Chaque essai a été effectué en trois répétitions indépendantes afin de garantir la robustesse et la fiabilité des résultats.

La sensibilité des souches aux films testés a été déterminée en fonction du diamètre des zones d'inhibition, classé selon quatre niveaux de réponse, conformément à la méthode décrite par **Ponce *et al.* (2003)**.

-  **Résistante (-):** diamètre < 8 mm.
-  **Sensible (+):** diamètre entre 9 et 14 mm.
-  **Très sensible (++):** diamètre entre 15 et 19 mm.
-  **Extrêmement sensible (+++):** diamètre > 20 mm.

2-4-2- Activité antioxydante

L'activité antioxydante des films préparés a été évaluée selon la méthode décrite par **Wu *et al.* (2023)**, avec quelques modifications. Pour cela, 0,1 g de film a été dissous dans 5 ml d'éthanol à 50 %, puis soumis à une agitation continue pendant 24 heures, à l'abri de la lumière. La solution a ensuite été centrifugée à 4000 tr/min pendant 5 minutes, et le surnageant récupéré. Un volume de 1 ml de ce surnageant a été mélangé à 2 ml d'une solution de DPPH (0.1mM dans de l'éthanol), puis incubé dans l'obscurité pendant 1 heure. L'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques à fluorescence. Chaque échantillon a été analysé au moins huit fois afin d'assurer la reproductibilité des données. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition des radicaux DPPH, selon la formule suivante :

$$I\% = [(Abs\ contrôle - Abs\ test) / Abs\ contrôle] \times 100$$

2-5- Application des films à la bio-conservation de viande hachée

2-5-1- Préparation de la viande hachée

De la viande hachée fraîche a été obtenue auprès d'une boucherie locale située à Khenchela, puis transportée au laboratoire dans une glacière isotherme afin de préserver sa fraîcheur. À son arrivée, la viande hachée a été divisée en 51 échantillons: trois d'entre eux ont été utilisés comme groupe témoin (sans emballage: 0 jours de conservation), tandis que les 48 restants ont été emballés dans différents types de films préalablement élaborés, à raison de trois échantillons par type de film.



Figure 4 : Préparation de la viande hachée pour l'application des films à la bio-conservation.

Tous les échantillons ont été stockés à une température contrôlée de 5 °C pendant une période de 12 jours. Des analyses ont été effectuées aux jours 0, 3, 6, 9 et 12 afin d'évaluer plusieurs paramètres de qualité, notamment le pH, l'oxydation des protéines, ainsi que le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT).

2-5-2- Détermination du pH

L'évaluation du pH permet de déterminer le degré d'acidité ou d'alcalinité de la viande hachée, un facteur clé pour apprécier sa qualité et sa stabilité microbiologique. À cette fin, un échantillon de deux grammes a été mélangé avec 50 mL d'eau distillée, dont le pH avait été préalablement ajusté à 7,00. Après homogénéisation, le mélange a été filtré, et le pH du filtrat a ensuite été mesuré (**Ben Akacha et al., 2022**).

2-5-3- Dénombrement de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)

L'analyse microbiologique des échantillons a consisté à évaluer la charge en flores totales aérobies mésophiles (FTAM) tous les trois jours, sur une période de 12 jours, à partir de viande hachée conservée dans des films à base de gélatine, avec ou sans incorporation d'huiles essentielles de l'armoise blanche. Pour chaque prélèvement, un gramme de viande hachée a été dilué dans 9 mL d'eau peptonée tamponnée, constituant ainsi la dilution initiale (10^{-1}). Des dilutions décimales successives ont ensuite été réalisées jusqu'à 10^{-4} .

Le dénombrement des FTAM a été effectué par ensemencement en masse de 1 mL des dilutions 10^{-1} , 10^{-3} et 10^{-4} sur gélose nutritive, suivi d'une incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures. Le nombre de colonies formées a été ensuite compté manuellement afin d'estimer la concentration en unités formant colonies (UFC) par gramme de viande.

2-6- Analyse statistique

Dans le cadre de cette étude, chaque analyse a été réalisée en trois répétitions indépendantes. Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type (SD). Une analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée afin d'évaluer la signification statistique des effets observés. Lorsque l'ANOVA révélait une différence significative, les moyennes ont été comparées à l'aide du test post-hoc de Tukey HSD (Honest Significant Difference). tandis que la construction des graphiques a été effectuée à l'aide du logiciel Origin24.

Résultats et Discussion

Résultats et discussion

1- Rendement en huile essentielle

L'hydrodistillation des parties aériennes d'*A. herba-alba* a conduit à l'obtention d'une huile essentielle de couleur jaune verdâtre, présentant une odeur aromatique caractéristique, avec un rendement de 0,9 %. Ce rendement s'avère comparable à ceux rapportés pour la même espèce et partie végétale dans plusieurs régions : Tebessa, 0,99 % (**Medjeldi et al., 2024**); Sidi Ahmed (Saïda), 0,92 % (**Bouzidi et al., 2016**); Djelfa 0,8, % (**Lekhal et al., 2017**) ; Ain Bebbouche (Oum El Bouaghi), 1 % (**Rekkab et al., 2016**) et Makthar (Siliana, Tunisie), 0,84 % (**Amri et al., 2013**).

Il se révèle significativement supérieur aux rendements observés à Tlemcen, 0,7 % (**Benyoucef et al., 2018**), au Caire (Égypte), 0,11 % (**El-Seedi et al., 2017**) et à Ciliana (Bargou, Tunisie) qui est de 0,1 % (**Baranová et al., 2025**).

En revanche, il reste inférieur aux valeurs obtenues pour des échantillons provenant de Souk Ahras, 1,19 % (**Delmi et al., 2017**) ; de Jordanie, 1,3 % (**Hudaib & Aburjai, 2006**) ; d'El Kantara (Biskra), 1,23 % (**Bouatrous & Mechaala, 2020**) et de Karak (Sud de la Jordanie) qui est de 4,4 % (**Dmour et al., 2024**).

La variation du rendement peut être attribuée à une combinaison de facteurs, notamment les conditions environnementales, l'origine géographique de l'espèce, l'organe végétal utilisé, la saison de récolte, la méthode d'hydrodistillation appliquée, les traitements post-récolte, les conditions de stockage, ainsi que d'autres paramètres physiologiques ou techniques susceptibles d'influencer l'extraction.

Bellili et al. (2016) ont rapporté que le rendement en huile essentielle d'*A. herba-alba* (HEAH) ainsi que sa composition chimique dépendent de l'organe végétal utilisé. Le rendement le plus élevé, soit 1,86 %, a été obtenu à partir des feuilles. Il est suivi de celui extrait des feuilles et tiges combinées (0,42 %), puis des tiges seules (0,25 %). Le rendement le plus faible, 0,1 %, a été enregistré à partir des racines.

Salido et al. (2003), dans une étude sur la variabilité de la composition chimique des huiles essentielles de 16 individus d'*A. herba-alba* récoltés dans quatre populations différentes en même période durant la phase de floraison et dans les mêmes conditions écologiques, ont rapporté que le rendement en huile essentielle varié de 0.41% à 2.30%.

Dans une étude récente sur l'effet de la saison et le stade phénologique de la plante sur la composition chimique et les activités biologiques des huiles essentielles de l'armoise blanche du Maroc, il a été noté que le rendement en huile essentielle est directement liés au stade phénologique et à la saison. Le rendement le plus élevé est de 1,74 %, enregistré pour les échantillons récoltés en Juin; la période d'apparition des jeunes bourgeons floraux, accompagnée d'une forte densité foliaire, suivi par le rendement obtenu à partir des plantes récoltées en septembre durant le stade de floraison et de fructification de la plante (généralement en automne), considérée comme la période de maturité, qui est de 1,3 %. Enfin, le rendement le plus faible, 0.49% est enregistré à partir des plantes récoltées durant le stade végétatif (printemps en Mars) (**Houti et al., 2023**).

2- Caractérisation physico-chimique des films

2-1- Aspect visuel

L'observation macroscopique des films de gélatine préparés (**Figure 5**) révèle une surface uniforme, exempte de particules insolubles, et une homogénéité satisfaisante, conférant une transparence aux films témoins. L'incorporation de 1% d'HEAH cependant une légère teinte blanchâtre, imputable à la coloration intrinsèque de cette huile essentielle.

La gélification de la gélatine résulte d'un réarrangement structural des chaînes polypeptidiques après dénaturation thermique du collagène. Ce processus implique la rupture des triples hélices natives en monomères solubles, suivie d'une réorganisation moléculaire lors du refroidissement. La formation du réseau tridimensionnel caractéristique du gel résulte de la reformation partielle de motifs hélicoïdaux stabilisés par des liaisons hydrogène interchaînes (**Said & Sarbon, 2022**).



Figure 5 : Aspect visuel des films d'emballage à base de gélatine préparés.

2-2- Épaisseur

L'épaisseur des films à base de gélatine a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse névurique avec une précision de 0.001mm. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 2** et la **figure 6**.

Tableau 2 : Résultats de mesure de l'épaisseur des films à base de gélatine étudiés.

