

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

Université ABOU BEKR BELKAID – TLEMEN

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département Biologie



MÉMOIRE

Présenté par

**CHERFI Abir & CHELDA Ahlam**

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER en Biologie

**Option : Microbiologie fondamentale**

**Thème**

**Les propriétés conservatrices des huiles essentielles sur les matrices  
alimentaires**

**Soutenu le 28 juin 2022, devant le jury composé de :**

<b>Président</b>	<b>Mme. Bouali Waffa</b>	<b>MCA</b>	<b>U. de tlemcen</b>
<b>Examineur</b>	<b>Mr. Senouci Bereksi Mohamed</b>	<b>MCB</b>	<b>U. de tlemcen</b>
<b>Encadrant</b>	<b>Mr. Khadir Abdelmounaim</b>	<b>MCA</b>	<b>U. d'oran</b>

**Année universitaire 2021/2022**

## Remerciements

*Avant tout, nous remercions « Allah » le Tout Puissant de nous avoir donné la force et la patience de réaliser ce travail.*

*Tous d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Khadir Abdlmounaim**, on le remercie pour la qualité de son encadrement professionnel, pour sa patience, sa rigueur, leurs précieux conseils et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à **Madame Bouali Waffa**, Maître de conférences Classe "A" à l'université Abou bekr Belkaid de Tlemcen, pour l'honneur qu'elle nous a fait pour assurer la présidence du jury.*

*Nos reconnaissances vont également à **Mr Senouci Bereksi Mohamed** Maître de conférences Classe "B" qui nous a fait l'honneur de bien vouloir examiner ce travail.*

*Toutes nos considérations à nos dignes et respectables enseignants du département de biologie qui méritent autant d'égard et de reconnaissance pour nous avoir donné le meilleur d'eux-mêmes et contribuer à notre formation durant ces cinq années.*

*Enfin, nous tenons à remercier nos précieux collègues et amis et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## DÉDICACE

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce travail*

*À ma très chère mère **Fadela** quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*À mon très cher père **Tayeb** tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

*À mes très chers frères **Mohamed ,Rachid et Belhadj** qui n'ont pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leur offre la chance et le bonheur.*

*À mes chères amies proches, je suis contente que nous ayons passé tant de souvenirs ensemble.*

*À toute ma famille paternelle et maternelle.*

*Sans oublier mon binôme **Abir** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail.*

**Ahlam**

## DÉDICACE

*Je dédie ce travail*

*À ma chère mère **Leila**, la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, que dieu la procure bonne santé et longue vie.*

*À mon cher père **Miloud**, mon bras droit, mon exemple éternel, mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que ce travail traduit ma gratitude et mon affection. Que Dieu le protège.*

*À mon cher frère **Hamza** qui m'a toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*À mes adorables cousines **Nesrine et Meriem***

*Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.*

*À mes chères amies proches*

*À toute ma famille paternelle et maternelle.*

*À mon très chère binôme **Ahlam***

*Je te souhaite beaucoup de succès, tout au long de ton parcours*

***Abir***

# Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction..... 1

## Partie bibliographique

### *Chapitre 1 : la conservation des aliments*

1	Généralité .....	5
2	Historique .....	5
3	Les microorganismes d'altération des denrées alimentaire durant la conservation. 7	
3.1	Bacilles Gram négatifs .....	8
3.2	Bacilles Gram positifs .....	8
3.3	Levures et moisissures.....	8
4	Les méthodes de conservations des denrées alimentaires.....	9
4.1	Conservation par la chaleur.....	9
4.2	Conservation par le froid.....	10
4.3	Conservation par abaissement de l'activité de l'eau (aw).....	11
4.4	Conservation par réduction de pH.....	11
4.4.1	Acidification .....	12
4.4.2	La fermentation.....	12
5	Les conservateurs alimentaires .....	12
5.1	Les conservateurs alimentaires d'origines chimiques.....	12
5.2	Les conservateurs alimentaires d'origines naturelle .....	13
6	Les conservateurs alimentaires issues de plantes aromatiques et médicinales .....	15