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
Epaisseur (mm)	0.073±0.015 ^a	0.053±0.006 ^{ab}	0.04±0 ^b	0.033±0.006 ^b
^a et ^b , les groupes homogènes (p <0.05); FT , film témoin sans huile; FHE1 , film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2 , film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3 : film enrichi de 10% de l'hydrolat.				

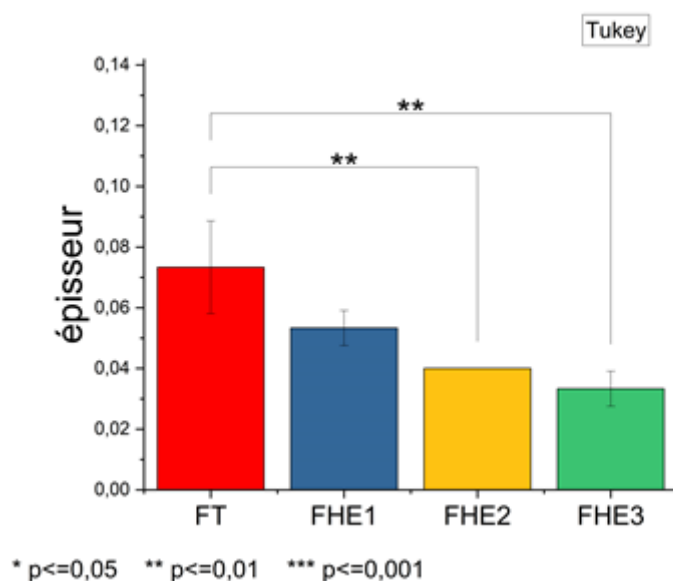


Figure 6 : Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'épaisseur des films à base de gélatine.

Les films ont présenté une diminution progressive de l'épaisseur avec l'augmentation de la concentration en huile essentielle. Cette corrélation inverse concentration-épaisseur est cohérente avec les travaux de **Zinoviadou et al. (2009)**. Ce phénomène peut être attribué à l'effet plastifiant accru des monoterpènes et sesquiterpènes, qui réduisent les interactions interchaînes de la gélatine par relâchement de la structure tri-hélice collagénique. Cette réorganisation moléculaire accroît la mobilité des chaînes polypeptidiques, favorisant un réarrangement macromoléculaire plus dense lors du séchage (**Galus & Kadzińska, 2015**).

Parallèlement, l'augmentation de la fraction lipidique réduit la viscosité de la solution filmogène, accélérant ainsi la migration de l'eau vers la surface. Ce processus conduit à la formation de films plus minces par évaporation différentielle (**Sobral et al., 2001**).

2-3- Opacité

L'opacité constitue une propriété optique fondamentale des matériaux d'emballage alimentaire. Cette caractéristique contribue significativement à prévenir la dégradation photo-induite des denrées, tout en préservant la fonction barrière du film contre l'oxydation des produits conditionnés (**Rubilar et al., 2013**).

La mesure de l'opacité des films élaborés a été réalisée par spectrophotométrie UV-visible à une longueur d'onde fixe de 600 nm. Les valeurs quantitatives obtenues sont présentées dans le Tableau 3 et graphiquement dans la **Figure 7**.

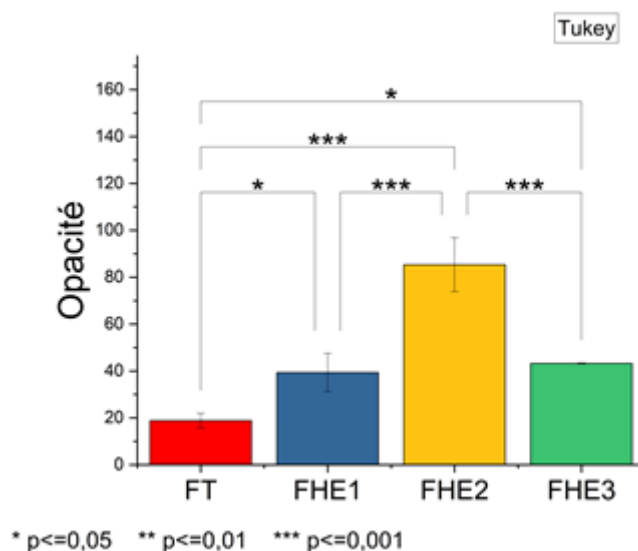


Figure 7: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'opacité des films à base de gélatine.

Tableau 3: Résultats de l'opacité des films à base de gélatine étudiés.

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
Opacité (mm ⁻¹)	18.84±3.17 ^a	39.35±5.76 ^b	85.33±11.5 ^c	43.25±0.25 ^b
^a et ^b , les groupes homogènes (p <0.05); FT , film témoin sans huile; FHE1 , film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2 , film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3 : film enrichi de 10% de l'hydrolat.				

Les résultats obtenus indiquent que l'hydrolat et l'HEAH exercent un effet hautement significatif sur l'opacité des films à base de gélatine. Cette augmentation de l'opacité pourrait être attribuée, d'une part, à la coloration intrinsèque des composés volatils contenus dans l'huile essentielle, et d'autre part, aux interactions physico-chimiques entre les constituants de l'huile et les protéines de la matrice gélatineuse (**Gómez-Estaca et al., 2009**).

2-4- Couleur

La caractérisation colorimétrique des films préparés a été effectuée en mesurant les absorbances des couleurs bleue, rouge et verte aux longueurs d'onde de 470 nm, 520 nm et 710 nm, respectivement, à l'aide d'un colorimètre. Les résultats obtenus sont présentés graphiquement dans la **figure 8**.

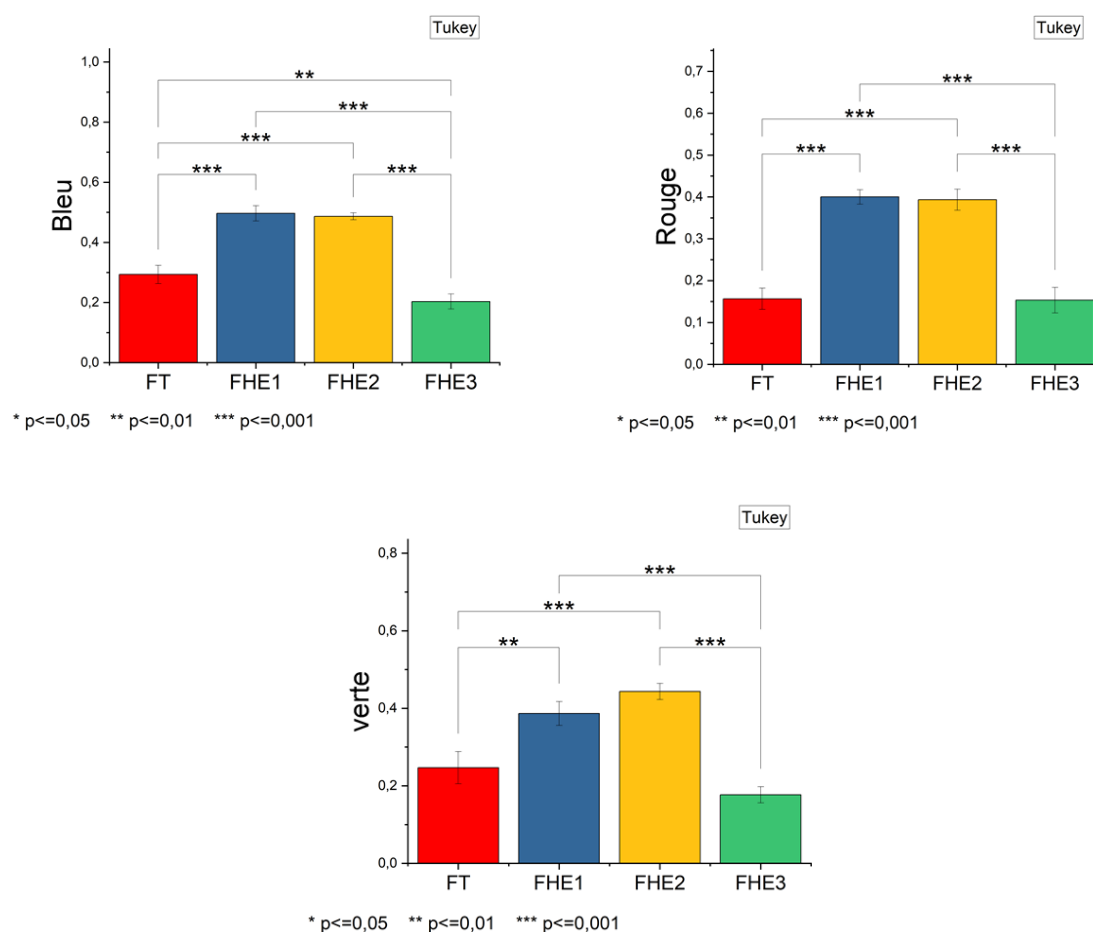


Figure 8: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur la couleur des films à base de gélatine.

Les résultats ont révélé que les films de gélatine enrichis d'HEAH présentent des chromaticités rouge, bleue et verte significativement plus élevées comparativement au film témoin et aux formulations contenant exclusivement de l'hydrolat. Cette tendance est cohérente avec les observations de **Kodal Coşkun et al. (2014)** sur des films comestibles à base de protéines de soja: l'incorporation d'huile essentielle d'origan y générerait également des valeurs a^* et b^* supérieures à celles du témoin.

2-5- Perméabilité à la vapeur d'eau (PVE)

Les valeurs de PVE mesurées pour les films élaborés, après une période de stabilisation de 48 heures, sont consignées dans le **Tableau 4** et représentées graphiquement dans la **Figure 9**.

Tableau 4: Résultats de la perméabilité à la vapeur d'eau des films à base de gélatine.

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
PVE ($\text{g} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$). 10^{-7}	$9.3 \pm 2.35\text{a}$	$6.93 \pm 0.25\text{ab}$	$4.48 \pm 0.89\text{b}$	$4.76 \pm 1.13\text{b}$
a et b , les groupes homogènes ($p < 0.05$); PVE , Perméabilité à la vapeur d'eau; FT , film témoin sans huile; FHE1 , film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2 , film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3 : film enrichi de 10% de l'hydrolat.				

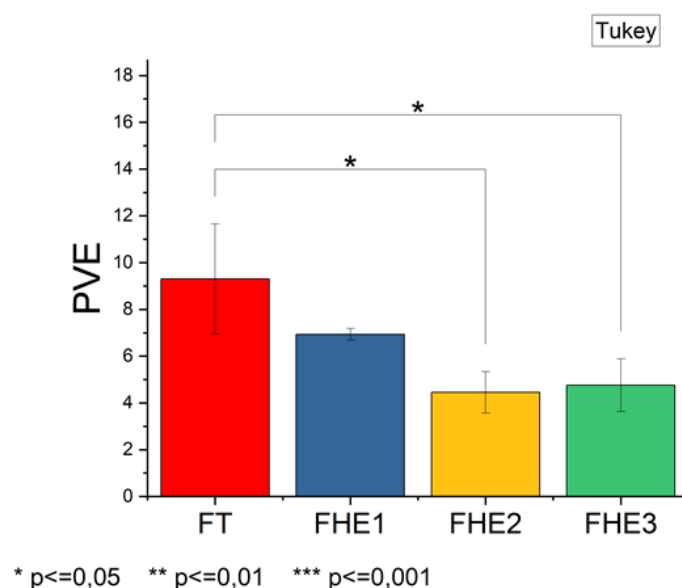


Figure 9: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur la perméabilité à la vapeur d'eau des films à base de gélatine

Les films à base de gélatine enrichis en hydrolat et HEAH ont démontré une résistance significativement accrue à la perméation hydrique comparativement au témoin. L'augmentation observée des propriétés barrières est attribuable à des mécanismes synergiques : l'occupation des sites hydrophiles par les terpènes apolaires et la réorganisation conformationnelle des chaînes polypeptidiques de la gélatine, limitant la diffusion moléculaire de l'eau (**Galus & Kadzińska, 2015**).

La fonction barrière principale des matériaux d'emballage alimentaire vise à limiter au maximum les transferts d'humidité, tant à l'interface produit/environnement qu'au sein des systèmes alimentaires hétérogènes. Cette exigence fonctionnelle implique une faible perméabilité à la vapeur d'eau (PVE), un paramètre clé pour la préservation des qualités organoleptiques et de la stabilité microbiologique des denrées (**Gontard et al., 1992**).

2-6- Hydro-solubilité

La solubilité dans l'eau des films élaborés à base de gélatine (avec/sans huile essentielles d'*A. herba-alba*) a été quantifiée via la perte de masse après 24 h d'immersion. Les résultats obtenus sont reportées au **tableau 5** et à la **figure 10**.

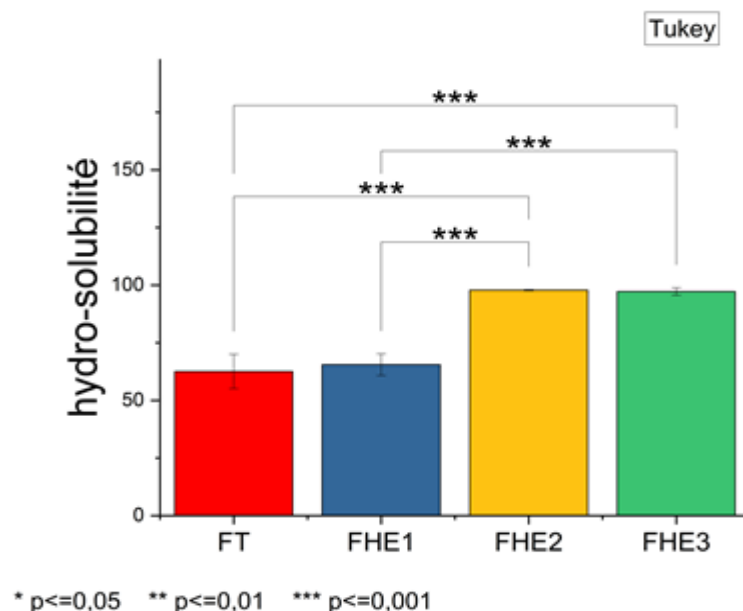


Figure 10: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'hydrosolubilité des films à base de gélatine.

Tableau 5 : Résultats de l'hydro-solubilité des films à base de gélatine.

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
Hydro-solubilité (%)	62.56±7.47 ^a	65.48±4.7 ^a	97.80±0.29 ^b	97.23±1.65 ^b
a et b , les groupes homogènes ($p < 0.05$); FT , film témoin sans huile; FHE1 , film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2 , film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3 : film enrichi de 10% de l'hydrolat.				

Les résultats obtenus montrent que l'enrichissement des films par l'hydrolat et l'HEAH avec une concentration élevée (1%) effect significativement ($p < 0.001$) leur hydro-solubilité.

L'hydro-solubilité dans l'eau est une propriété importante des films comestibles car elle peut affecter leur fonctionnalité et leur durée de conservation. Une solubilité dans l'eau élevée peut être utile pour certaines applications où le film doit se dissoudre rapidement pour libérer le produit, comme dans les revêtements ou les emballages pour produits frais. En revanche, les films insolubles sont utiles pour les applications où le film résistant à l'eau doit conserver son intégrité et sa forme, comme dans les emballages de confiseries ou de snacks. La solubilité d'un film peut être influencée par des facteurs tels que le type et la concentration des polymères, la présence d'autres additifs, ainsi que les conditions de transformation (**Bhatia et al., 2023**).

2-7- L'humidité

La teneur en humidité (TH) des films a été déterminée à l'aide de la méthode gravimétrique. Les valeurs obtenues sont synthétisées dans le **Tableau 6** et leur distribution comparative est illustrée graphiquement par la **Figure 11**.

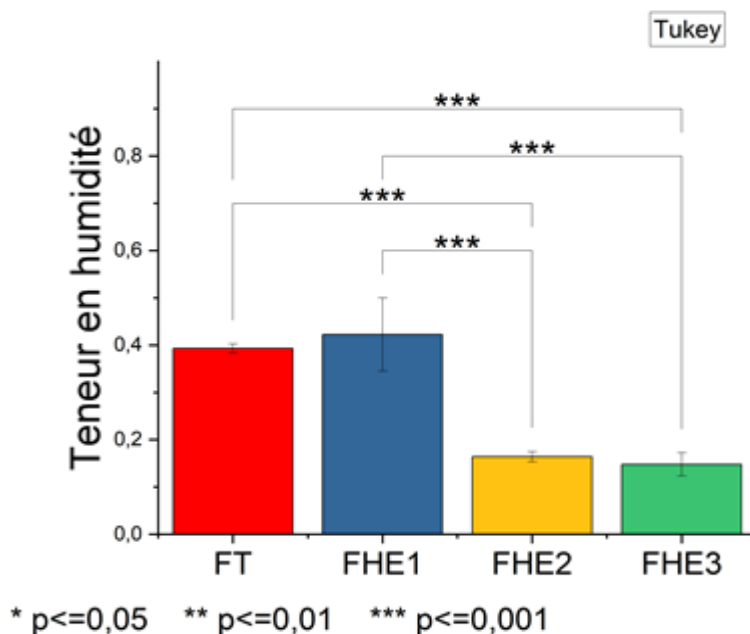


Figure 11: Impact de l'incorporation de l'HEAH sur l'humidité des films à base de gélatine

Tableau 6: Résultats de l'humidité des films à base de gélatine.

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
Teneur en humidité (%)	39.29±1.0a	42.23±7.74a	16.41±1.09b	14.78±2.45b
a et b, les groupes homogènes (p <0.05); FT, film témoin sans huile; FHE1, film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2, film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3: film enrichi de 10% de l'hydrolat.				

Selon les données présentées, les valeurs de TH des films préparés varient entre 14,78 % avec le film enrichis de l'hydrolat et 42,23 % avec le film enrichi de 1% de HEAH. L'hydrolat et la concentration d'HEAH à hauteur de 2 % ont affecté hautement significative la TH des films élaborés par rapport au film témoin, tandis que la concentration 1% d'HEAH a un effet sénilaire au film témoin.