### *Chapitre 2 : les huiles essentielles*

1	Généralité sur les huiles essentielles .....	17
1.1	Historique .....	17
1.2	Définition.....	17
2	Localisation dans la plante.....	18
3	Production mondiale des huiles essentielles .....	19
4	La composition chimique des huiles essentiels.....	20

4.1	Composés terpéniques .....	21
4.2	Groupe des phénylpropanoïdes .....	22
5	Les domaines d'utilisations des huiles essentielles.....	23
5.1	Utilisation pharmacologique .....	23
5.2	Utilisation dans l'industrie alimentaire .....	23
5.3	Dans les industries agro-alimentaires.....	23
6	Facteurs de variabilité des huiles essentielles .....	24
6.1	Facteurs intrinsèques .....	24
6.2	Facteurs extrinsèques .....	24
7	Toxicité des huiles essentielles .....	24
8	Les précautions d'emploi .....	25
9	Méthodes d'extraction des huiles essentielles .....	25
9.1	Méthodes d'extraction Conventionnelles.....	25
9.1.1	La distillation.....	25
9.1.2	Expression à froid.....	26
9.1.3	Extraction par solvant.....	26
9.2	De Nouvelles Méthodes d'extraction.....	27
9.2.1	Extraction par ultrasons.....	27
9.2.2	Extraction par micro-ondes .....	28
10	L'huile essentielle comme répulsif pour la conservation des aliments.....	29
11	Propriétés conservatrices les huiles essentielles .....	30
11.1	Activité antimicrobienne .....	30
11.2	Activité antioxydante .....	32
11.3	Activité antifongique.....	32
12	Mode d'action des huiles essentielles .....	33
13	Les huiles essentielles en tant que constituants d'emballages antimicrobiens...	34
14	Les produits de conservations commerciales à base d'huiles essentielles .....	34

### **Partie expérimentale**

1	Matériels et méthodes : .....	40
1.1	Matériel .....	40
1.2	Extraction Huile essentielle de noyau d'abricot (HENA) : .....	40
1.3	Analyse CPG-SM de l'huile : .....	41
1.4	Fabrication de films.....	41

1.5	Caractérisation du film : .....	43
1.5.1	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) .....	43
1.5.2	Microscopie électronique à balayage (MEB) .....	43
1.5.3	Teneur en humidité .....	43
1.5.4	Solubilité du film .....	43
1.5.5	Opacité du film .....	43
1.5.6	Absorption de l'eau .....	44
1.5.7	Propriétés barrière à la vapeur d'eau.....	44
1.6	Activité antioxydante .....	44
1.6.1	Essai de piégeage de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	44
1.6.2	Essai de piégeage des radicaux libres DPPH .....	45
1.7	Activité anti-microbienne.....	45
1.8	Activité antifongique via une application d'emballage pratique .....	45
2	Résultats et discussions .....	48
2.1	Composition chimique de l'huile.....	48
2.2	Caractérisation du film .....	49
2.2.1	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) .....	49
2.3	Activité antioxydante .....	53
2.4	Activité antimicrobienne .....	55
2.5	Activité antifongique via une application d'emballage pratique .....	57