Cette réduction de la teneur en humidité résulte d'une modification structurale du réseau protéique induite par les huiles essentielles et hydrolats. Ces composés agissent comme plastifiants hydrophobes en perturbant les liaisons hydrogène entre les chaînes de gélatine. Cette altération entraîne une diminution de la densité du réseau macromoléculaire, restreignant ainsi les sites de fixation de l'eau (**Tongnuanchan et al., 2012**).

2-8- Biodégradabilité

La biodégradation est formellement définie comme la décomposition des matériaux organiques, principalement induite par les activités enzymatiques des micro-organismes (notamment les bactéries et les champignons), constituant ainsi une forme spécifique de dégradation biotique (**Alexander, 1999**). Pour évaluer la cinétique de biodégradation des substances dans des conditions environnementales pertinentes, les essais d'enfouissement en sol extérieur représentent une approche méthodologique standard (**Bessaleh et al., 2022**). Les chercheurs emploient fréquemment ces tests en faisant varier la durée d'exposition afin d'évaluer les profils de dégradation temporelle.

Dans cette étude, les films ont été enfouis à 5 cm de profondeur dans un sol limoneux contenu dans un bac, et pulvérisés quotidiennement avec de l'eau distillée à une température ambiante (environ 24 °C). Au terme de 5 jours d'exposition, tous les échantillons ont subi une dégradation complète, caractérisée par une perte de masse de 100 % et une fragmentation visuelle totale.

Conformément à cette méthodologie, des études antérieures ont démontré que des films polymères incorporant des extraits naturels spécifiques peuvent parvenir à une dégradation complète en approximativement deux semaines dans de telles conditions d'enfouissement (**Jaramillo et al., 2016 ; Bessaleh et al., 2022**).

3- Activités biologiques des films à base de gélatine

3-1- Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des films à base de gélatine a été évaluée par la méthode de diffusion en gélose (disques) contre trois souches bactériennes cibles: *E. coli*, *S. aureus* et *K. pneumoniae*. La sensibilité bactérienne a été quantifiée sur la base du diamètre des zones d'inhibition. Les résultats de cette analyse sont présentés dans la **Figure 12**.



Escherichia coli (ATCC 25922)



Klebsiella pneumoniae (ATCC 700603)



Staphylococcus aureus (ATCC 29213)

Figure 12: Propriétés antibactériennes de films de gélatine.

Comme le montre dans la **figure 12**, aucune activité antibactérienne n'a été enregistré pour tous des films testés. Ceci peut être expliqué par la faible concentration de l'huile essentielle d'*A. Herba-alba* incorporé dans le film à base de gélatine qui est de 20µ/ml.

En effet, plusieurs études menées sur l'activité antibactérienne de l'huile essentielle d'armoise blanche ont démontré une activité importante, attribuée à sa composition riche en monoterpènes oxygénés, composés reconnus pour leur efficacité antibactérienne (Yashphe *et al.*, 1979; Mighri *et al.*, 2010 ; Lekhal *et al.*, 2017, Lairini *et al.*, 2018 ; Moussii *et al.*, 2020 ; Bouatrous & Mechaala, 2020 ; Bouhouia *et al.*, 2020 ; Houti *et al.*, 2023 ; Dmour *et al.*, 2024 ; Medjeldi *et al.*, 2024).

3-2- Activité antioxydante

L'activité antioxydante des films de gélatine a été évaluée par le test au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), basé sur la réduction du radical libre DPPH• en présence d'antioxydants. Ce mécanisme implique le transfert d'un atome d'hydrogène ou d'un électron, conduisant à la formation du dérivé réduit DPPH-H. Les résultats quantitatifs de cette analyse sont présentés dans la **Figure 13**.

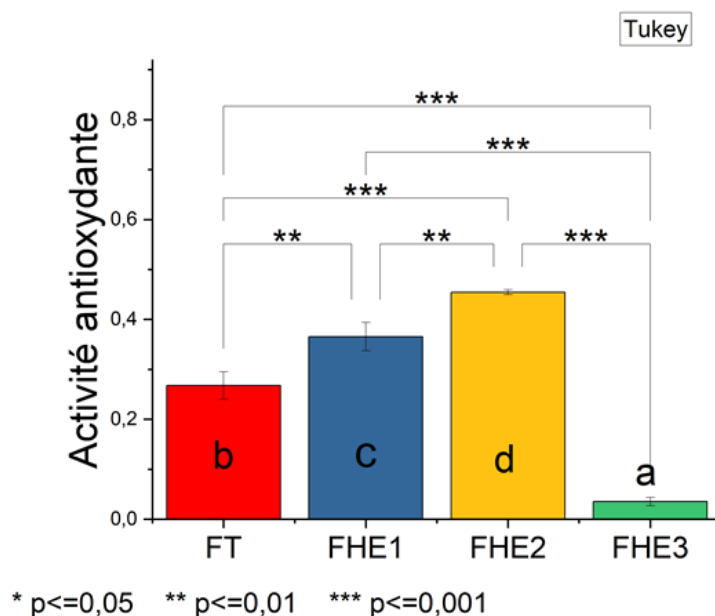


Figure 13: Propriétés antioxydantes de films de gélatine via la méthode de DPPH.

L'incorporation d'huile essentielle d'*A. herba-alba* (HEAH) dans la matrice gélatineuse améliore significativement ($P < 0,01$) l'activité antioxydante des films. Les taux d'inhibition du radical DPPH• atteignent 45,45% (films à 1% HEAH) et 36,56% (films à 0,5% HEAH), contre 26,78% pour le film témoin non chargé (**Figure 13**). Cette amélioration dose-dépendante suggère une synergie entre les composés bioactifs de l'HEAH et la gélatine, potentialisant le pouvoir piègeur de radicaux (Nilsuwan *et al.*, 2019 ; Wang *et al.*, 2019).

À l'inverse, l'adjonction d'hydrolat réduit drastiquement l'activité antioxydante (3,56%), présentant une valeur significativement inférieure ($P < 0,001$) au témoin (26,78%). Cette inhibition compétitive pourrait résulter d'interactions moléculaires défavorables

L'activité antioxydante observée dans les films témoins est principalement attribuable aux peptides constitutifs de la gélatine, en particulier aux acides aminés à potentiel réducteur tels que la proline et la glycine (Gómez-Guillén *et al.*, 2007). Ces résidus confèrent à la matrice protéique une capacité intrinsèque de piégeage radicalaire via des mécanismes de transfert d'hydrogène.

4- Application des films à la bio-conservation de viande hachée

4-1- Effet de film sur le pH de la viande hachée

Le suivi pH-métrique durant le stockage réfrigéré (12 j, 4 °C) a démontré l'impact dose-dépendant des huiles essentielles incorporées dans les films de gélatine sur l'évolution acido-basique de la viande hachée (**figure 14, Tableau 7**).

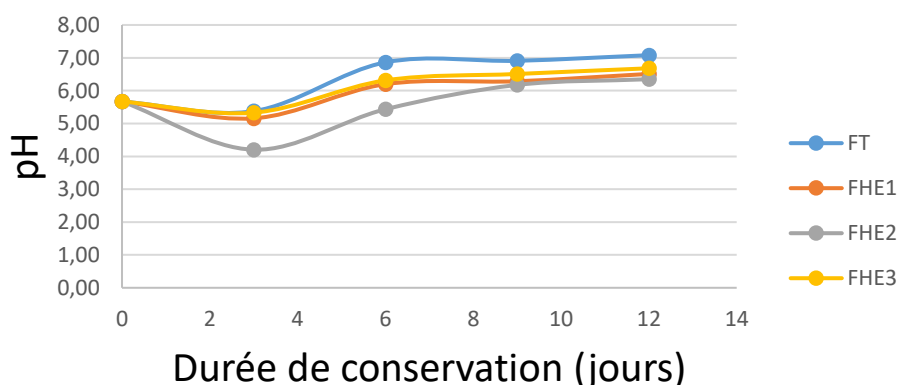


Figure 14: Evolution du pH des échantillons de la viande hachée conservés à 4 °C pendant 12 jours.

Tableau 7: Cinétique d'évolution du pH des échantillons de la viande hachée conservés à 4 °C pendant 12 jours.

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
pH (0 jours)	5.67±0.09 ^{aA}	5.67±0.09 ^{aB}	5.67±0.09 ^{aCD}	5.67±0.09 ^{aA}
pH (3jours)	5.37±0.36 ^{bA}	5.16±0.02 ^{bA}	4.20±0.21 ^{aA}	5.33±0.29 ^{bA}
pH (6 jours)	6.86±0.1 ^{cB}	6.20±0.17 ^{bC}	5.44±0.35 ^{aB}	6.31±0.2 ^{bcB}
pH (9jours)	6.91±0.77 ^{cB}	6.29±0.13 ^{abCD}	6.18±0.11 ^{aDE}	6.51±0.08 ^{bB}
pH (12jours)	7.08±0.08 ^{cB}	6.51±0.04 ^{aD}	6.35±0.04 ^{aE}	6.68±0.08 ^{bB}
a-c, les groupes homogènes (p <0.05) par rapport au type de films (ligne); A-E, les groupes homogènes (p <0.05) par rapport à la période de conservation (colonne); FT, film témoin sans huile; FHE1, film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2, film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3: film enrichi de 10% de l'hydrolat.				

Les valeurs de pH initiales de la viande hachée (0 jours) se situaient entre 5,55 et 5,75 pour tous les échantillons. En fin de conservation (12 jours, 4°C), le pH de l'échantillon témoin (FT) a significativement augmenté ($p < 0,001$) pour atteindre 7,08.

Les films enrichis à 0,5% d'huile essentielle d'*A. herba-alba* (FHE1) ou d'hydrolat (FHE3) ont maintenu une stabilité significative du pH ($p < 0,001$) pendant les 3 premiers jours, conservant des conditions légèrement acides. Par la suite, leur évolution a présenté une cinétique plus lente comparée au témoin (**Figure 14**).

Les films à 1% HEAH (FHE2) ont démontré une stabilisation prolongée ($p < 0,001$) du pH durant les 6 premiers jours, suivie d'une progression ralentie dépassant la stabilité de tous les autres systèmes testés.

Des profils d'évolution du pH comparables ont été rapportés lors de l'utilisation d'huiles essentielles d'origan, le myrte et la sauge pour la conservation de viande bovine hachée. Conformément à ces études, les échantillons traités présentaient systématiquement des valeurs de pH significativement plus basses ($p < 0,01$) que les témoins (**Moreno & Arteaga, 2018**).

L'augmentation du pH observée lors du stockage de la viande hachée résulte principalement de la dégradation protéolytique par la flore bactérienne altérante et certaines souches fongiques. Ce processus biochimique débute par la sécrétion d'exopeptidases microbiennes, notamment des aminopeptidases, qui hydrolysent les liaisons peptidiques N-terminales des protéines. Les groupements amines libérés subissent ensuite une désamination, produisant de l'ammoniac (NH_3) et des ions ammonium (NH_4^+). Ces composés basiques, responsables d'une élévation pouvant atteindre plusieurs unités pH, génèrent simultanément les amines volatiles caractéristiques de l'odeur de putréfaction des viandes avariées (**Abhijith et al., 2021; Ben Akacha et al., 2022**).

4-2- Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)

Le dénombrement de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT) a été effectué sur les échantillons de la viande hachée emballés dans les films préparés et conservés à 5°C pendant 0, 3, 6, 9 et 12 jours. Les résultats sont présentés dans le **tableau 8**.

Tableau 8: Résultats de dénombrement de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT).

Type de films	FT	FHE1	FHE2	FHE3
pH (0 jours)	200 x 10 ⁴	200 x 10 ⁴	200 x 10 ⁴	200 x 10 ⁴
pH (3jours)	300>	144 x 10 ⁴	130 x 10 ⁴	250 x 10 ⁴
pH (6 jours)	300>	180 x 10 ⁴	170 x 10 ⁴	300>
pH (9jours)	300>	220 x 10 ⁴	190 x 10 ⁴	300>
pH (12jours)	300>	300> x 10 ⁴	250 x 10 ⁴	300>
FT, film témoin sans huile; FHE1, film enrichi de 0.5% d'HEAH; FHE2, film enrichi de 1% d'HEAH; FHE3: film enrichi de 10% de l'hydrolat. Note: Compte tenu de l'indisponibilité des réactifs nécessaires, la réalisation de répétitions expérimentales et l'analyse statistique associée (notamment l'ANOVA) n'ont pu être menées à bien.				

Les résultats obtenus montrent une évolution rapide du FTAM dans la viande emballée avec le film FT à partir du 3^e jour, ainsi que dans celle emballée avec le film contenant de l'hydrolat (FHE3) à partir du 3^e jour. Cependant, les films incorporant de l'huile essentielle d'HEAH ont ralenti la cinétique de développement microbien. Il est particulièrement remarquable que les formulations à 1 % d'HEAH (FHE2) aient maintenu la charge microbienne en dessous du seuil réglementaire critique de 6,7 log₁₀ UFC/g (**Ben Akacha et al., 2022**), pendant toute la durée de l'étude (12 jours), démontrant ainsi leur efficacité conservatrice prolongée.

Conclusion

Conclusion

Les emballages plastiques présentent de nombreux inconvénients, dont l'un est leur impact environnemental négatif. Les films et revêtements biodégradables à base de polymères biosourcés naturels pourraient être promus comme solution de remplacement viable. La présente étude vise à caractériser les propriétés fonctionnelles d'un emballage actif innovant, fondé sur une matrice de biopolymère d'origine animale (gélatine) fonctionnalisée par incorporation des huiles essentielles de larmoise blanche.

Les résultats ont montré que les films obtenus sont très homogènes et présentent une couleur transparente. L'incorporation de l'huile essentielle d'*A. herba alba* influence les paramètres analysés, en augmentant l'opacité et la solubilité, tout en réduisant l'épaisseur, la perméabilité, et l'humidité des films. Ces changements sont probablement dus à la composition des huiles essentielles, riches en terpènes oxygénés, mais ils restent acceptables du point de vue des consommateurs.

Par ailleurs, les films enrichis en huile essentielle ont présenté une bonne capacité antioxydante, tandis qu'aucune activité antibactérienne n'a été observée. Ceci peut être expliquer par la faible diffusion des molécules bioactives qui constituent les huiles essentielles.

Les films incorporant l'hydrolat et l'HEAH ont été utilisés comme emballage pour la conservation de la viande hachée pendant 12 jours à une température de 4°C. Comparés aux films témoins, les films bioactifs ont montré une capacité à ralentir l'augmentation du pH et à préserver la viande des contaminations externes. La libération contrôlée des ingrédients actifs des emballages alimentaires améliore la stabilité du produit en raison de l'accumulation continue d'ingrédients actifs à la surface des aliments.

Les résultats obtenus suggèrent que les films à base de gélatine enrichis en huile essentielle d'*A. herba-alba* peuvent constituer des matériaux d'emballage actif et biodégradable prometteurs pour la préservation de la qualité de la viande hachée.

Nos résultats restent préliminaires et méritent d'être approfondis par:

L'étude de spectre d'absorption du film par Infrarouge à transformé de fourrier ;

L'étude de l'architecture du film en utilisant le microscope électronique à balayage.

Références bibliographiques

Liste des références bibliographiques

- Abdelhedi, O., Salem, A., Nasri, R., Nasri, M., & Jridi, M. (2022). Food applications of bioactive marine gelatin films. *Current Opinion in Food Science*, 43, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.12.005>
- Abdullah, J. A. A., Jiménez-Rosado, M., Guerrero, A., & Romero, A. (2022). Gelatin-based biofilms with FexOy-NPs incorporated for antioxidant and antimicrobial applications. *Materials*, 15(5), 1966. <https://doi.org/10.3390/ma15051966>
- Abhijith, A., Warner, R. D., Ha, M., Dunshea, F. R., Leury, B. J., Zhang, M., ... & Chauhan, S. S. (2021). Effect of slaughter age and post-mortem days on meat quality of longissimus and semimembranosus muscles of Boer goats. *Meat science*, 175, 108466. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108466>
- Alexander, M. (1999). *Biodegradation and bioremediation*. Gulf Professional Publishing.
- Al-Refaie, D., Mehryar, G. F., & Shahein, M. (2023). Functional Role of Essential Oils as Antimicrobial and Antioxidant Agents in Food Industry: A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 19(1), 70-88. <https://doi.org/10.35516/jjas.v19i1.1237>
- Amri, I., De Martino, L., Marandino, A., Lamia, H., Mohsen, H., Scandolera, E., ... & Mancini, E. (2013). Chemical composition and biological activities of the essential oil from *Artemisia herba-alba* growing wild in Tunisia. *Natural product communications*, 8(3), 1934578X1300800333. <https://doi.org/10.1177/1934578X1300800333>
- Baranová, B., Grušová, D., Polito, F., Sedlák, V., Konečná, M., Blaščíková, M. M., ... & Poráčková, J. (2025). *Artemisia herba-alba* Essential Oil: Chemical Composition, Phytotoxic Activity and Environmental Safety. *Plants*, 14(2), 242. <https://doi.org/10.3390/plants14020242>
- Bellili, S., Dhifi, W., Khsif Al Garni, A. B., Flamini, G., & Mnif, W. (2016). Essential oil composition and variability of *Artemisia herba-alba* Asso. growing in Tunisia: comparison and chemometric investigation of different plant organs. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(7), 38-42. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2016.60705>