## **Conclusion générale**

## **Références**

## **Annexes**

## **Résumé**

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Poches schizogènes d'une feuille d'eucalyptus citronnée vues en microscopie électronique à balayage (image colorisée, x204).....	19
<b>Figure 2:</b> Cellule sécrétrice d'huile essentielle dans un rhizome de gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> Roscoe) au microscope électronique à balayage (image colorisée, x813)..	19
<b>Figure 3:</b> Différents groupes de terpènes et leurs structures chimiques .....	21
<b>Figure 4:</b> Différents groupes de polyphénols et leurs structures chimiques .....	22
<b>Figure 5:</b> Extraction par expression à froid.....	26
<b>Figure 6:</b> Les différents types d'extraction par solvants .....	27
<b>Figure 7:</b> Equipements ultrasoniques industriels : 50, 500 and 1000 l.....	28
<b>Figure 8:</b> Extraction par micro-onde .....	29
<b>Figure 9:</b> Facteurs pertinents pouvant influencer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles dans les systèmes alimentaires .....	31
<b>Figure 10:</b> Sites d'action des Huiles essentielles sur la cellule bactérienne .....	33
<b>Figure 11:</b> Procédure d'extraction d'HENA à partir de noyaux d'abricot .....	41
<b>Figure 12:</b> Spectres FTIR de films de chitosane purs et HENA incorporés .....	50
<b>Figure 13:</b> Images FE-SEM montrant les morphologies de surface de (a) CS/A0, (b) CS/A0.125, (c) CS/A0.25, (d) CS/A0.5, (e) films CS/A1, images en coupe transversale de (f) CS/A0, (g) CS/A1 et (h) distribution de taille des gouttelettes d'huile dans la matrice polymère .....	51
<b>Figure 14:</b> Activité antioxydante des films de chitosane pur et modifié. Des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes ( $p < 0,05$ ) ..	55
<b>Figure 15:</b> Nombre total de colonies bactériennes de <i>B. subtilis</i> (1) et <i>E. coli</i> (2), pour le contrôle (a), CS/A0 (b), CS/A0.125 (c), CS/A0.25 (d), CS/A0.5 (e) et CS/A1 (f)..	56
<b>Figure 16:</b> Graphique à barres montrant la croissance bactérienne en UFC/ml pour <i>B. subtilis</i> et <i>E. coli</i> exposés à différentes concentrations de film. Des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes ( $p < 0,05$ ).....	57

<b>Figure 17:</b> Photographie montrant l'emballage de tranches de pain dans des sachets fabriqués à partir de films de chitosane pur et modifié.....	58
<b>Figure 18:</b> Amélioration de la durée de conservation du pain et inhibition de la croissance fongique par des films de chitosane modifiés. La croissance fongique dans les pains emballés dans des films PE et CS/A0 est indiquée par des flèches .....	59

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Les différentes techniques de pasteurisation .....	10
<b>Tableau 2:</b> Les différentes techniques de stérilisation.....	10
<b>Tableau 3:</b> Résumé de certains conservateurs alimentaires chimiques GRAS .....	13
<b>Tableau 4:</b> Récapitulation des principales huiles essentielles produites et des principaux pays producteurs dans le monde en 2008 .....	20
<b>Tableau 5:</b> Résumé des recherches qui ont évalué l'activité antimicrobienne des huiles essentielles dans certains aliments .....	35
<b>Tableau 6:</b> Dénomination des différents types de films sur la base des rapports HENA avec leur épaisseur et leur densité de surface. ....	42
<b>Tableau 7:</b> Liste des principaux composés présents dans HENA .....	48
<b>Tableau 8:</b> Propriétés physicochimiques des films.....	52
<b>Tableau 9:</b> Barrière à la vapeur d'eau de film de chitosane pur et modifié .....	53

# Liste des abréviations

**Avant J.C** : avant jésus-christ

**Stérilisation UHT** : stérilisation ultra haut température

**XIXe siècle** : 19<sup>ème</sup> siècle

**AW** : l'activité de l'eau

**GRAS** : Generally Recognized As Safe

**PMA** : plante médicinale et aromatique

**HE ; HEs** : les huiles essentielles

**RESALA** : laboratoire de recherche en sciences appliquées à l'alimentation

**INRS** : institut national de la recherche scientifique

**IAF** : institut Armand Frappier

**HENA** : Huile Essentielle de Noyau d'Abricot

**CPG** : Chromatographie en Phase Gazeuse

**SM** : la spectrométrie de masse

**GC-MS** : Gas Chromatography – Mass Spectroscopy

**ASTM** : Standard Test Method for oil separation from lubricating grease

**IRTF** : spectroscopie infrarouge à transformée de fourier

**MEB** : Microscopie électronique à balayage

**UFC** : Unité Formant Colonie

**LDPE** : polyéthylène basse densité

**NMP** : N-méthyl-2-pyrrolidone

**WVTR** : water vapor transmission rate / **WVP** : Water vapor permeability

# *Introduction*

# Introduction

De nombreux produits alimentaires sont naturellement périssables et nécessitent une protection contre la détérioration biochimique et microbienne qui se produit lors de la préparation, du stockage et de la distribution du produit.

L'altération d'un produit alimentaire est caractérisée par des dommages physiques, des changements chimiques (oxydation, changements de couleur) ou l'apparition de goûts désagréables et de mauvaises odeurs causées surtout par la croissance microbienne [*Gram et al., 2002*].

Pour lutter contre ces facteurs d'altérations, plusieurs techniques de conservation sont utilisées telles que la chaleur (pasteurisation, stérilisation), le froid (réfrigération, congélation), le conditionnement sous atmosphère modifiée, la séparation et l'élimination de l'eau, les additifs (ajout d'un agent conservateur).

Le conservateur alimentaire est une sorte d'additif alimentaire, qui peut tuer les micro-organismes ou inhiber leur prolifération et réduire la détérioration des aliments au cours du processus de production, de transport et de vente. Les conservateurs utilisés dans les entreprises alimentaires sont principalement divisés en deux catégories : les conservateurs chimiques et les conservateurs naturels. Actuellement, l'utilisation de conservateurs chimiques est beaucoup plus répandue. Cependant, la cancérogénicité, la tératogénicité et l'intoxication alimentaire causées par ces conservateurs ont incité les gens à continuer à rechercher des conservateurs alimentaires naturel à large spectre d'activités antioxydantes et antimicrobiennes, hautement efficace et peu toxique, en particulier ceux extraits de plantes médicinales [*Ju et al., 2017*].

Les huiles essentielles sont des liquides aromatiques et volatils extraits de matières végétales, telles que les fleurs, les racines, l'écorce, les feuilles, les graines, les fruits, le bois et la plante entière. Les huiles essentielles comme conservateurs naturels ont fait l'objet de recherches et de développements ces dernières années en raison de leur fort pouvoir antibactérien, elles sont également la principale direction de développement des conservateurs à l'avenir [*Ju et al., 2019*].

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés à étudier la possibilité de conserver des produits alimentaire grâce à l'utilisation des huiles essentielles extraites de plante aromatique et médicinale.

Cette présente étude comporte une introduction, conclusion générale et deux parties

La première partie est une synthèse bibliographique sur la conservation des aliments, les huiles essentielles et leur propriété conservatrice.

La deuxième partie le traitement d'un article qui parle sur l'effet l'incorporation des huiles essentielles extraites de noyaux d'abricot (*Prunus armeniaca*) dans des films de chitosane comme matériau d'emballage alimentaire actif.

## *Partie bibliographique*

# *Chapitre 1 : la conservation des aliments*

## **1 Généralité**

La conservation des aliments est une action ou une méthode permettant de maintenir les aliments à un niveau souhaité de propriétés ou de nature pour en tirer le maximum de bénéfices [*Rahman, 2007*] ; [*Haouli Bouziani Hocine*].

La consommation d'aliments frais est toujours préférable car la conservation diminue la valeur nutritive des produits. Autrement dit, les aliments conservés sont moins bons pour la santé que les aliments frais [*Maas-van Berkel et al., 2005*].

Les principales raisons de la conservation des aliments sont de surmonter une mauvaise planification de la production agricole ; de produire des produits à valeur ajoutée et de meilleure qualité en termes de propriétés nutritionnelles, fonctionnelles, pratiques et sensorielles améliorées ; et de fournir une variation du régime alimentaire [*RAHMAN, 1999*] ; [*Merrad, 2020*].