- Ben Akacha, B., Švarc-Gajić, J., Elhadeb, K., Ben Saad, R., Brini, F., Mnif, W., ... & Ben Hsouna, A. (2022). The essential oil of Tunisian halophyte *Lobularia maritima*: a natural food preservative agent of ground beef meat. *Life*, 12(10), 1571. <https://doi.org/10.3390/life12101571>
- Benyoucef, F., Dib, M. E. A., Arrar, Z., Costa, J., & Muselli, A. (2018). Synergistic antioxidant activity and chemical composition of essential oils from *Thymus fontanesii*, *Artemisia herba-alba* and *Rosmarinus officinalis*. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 5(4), 151-156. <https://doi.org/10.29252/JABR.05.04.03>
- Bessaleh, S., Jebahi, S., Abbassi, R., Belgecem, S. B., & Faraz, A. (2022). Bioactive Gelatin-based Date By-Product for Packaging Applications: Physico-Chemical and Biological Characterization. *Journal of Materials and Applications*, 11(1), 10-16. <https://doi.org/10.32732/jma.2022.11.1.10>
- Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Jawad, M., Shah, Y. A., Al-Azri, M. S., Ullah, S., ... & Aydemir, L. Y. (2023). A comparative study of the properties of gelatin (porcine and bovine)-based edible films loaded with spearmint essential oil. *Biomimetics*, 8(2), 172. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020172>
- Bouatrous, Y., & Mechaala, S. (2020). Study of the antibacterial activity of *Artemisia herba-alba* for use as a bioconservative in raw cow's milk. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie*, 27(2) : 202-208.
- Boudjedjou, L., Ramdani, M., Zeraib, A., Benmeddour, T., & Fercha, A. (2019). Chemical composition and biological activities of Algerian *Santolina africana* essential oil. *Scientific African*, 4, e00090. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00090>
- Bouhanna, I., Boussaa, A., Boumaza, A., Rigano, D., Maisto, M., Basile, A., ... & Idoui, T. (2021). Characterization and antibacterial activity of gelatin-based film incorporated with *Arbutus unedo* L. fruit extract on *Sardina pilchardus*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5), e15424. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15424>
- Bouhouia, A., Maazi, M. C., & Chefrour, A. (2020). Antibacterial activity of the *Artemisia herba-alba* Asso essential oil (Souk Ahras, Algeria) against fourteen bacterial strains. *Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie*, 2, 149-153.

- Bouzidi, N., Mederbal, K., & Raho, B. (2016). Antioxidant activity of essential oil of *Artemisia herba alba*. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 6(5), 59-65.
- Cedillo-Olivos, A. E., Juárez-Chairez, M. F., Cid-Gallegos, M. S., Sánchez-Chino, X., & Jiménez-Martínez, C. (2024). Natural preservatives used in foods: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2403000>
- Delimi, A., Taibi, F., Bouchelaghem, S., Boumendjel, M., Hennouni-Siakhène, N., & Chefrour, A. (2017). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil of *Artemisia herba alba* (Asteraceae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Biosciences*, 10(2), 130-137. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/10.2.130-8>
- Dmour, S. M., Mohammed Saghir, S. A., Abushattal, S., Qaralleh, H., Alnaimat, S. M., Al-Jaafreh, A. M., ... & Almajali, I. S. (2024). Biological activities and chemical composition of essential oil isolated from *Artemisia herba-alba*. *Electronic Journal of General Medicine*, 21(1), em569. <https://doi.org/10.29333/ejgm/14161>
- Dweh, T. J., Nayak, J., Rou, T. P., & Parween, A. (2024). Food storage and preservation. *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences*, 3(9). <https://doi.org/10.58532/V3BCAG24CH9>
- El-Seedi, H. R., Azeem, M., Khalil, N. S., Sakr, H. H., Khalifa, S. A., Awang, K., ... & Borg-Karlson, A. K. (2017). Essential oils of aromatic Egyptian plants repel nymphs of the tick *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology*, 73, 139-157. <https://doi.org/10.1007/s10493-017-0165-3>
- Felix, M., Perez-Puyana, V., Romero, A., & Guerrero, A. (2017). Production and characterization of bioplastics obtained by injection moulding of various protein systems. *Journal of Polymers and the Environment*, 25, 91-100. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0790-7>
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011>

- Gómez-Estaca, J., Giménez, B., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Incorporation of antioxidant borage extract into edible films based on sole skin gelatin or a commercial fish gelatin. *Journal of Food Engineering*, 92(1), 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.024>
- Gómez-Guillén, M. C., Ihl, M., Bifani, V., Silva, A. M. D. O. E., & Montero, P. (2007). Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (*Ugni molinae* Turcz). *Food Hydrocolloids*, 21(7), 1133-1143. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.08.006>
- Gontard, N., Guilbert, S. et Cuq, J. L. (1992). Films comestibles à base de gluten de blé: influence des principales variables du procédé sur les propriétés du film en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse. *Journal des sciences alimentaires*, 57 (1), 190-195. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>
- Hanani, Z. N., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International journal of biological macromolecules*, 71, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027>
- Houti, H., Ghanmi, M., Satrani, B., Mansouri, F. E., Cacciola, F., Sadiki, M., & Boukir, A. (2023). Moroccan endemic *Artemisia herba-alba* essential oil: GC-MS analysis and antibacterial and antifungal investigation. *Separations*, 10(1), 59. <https://doi.org/10.3390/separations10010059>
- Hudaib, M. M., & Aburjai, T. A. (2006). Composition of the essential oil from *Artemisia herba-alba* grown in Jordan. *Journal of Essential Oil Research*, 18(3), 301-304.
- Janacković, P., Novaković, J., Soković, M., Vujisić, L., Giweli, A. A., Dajić-Stevanović, Z., & Marin, P. D. (2015). Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Artemisia judaica*, *A. herba-alba* and *A. arborescens* from Libya. *Archives of biological sciences*, 67(2), 455-466. <https://doi.org/10.2298/ABS141203010J>
- Jaramillo, C. M., Gutiérrez, T. J., Goyanes, S., Bernal, C., & Famá, L. (2016). Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate polymers*, 151, 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.025>

- Kodal Coşkun, B., Çalikoğlu, E., Karagöz Emiroğlu, Z., & Candoğan, K. (2014). Antioxidant active packaging with soy edible films and oregano or thyme essential oils for oxidative stability of ground beef patties. *Journal of food quality*, 37(3), 203-212. <https://doi.org/10.1111/jfq.12089>
- Krzywicki, K. (1982). The determination of haem pigments in meat. *Meat Science*, 7(1), 29-36. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(82\)90095-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(82)90095-X)
- Lairini, S., Farah, A., Taghzouti, K., & Lalami, A. E. O. (2018). Antioxidant and antibacterial activities of *Artemisia herba-alba* asso essential oil from middle atlas, Morocco. *Phytothérapie*, 16(S1), S48-S54.
- Lakehal, S., Chaouia, C., & Benrebiha, F. Z. (2017). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Artemisia herba-alba* Asso. from Djelfa. *Revue Agrobiologia* (2017) 7(2): 491-501.
- Medjeldi, S., Essid, R., Jellouli S., Fares, N., Delimi, A., Amrani, A., & Tebben, O. (2024). Algerian *Artemisia herba-alba* (Asso): Extract and Essential Oils Investigation. *Natural Product Communications*, 19(9), 1934578X241282821. <https://doi.org/10.1177/1934578X241282821>
- Mehmood, Z., Sadiq, M. B., & Khan, M. R. (2020). Gelatin nanocomposite films incorporated with magnetic iron oxide nanoparticles for shelf life extension of grapes. *Journal of Food Safety*, 40(4), e12814. <https://doi.org/10.1111/jfs.12814>
- Mighri, H., Hajlaoui, H., Akrouit, A., Najjaa, H., & Neffati, M. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia herba-alba* essential oil cultivated in Tunisian arid zone. *Comptes Rendus Chimie*, 13(3), 380-386. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2009.09.008>
- Mohamed, A. E. H. H., El-Sayed, M., Hegazy, M. E., Helaly, S. E., Esmail, A. M., & Mohamed, N. S. (2010). Chemical constituents and biological activities of *Artemisia herba-alba*. *Records of Natural Products*, 4(1), 1-25.

- Moreno, Y., & Arteaga-Miñano, H. (2018). Natural conservation of guinea pig (*Cavia porcellus*) meat vacuum packed: Oregano essential oil effect on the physicochemical, microbiological and sensory characteristics. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 467-476.
- Moussii, I. M., Nayme, K., Timinouni, M., Jamaledine, J., Filali, H., & Hakkou, F. (2020). Synergistic antibacterial effects of Moroccan *Artemisia herba alba*, *Lavandula angustifolia* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Synergy*, 10, 100057. <https://doi.org/10.1016/j.synres.2019.100057>
- Noshirvani, N. (2024). Essential Oils as Natural Food Preservatives: Special Emphasis on Antimicrobial and Antioxidant Activities. *Journal of Food Quality*, (1), 5807281. <https://doi.org/10.1155/jfq/5807281>
- Nilsuwan, K., Benjakul, S., Prodpran, T., & de la Caba, K. (2019). Fish gelatin monolayer and bilayer films incorporated with epigallocatechin gallate: Properties and their use as pouches for storage of chicken skin oil. *Food Hydrocolloids*, 89, 783-791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.056>
- Ponce, A. G., Fritz, R., Del Valle, C., & Roura, S. I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *LWT-Food Science and Technology*, 36(7), 679-684. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00088-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00088-4)
- Rekkab, S., Abaza, I., Chibani, S., Kabouche, A., & Kabouche, Z. (2016). Chemical composition of the essential oil of aerial parts of *Artemisia herba-alba* Asso. from Oum El-Bouaghi (Algeria) and chemotaxonomic survey. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(12), 4383-4390.
- Rubilar, J. F., Cruz, R. M., Silva, H. D., Vicente, A. A., Khmelinskii, I., & Vieira, M. C. (2013). Physico-mechanical properties of chitosan films with carvacrol and grape seed extract. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 466-474. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.009>
- Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2022). Physical and mechanical characteristics of gelatin-based films as a potential food packaging material: A review. *Membranes*, 12(5), 442. <https://doi.org/10.3390/membranes12050442>

- Salido, S., Valenzuela, L. R., Altarejos, J., Nogueras, M., Sánchez, A., & Cano, E. (2004). Composition and infraspecific variability of *Artemisia herba-alba* from southern Spain. *Biochemical systematics and ecology*, 32(3), 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2003.09.002>
- Sobral, P. D. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food hydrocolloids*, 15(4-6), 423-432. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00061-3](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00061-3)
- Ștefănescu, B. E., Socaciu, C., & Vodnar, D. C. (2022). Recent progress in functional edible food packaging based on gelatin and chitosan. *Coatings*, 12(12), 1815. <https://doi.org/10.3390/coatings12121815>
- Stoleru, E., & Brebu, M. (2021). Stabilization techniques of essential oils by incorporation into biodegradable polymeric materials for food packaging. *Molecules*, 26(20), 6307. <https://doi.org/10.3390/molecules26206307>
- Sun, Y., Wu, S., Jiao, Z., Liu, D., Li, X., Shang, T., & Tian, Z. (2025). Preparation and characterization of active packaging film containing chitosan/gelatin/brassica crude extract. *Scientific Reports*, 15(1), 6729. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90638-4>
- Tilaoui, M., Mouse, H. A., Jaafari, A., Aboufatima, R., Chait, A., & Ziad, A. (2011). Chemical composition and antiproliferative activity of essential oil from aerial parts of a medicinal herb *Artemisia herba-alba*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21, 781-785. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000114>
- Țița, O., Constantinescu, M. A., Rusu, L., & Țița, M. A. (2024). Natural Polymers as Carriers for Encapsulation of Volatile Oils: Applications and Perspectives in Food Products. *Polymers*, 16(8), 1026. <https://doi.org/10.3390/polym16081026>
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2012). Properties and antioxidant activity of fish skin gelatin film incorporated with citrus essential oils. *Food chemistry*, 134(3), 1571-1579. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.094>

- Torre, L. S., Aguilar, C. N., Kannan, P., & Haghi, A. K. (Eds.). (2022). Quantitative Methods and Analytical Techniques in Food Microbiology: *Challenges and Health Implications*. CRC Press.
- Tymczewska, A., Furtado, B. U., Nowaczyk, J., Hryniewicz, K., & Szydłowska-Czerniak, A. (2021). Development and characterization of active gelatin films loaded with rapeseed meal extracts. *Materials*, 14(11), 2869. <https://doi.org/10.3390/ma14112869>
- Vernin, G., Merad, O., Vernin, G. M. F., Zamkotsian, R. M., & Parkanyi, C. (1995). GC-MS analysis of *Artemisia herba alba* Asso essential oils from Algeria. In *Developments in Food Science* (Vol. 37, pp. 147-205). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(06\)80157-3](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(06)80157-3)
- Wang, Q., Cao, J., Yu, H., Zhang, J., Yuan, Y., Shen, X., & Li, C. (2019). The effects of EGCG on the mechanical, bioactivities, cross-linking and release properties of gelatin film. *Food Chemistry*, 271, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.168>
- Wu, H., Li, T., Peng, L., Wang, J., Lei, Y., Li, S., ... & Zhang, Z. (2023). Development and characterization of antioxidant composite films based on starch and gelatin incorporating resveratrol fabricated by extrusion compression moulding. *Food Hydrocolloids*, 139, 108509. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108509>
- Yashphe, J., Segal, R., Breuer, A., & Erdreich-Naftali, G. (1979). Antibacterial activity of *Artemisia herba-alba*. *Journal of pharmaceutical sciences*, 68(7), 924-925. <https://doi.org/10.1002/jps.2600680742>
- Zeraib, A. (2018). Etude phytochimique et chimio systématique de *Juniperus thurifera* L. En Algérie (Doctoral dissertation). Ferhat Abbas University, Sétif1, Algeria. <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/1587>
- Zeraib, A., Boudjedjou, L., Suici, N., Benmeddour, T., Rahal, K., & Fercha, A. (2021). Synergistic effects of *Ruta montana* (Clus.) L. essential oil and antibiotics against some pathogenic bacteria. *Journal of Phytology*, 13, 101-7. <https://doi.org/10.25081/jp.2021.v13.7088>

- Zhang, K., Huang, T. S., Yan, H., Hu, X., & Ren, T. (2020). Novel pH-sensitive films based on starch/polyvinyl alcohol and food anthocyanins as a visual indicator of shrimp deterioration. *International journal of biological macromolecules*, 145, 768-776. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.159>.
- Zinoviadou, K. G., Koutsoumanis, K. P., & Biliaderis, C. G. (2009). Physico-chemical properties of whey protein isolate films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef. *Meat Science*, 82(3), 338-345. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.02.004>

Annexes

Annexe 1: Appareillage, produits chimiques et réactifs utilisés

Matériel et Verrerie	Produits chimiques et Réactifs	Milieux de culture utilisés
-Etuve de 40°C . -Balance électrique . -Balance de précision . -Plaque chauffante . -Bain marie. -Agitateur vortex . -Colorimètre . - Spectrophotomètre UV-visible. -pH-mètre . -Centrifugeuse . -Lyophilisateur . -four pasteur . -La Haute . -Dessiccateur. -Autoclave. -Bec benzène. -Micromètre manuel. -Papier aluminium. -Micropipettes. -Béchers. -Pipette gradué. -Boite Pétri. -Toile de mousseline. - Plateau. -Cuvettes. -Lecteur de microplaques à fluorescence.	-Gélatine. -Glycérolé. -Sorbitol. -Tween 20. -L'huile essentielles et hydrolats de artemisia herba-alba. -L'eau distillée. -Gel de silice. -Ethanol. -DMSO. -Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH).	-Gélose Nutritive -Muller Hinton

Annexe 2: Préparation de la solution de 0,5 McFarland

La solution de 0,5 McFarland est utilisée comme standard pour estimer la densité des cellules bactériennes dans une suspension liquide. Cette norme correspond à une densité optique de 0,08 à 0,1 à 625 nm et est approximativement équivalente à $1,5 \times 10^8$ CFU/ml. Voici comment préparer cette solution :

- Dissolvez 0,048 g de BaCl_2 (chlorure de baryum) dans 9,95 ml d'eau distillée ;
- Préparez une solution d'acide sulfurique à 1%. Pour ce faire, ajoutez 1 ml d'acide sulfurique concentré (environ 18 mol/l) à 99 ml d'eau distillée ;
- Ajoutez 0,5 ml de la solution de BaCl_2 préparée (0,048 g dans 9,95 ml d'eau) à 99,5 ml de solution d'acide sulfurique à 1%.
- Mesurez la densité optique de la solution standard à 625 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La densité optique devrait être entre 0,08 et 0,1.

Annexe 3: Préparation de tampon phosphate de potassium 0,04 M (pH 6,8)

Pour préparer une solution tampon phosphate de potassium 0,04 M à pH 6,8, nous avons besoin de deux sels de phosphate de potassium : le phosphate monopotassique (KH_2PO_4) (5.44g) et le phosphate dipotassique (K_2HPO_4) (1.74 g).

- Dissolvez les quantités nécessaires de deux sels dans 800 ml d'eau distillée puis ajustez le volume à 1 L.
 - Mesurez le pH de la solution avec un pH-mètre, si le pH n'est pas exactement 6,8, ajustez-le en ajoutant de petites quantités de KH_2PO_4 (pour abaisser le pH) ou de K_2HPO_4 (pour augmenter le pH).
-

Annexe 4: Préparation de l'eau peptonnée tamponnée

L'eau peptonnée tamponnée est couramment utilisée pour la culture et la préparation d'échantillons microbiologiques, en particulier pour la détection de pathogènes alimentaires.

Pour préparer 1 L il faut : 10 g de peptone, 5 g de NaCl, 3.57 g de phosphate disodique anhydre (Na_2HPO_4), 1.5 g de phosphate monopotassique anhydre (KH_2PO_4).

- Dissolvez les ingrédients dans environ 800 ml d'eau distillée. Assurez-vous que tous les composants sont complètement dissous et Ajustez le volume total à 1 litre avec de l'eau distillée.
- Filtrez la solution si nécessaire pour enlever les impuretés, et stérilisez la solution en autoclave à 121°C pendant 15 minutes.
- Conservez la solution stérilisée à température ambiante jusqu'à utilisation.

Annexe 5 : Préparation de 0.1 mM de DPPH

- Placez 3.94 mg de DPPH pesé dans un bécher ou un flacon.
- Ajoutez environ 80-90 ml de méthanol (ou éthanol) et agitez la solution jusqu'à dissolution complète du DPPH.
- Après dissolution complète, ajustez le volume de la solution à exactement 100 ml avec le même solvant (méthanol ou éthanol).