Les objectifs de la conservation des aliments sont :

- Préserver la qualité.
- Éliminer les agents pathogènes.
- Eviter d'éventuelles intoxications alimentaires.
- Éliminer ou réduire les microorganismes responsables de la détérioration.
- préserver leur comestibilité et leurs propriétés gustatives et nutritives [*Merrad, 2020*].

## **2 Historique**

L'homme, depuis des siècles, a recherché tous les moyens pour conserver les denrées alimentaires afin d'assurer sa survie en période de disette (fin de l'hiver, moindre productivité ...).

Depuis des millénaires, les fermentations sont utilisées pour conserver les aliments tout en améliorant leurs propriétés organoleptiques (odeur, goût), pour la préparation du pain, de boissons alcoolisées (vin et bière), de vinaigre et de fromages. Les Sumériens

maîtrisaient déjà la fermentation du pain et de la bière 8 000 ans avant J.C. La fabrication du vin remonte à plus de 10 000 ans et on peut imaginer que celle du vinaigre est aussi ancienne puisqu'il s'agit d'une « maladie du vin ». Les Babyloniens (5 000 ans avant J.C.) le fabriquaient à partir du vin de palme. Les origines du fromage remontent au Néolithique (10 000 ans avant J.C.), quand les hommes commencent à domestiquer les chèvres et les brebis pour faire de l'élevage et consommer le lait produit par les animaux [**Bourdeau, 1894**].

Depuis longtemps, la salaison permettait de garder les viandes et les poissons lorsqu'elle s'accompagnait de séchage ou de fumage. Les Romains conservaient dans la saumure, les olives, radis et autres légumes

On connaît aussi depuis longtemps les vertus de conservation du froid: ainsi, les Romains enveloppaient-ils de neige et de glace (rapportées par des milliers d'esclaves des sommets des montagnes) les poissons du Rhin pour les transporter à Rome [**Laurent, 1986**].

Vers 1790, Nicolas Appert invente un procédé de conservation des aliments, par la chaleur et dans des récipients hermétiquement clos : l'appertisation. C'est, d'ailleurs, dans le cadre d'un concours organisé par Napoléon 1er visant à récompenser le meilleur procédé de conservation de la nourriture destinée aux armées que le procédé sera vraiment mis au point après de multiples essais. En 1810, le secret du procédé est dévoilé dans une publication intitulée « le livre de tous les ménages ». Dès lors, la fabrication familiale des conserves se développe et dès 1814, la Grande-Bretagne exploite industriellement le procédé. Cette technique sera par la suite perfectionnée (utilisation de récipients en fer-blanc) et diversifiée avec notamment la pasteurisation et la stérilisation UHT [**Appert, 1810**].

C'est vers le milieu du XIXe siècle que les premières machines industrielles à réfrigérer sont mises au point: à Londres en 1834 par Jacob Perkins et en France en 1859 par Ferdinand Carré [**Laurent, 1986**].

Appliquant ces inventions au transport des denrées périssables, Charles Tellier affrète les premiers navires frigorifiques qui effectuent, à partir de 1875, la liaison

Argentine-France chargés de viande congelée. Il annonce ainsi le formidable essor des transports frigorifiques de viandes et de produits végétaux d'Amérique du Sud et d'Océanie, qui révolutionnera après 1880 l'approvisionnement du Vieux Continent. En 1913 est fabriqué à Chicago le premier réfrigérateur domestique à électricité ; l'usage s'en répand dans les ménages américains, puis européens. Dans les années 1960, le congélateur vient compléter la gamme du froid domestique [*Barrau and Peeters, 1972*].

C'est en 1905 que les premiers brevets américains et anglais font leur apparition avec l'utilisation de la radiation ionisante pour tuer des bactéries dans l'alimentation. Aujourd'hui, les autorités de santé et de sécurité de plus de quarante pays dans le monde ont approuvé l'irradiation de plus de soixante aliments différents, allant des épices aux grains en passant par le poulet désossé, le bœuf, les fruits et les légumes [*van Kooij*].

### **3 Les microorganismes d'altération des denrées alimentaire durant la conservation**

L'altération des aliments peut avoir deux origines : microbiologique et/ou biochimique. L'altération microbiologique concerne le goût ou l'apparence du produit (texture, couleur, apparence visqueuse, présence de gaz), alors que celle d'origine biochimique a un impact sur le goût et la texture [*in't Veld, 1996*] ; [*Rosset et al., 2002*] ; [*Remenant et al., 2015*].

L'altération microbiologique est plus rapide et plus manifeste dans les aliments à base de protéines tels que les viandes, les volailles, les poissons, les fruits de mer et les produits laitiers. Ces denrées sont riches en nutriments et présentent un pH neutre ou faiblement acide et un taux d'humidité élevé permettant le développement d'une large gamme de microorganismes. La réfrigération n'empêche pas mais freine seulement le développement des microorganismes d'altération psychrotrophes [*Benner Jr, 2014*].

Les germes d'altération se subdivisent comme suit , selon qu'ils appartiennent aux groupes des bacilles Gram négatifs ou positifs (c'est à dire selon les résultats obtenus après réalisation d'une réaction de coloration mise au point par Gram), des levures ou des moisissures [*Rosset et al., 2002*].

### **3.1 Bacilles Gram négatifs**

*Pseudomonas* est un microorganisme se développant tout particulièrement dans les aliments, à activité de l'eau ( $A_w$ ) élevée, conservés sous aérobiose, comme les viandes rouges, les poissons, les volailles et les produits laitiers. [Rawat, 2015] D'autres bacilles Gram - peuvent également se développer rapidement aux températures de réfrigération : *Aeromonas*, *Photobacterium*, *Vibrio*... Ces bactéries peuvent contribuer à l'altération des viandes rouges, des viandes salées ou fumées, des volailles, des poissons, des fruits de mer, du lait et des produits laitiers. Les bactéries du genre *Vibrio* sont pour la plupart halophiles et se développent dans les fruits de mer et les viandes salées ou séchées.

À des températures supérieures à  $+5/+10^{\circ}\text{C}$ , les *Enterobacteriaceae* (*Enterobacter*, *Erwinia*, *Proteus*...) peuvent se développer de manière prédominante [Rosset et al., 2002] ; [Rawat, 2015] ; [Petruzzi et al., 2017].

### **3.2 Bacilles Gram positifs**

Beaucoup d'aliments sont soumis à un chauffage ou à une pasteurisation. Les microorganismes sporulés, tels que *Bacillus* et *Clostridium*, peuvent survivre à ces traitements thermiques. Leur croissance est plus lente que celle des bactéries Gram -.

Les germes du genre *Bacillus* se développent généralement en aérobiose, et, pour certains, à des températures de  $0/+2^{\circ}\text{C}$ . Ceux du genre *Clostridium* sont, en majorité, anaérobies et se multiplient à partir de  $15^{\circ}\text{C}$  [Rosset et al., 2002] ; [Petruzzi et al., 2017].

### **3.3 Levures et moisissures**

Les levures et les moisissures sont largement présentes dans les denrées alimentaires. Ceci s'explique par le fait qu'elles peuvent y utiliser une large variété de substrats tels que les pectines et d'autres hydrates de carbone, les acides organiques, les protéines et les lipides. De plus, elles tolèrent des valeurs basses de pH, d' $A_w$ , de température, ainsi que la présence de conservateurs. Elles peuvent même utiliser des ingrédients comme des acides lactiques, citriques et acétiques qui ont un effet inhibiteur sur la croissance de nombreux microorganismes.

Les altérations résultant de leur croissance sont de nature sensorielle : couche visqueuse, développement de zones colorées à la surface des denrées, production d'acides, de gaz, d'alcool, développement d'odeurs ou de goûts anormaux [*in't Veld, 1996*] ; [*Rosset et al., 2002*].