(Remarque : Le DPPH est sensible à la lumière, donc il faut minimiser l'exposition pendant la préparation et le stockage).

Annexe 6: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur l'épaisseur du film à base de gélatine

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	0,030000	0,030000	400,0000	0,000000
épaisseur	3	0,002800	0,000933	12,4444	0,002211
Erreur	8	0,000600	0,000075		
Total	11	0,003400			

Annexe 7: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur l'opacité du film à base de gélatine

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	26164,14	26164,14	501,2930	0,000000
opacité	3	7003,36	2334,45	44,7271	0,000024
Erreur	8	417,55	52,19		
Total	11	7420,91			

Annexe 8: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur la qualité de la couleur du film à base de gélatine

Vert

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	1,178133	1,178133	1333,736	0,000000
Film	3	0,136200	0,045400	51,396	0,000014
Erreur	8	0,007067	0,000883		
Total	11	0,143267			

Rouge

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	0,913008	0,913008	1460,813	0,000000
Film	3	0,175292	0,058431	93,489	0,000001
Erreur	8	0,005000	0,000625		
Total	11	0,180292			

Bleu

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	1,642800	1,642800	2816,229	0,000000
Film	3	0,189933	0,063311	108,533	0,000001
Erreur	8	0,004667	0,000583		
Total	11	0,194600			

Annexe 9: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur la perméabilité du film à base de gélatine

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	0,000000	0,000000	254,3554	0,000000
perméabilité	3	0,000000	0,000000	7,9375	0,008793
Erreur	8	0,000000	0,000000		
Total	11	0,000000			

Annexe 10: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur l'hydro-solubilité du film à base de gélatine

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	78281,69	78281,69	3876,210	0,000000
solubilité	3	3380,00	1126,67	55,788	0,000010
Erreur	8	161,56	20,20		
Total	11	3541,56			

Annexe 11: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur la teneur en humidité du film à base de gélatine

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	0,952766	0,952766	560,1081	0,000000
humidité	3	0,191629	0,063876	37,5514	0,000046
Erreur	8	0,013608	0,001701		
Total	11	0,205238			

Annexe 12: Résultats de l'ANOVA, effet de l'ajout des HEs d'A. *herba-alba* sur le pouvoir antioxydant du film à base de gélatine

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	0,946689	0,946689	2295,899	0,000000
AAox	3	0,292898	0,097633	236,778	0,000000
Erreur	8	0,003299	0,000412		
Total	11	0,296197			

Annexe 13: Résultats de l'anova, effet de la durée de conservation sur les valeurs de pH

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
Intercept	1	610,4384	610,4384	18898,05	0,000000
Durée de conservation (FT)	4	7,5415	1,8854	58,37	0,000001
Erreur	10	0,3230	0,0323		
Total	14	7,8645			
Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
Intercept	1	533,5633	533,5633	48308,42	0,000000
Durée de conservation (FHE1)	4	3,5762	0,8941	80,95	0,000000
Erreur	10	0,1104	0,0110		
Total	14	3,6867			
Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
Intercept	1	464,7276	464,7276	12340,37	0,000000
Durée de conservation (FHE2)	4	8,6054	2,1513	57,13	0,000001
Erreur	10	0,3766	0,0377		
Total	14	8,9820			
Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
Intercept	1	558,2110	558,2110	17330,22	0,000000
Durée de conservation (FHE3)	4	3,9848	0,9962	30,93	0,000013
Erreur	10	0,3221	0,0322		
Total	14	4,3069			

Annexe 14 : Résultats de l'anova, effet de l'ajout de l'huile sur les valeurs de pH

Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	302,1037	302,1037	4735,254	0,000000
Type de film (3j)	3	2,7310	0,9103	14,269	0,001414
Erreur	8	0,5104	0,0638		
Total	11	3,2414			
Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	461,5776	461,5776	9038,284	0,000000
Type de film (6j)	3	3,1100	1,0367	20,299	0,000426
Erreur	8	0,4086	0,0511		
Total	11	3,5186			
Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	502,2920	502,2920	34278,73	0,000000
Type de film (9j)	3	0,9445	0,3148	21,49	0,000349
Erreur	8	0,1172	0,0147		
Total	11	1,0617			
Effet	DDL	SCE	MCE	F	P
intercept	1	531,4417	531,4417	138486,4	0,000000
Type de film (12j)	3	0,8877	0,2959	77,1	0,000003
Erreur	8	0,0307	0,0038		
Total	11	0,9184			

عنوان المذكرة : التوصيف الفيزيائي-الكيميائي والوظيفي لغشاء مركب من الجيلاتين و مدعم بالزيت العطري لنبته

Artemisia herba-alba Asso., 1779

الإسم و اللقب : ميلي شهناز ، مرير فتيحة

المؤطر : ازرايب عز الدين

ملخص :

يهدف هذا العمل إلى توصيف الأغشية القائمة على الجيلاتين والمدعمة بالماء العطري والزيت العطري لنبته *Artemisia herba-alba* من خلال تقييم نشاطها المضاد للبكتيريا ومضاد الأكسدة، بالإضافة إلى خصائصها الفيزيائية والكيميائية. أظهرت النتائج أن الأغشية الناتجة متجانسة للغاية وتتميز بمظهر شفاف. وقد أثر إدماج الزيت العطري لـ *A. herba-alba* على الخصائص المدروسة من خلال زيادة العتامة والذوبانية، مع تقليل السماكة، والنفاذية، ومحتوى الرطوبة. علاوة على ذلك، أظهرت الأغشية المدعمة بالزيت العطري قدرة جيدة على مقاومة الأكسدة، في حين لم يلاحظ أي نشاط مضاد للبكتيريا. وقد أثبت استخدام هذه الأغشية المحتوية على الماء العطري والزيت العطري لنبته *A. herba-alba* في حفظ لحم البقر المفروم فعاليتها في إبطاء ارتفاع درجة الحموضة (pH) وحماية اللحم من التلوثات الخارجية. تشير النتائج المحصلة إلى أن الأغشية القائمة على الجيلاتين والمدعمة بزيت *A. herba-alba* العطري يمكن أن تمثل مواد تغليف نشطة وقابلة للتحلل البيولوجي واعدة في الحفاظ على جودة اللحم المفروم.

الكلمات المفتاحية : . زيت أساسي ، الجيلاتين ، الحفظ ، *A. herba-alba* ، مضادات الأكسدة ، مضاد للجراثيم

Title of the dissertation : Physicochemical and Functional Characterization of a Gelatin-Based Film Incorporated with Essential Oil of *Artemisia herba-alba* Asso., 1779

Full name : MILI Chahinez et MARIR Fatiha

Directed by : ZERAIB Azzeddine

Abstract: The aim of the present study is to characterize gelatin-based films enriched with hydrosol and essential oil of *Artemisia herba-alba* by evaluating their antibacterial and antioxidant activities, as well as their physicochemical properties. The results showed that the resulting films were highly homogeneous and exhibited a transparent appearance. The incorporation of *A. herba-alba* essential oil affected the analyzed parameters by increasing opacity and solubility, while reducing thickness, permeability, and moisture content. Moreover, the essential oil-enriched films demonstrated good antioxidant capacity, whereas no antibacterial activity was observed. The application of films incorporating *A. herba-alba* hydrosol and essential oil in the preservation of ground beef proved effective in slowing the rise in pH and protecting the meat from external contamination. The findings suggest that gelatin-based films enriched with *A. herba-alba* essential oil could serve as promising active and biodegradable packaging materials for preserving the quality of ground meat.

Key words: Essential oil, Gelatin, Preservation, *A. herba-alba*, Antioxidants, Antibacterial.

Titre du mémoire: Caractérisation physico-chimique et fonctionnelle d'un film à base de gélatine incorporé d'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* Asso., 1779.

Nom et prénom: MILI Chahinez et MARIR Fatiha

Encadreur : ZERAIB Azzeddine

Résumé : Le présent travail a pour objectif de caractériser des films à base de gélatine enrichis en hydrolat et de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* en évaluant leur activité antibactérienne et antioxydante, ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Les résultats ont montré que les films obtenus sont très homogènes et présentent une couleur transparente. L'incorporation de l'huile essentielle d'*A. harba alba* influence les paramètres analysés, en augmentant l'opacité et la solubilité, tout en réduisant l'épaisseur, la perméabilité, et l'humidité des films. Par ailleurs, les films enrichis en huile essentielle ont présenté une bonne capacité antioxydante, tandis qu'aucune activité antibactérienne n'a été observée. L'application des films incorporants de l'hydrolat et des huiles essentielles d'*A. herba alba* dans la conservation de la viande hachée bovine a démontré l'efficacité de ces extraits à ralentir l'augmentation du pH et à protéger la viande contre les contaminations extérieures. Les résultats obtenus suggèrent que les films à base de gélatine enrichis en huile essentielle d'*A. herba-alba* peuvent constituer des matériaux d'emballage actif et biodégradable prometteurs pour la préservation de la qualité de la viande hachée.

Mots clés : huile essentielle, gélatine, conservation, *A. herba-alba*, antioxydant, antibactérien