#### **4 Les méthodes de conservations des denrées alimentaires**

##### **4.1 Conservation par la chaleur**

La chaleur est la méthode la plus couramment utilisée pour la conservation des aliments. Il existe différents degrés de conservation par la chaleur qui dictent en fin de compte le type de produit final fabriqué, les termes utilisés étant pasteurisation et stérilisation.

Cependant, pour être efficaces, ces procédés doivent être réalisés sous une combinaison de contrôle strict de la température et du temps afin de garantir la destruction des micro-organismes pathogènes et non pathogènes. Ces mêmes facteurs provoquent également l'inactivation thermique des enzymes alimentaires et une certaine destruction des constituants alimentaires [*Prokopov and Tanchev, 2007*].

Pasteurisation : Cette technique consiste à chauffer le produit à des températures un peu inférieures à 100°C (en général 70 à 80°C selon les bactéries) et la durée de quelques secondes à quelques minutes [*Boudeka et al., 2021*].

Tous les microorganismes n'étant pas éliminés par la pasteurisation, ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement.

**Tableau 1:** Les différentes techniques de pasteurisation [MESSAOUDI et al., 2021].

Nom de la technique de Pasteurisation	Traitement		Exemples
	Température appliquée	Durée de traitement	
La pasteurisation basse	63-65 °C	Quelques minutes	Ovoproduits, bière, soda
La pasteurisation haute	70-75 °C		Lait, jus de fruits, semi-Conserves, potage
Le flash pasteurisation	+95 °C	Quelques secondes	Lait, jus de fruits

**Stérilisation :** Contrairement à la Pasteurisation, la stérilisation est une technique visant à éliminer toute forme microbienne vivante, y compris les spores, grâce à des températures supérieures à 100°C (120°C en moyenne) [Boudeka et al., 2021].

**Tableau 2:** Les différentes techniques de stérilisation [MESSAOUDI et al., 2021]

Nom de la technique de stérilisation	Traitement		Exemples
	Température appliquée	Durée de traitement	
La stérilisation classique	110 à 115 °C	Quelques minutes	Lait, viandes, légumes, poisson
La stérilisation par ultra Haute température (UHT)	140 à 150 °C par injection de vapeur	Quelques secondes	Lait, crèmes fraiche liquide, potage, jus de fruit

## 4.2 Conservation par le froid

Le froid arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des denrées alimentaires en limitant leur altération. Néanmoins, les micro-organismes

éventuellement présents ne sont pas détruits et peuvent reprendre leur activité dès le retour à une température favorable.

La réfrigération et la congélation des produits ont été largement appliqués pour la conservation des légumes à feuille, des épices et de produits laitiers pour maintenir les attributs sensoriels et qualités nutritionnelles [*Sridhar et al., 2021*].

### **4.3 Conservation par abaissement de l'activité de l'eau (aw)**

L'activité de l'eau peut être réduite en éliminant partiellement l'eau (séchage, osmose inverse, concentration) ou en ajoutant des substances qui augmentent la pression osmotique de l'aliment ou des milieux tels que les sucres, l'éthanol, le glycérol, les sels, etc.

la majorité des micro-organismes sont sensibles à l'état de l'eau dans leur environnement immédiat et ils ne peuvent rester métaboliquement actifs que dans une gamme étroite d'activités hydriques élevées [*Prokopov and Tanchev, 2007*].

### **4.4 Conservation par réduction de pH**

En général, fruits, doux les boissons, le vinaigre et le vin ont des valeurs de pH basses auxquelles la plupart des bactéries ne se développeront pas, et ces produits ont de bonnes qualités de conservation. La plupart des viandes, des fruits de mer et du lait cru ont des valeurs de pH supérieures à 5.6, qui les rendent sensibles à la détérioration bactérienne.

Les légumes ont également des valeurs de pH assez élevées et sont plus sujets à la détérioration bactérienne.

Habituellement, le taux de croissance diminue lorsque le pH descend en dessous de la valeur optimale. En approchant du pH limite inférieur pour la croissance, les microorganismes sont d'abord inhibés et finalement tués. Le degré d'inhibition augmente à mesure que le pH diminue et cette relation est linéaire [*Rahman, 2007*].

La réduction du pH des produits alimentaires peut être réalisée par deux méthodes [*Murielle, 2009*] :

#### **4.4.1 Acidification**

Consiste à l'ajout d'un acide organique (comme l'acide acétique) ou un ingrédient acide (comme le citron) à un aliment qui est initialement peu acide.

#### **4.4.2 La fermentation**

Dans la transformation des aliments, la fermentation peut être considérée comme un processus par lequel, à l'aide de micro-organismes comme les levures ou les bactéries, dans des conditions anaérobies, les glucides sont transformés en alcool ou en acides organiques. Le sucre naturel présent dans les aliments crus ainsi que le sucre ajouté sont convertis en acide pendant cette période. Par l'action des bactéries lactiques, la saveur, la texture et toutes les autres caractéristiques sont formées [*Joardder and Masud, 2019*]

### **5 Les conservateurs alimentaires**

Les produits microbiostatiques ou microbicides susceptibles d'être ajoutés aux aliments sont qualifiés de conservateurs alimentaires. Un bon conservateur alimentaire doit être bactéricide plutôt que bactériostatique ; il doit agir sur les levures et les champignons, il doit être actif sur les germes pathogènes et sur ceux responsables d'altération, il doit être stable et inoffensif et sans action sur la valeur nutritionnelle [*BOUZIDI, 2016*].

On distingue deux types de conservateurs avec des rôles et des actions bien spécifiques :

- Des conservateurs alimentaires d'origines chimiques
- Des conservateurs alimentaires d'origines naturelle

#### **5.1 Les conservateurs alimentaires d'origines chimiques**

Parmi les additifs alimentaires, on distingue les conservateurs chimiques qui sont utilisés dans le but de prolonger la durée de conservation des aliments.

Les conservateurs chimiques généralement reconnus comme sûrs (GRAS) sont résumés dans le tableau N° (3)

**Tableau 3:** Résumé de certains conservateurs alimentaires chimiques GRAS [*Silva and Lidon, 2016*]

Conservateur	Organismes affectés	Aliment concerné
acide propionique propionates	Moisissures	Pain, gâteaux, certains fromages
Acide sorbique et sorbates	Levures et moisissures	Fromages à pâte dure, figes, Sirops, Vinaigrettes, gelées
Acide benzoïque et benzoat	Moisissures	Légumes au vinaigre, confitures et gelées à faible teneur en glucides, fruits confits, semi-conserves de produits de la pêche, sauces
Dioxyde de soufre et sulfite	levures, champignons et bactéries	fruits secs, vin Vinification, jus de citron (ne à utiliser dans les viandes ou autres aliments reconnus comme sources de thiamine)
Nitrite de sodium	<i>Clostridium</i>	Préparations de salaison
Parabènes	Levures et moisissures	Produits de boulangerie, boissons Cornichons, sauces Vinaigrettes

## **5.2 Les conservateurs alimentaires d'origines naturelle**

Bien que les conservateurs chimiques empêchent la croissance microbienne, leur sécurité est remise en question par un segment croissant de consommateurs. De plus, la demande des consommateurs pour des produits alimentaires naturels, frais, sans additifs chimiques est en perpétuelle croissance.

Récemment, on s'intéresse au développement de conservateurs naturels à partir des plantes, d'animaux ou des micro-organismes qui allongent la durée de vie utile des produits aliment [Batiha et al., 2021].

Les conservateurs naturels d'origine végétale : La plupart de ces composés sont des épices, des herbes et des huiles essentielles isolées de plants , comme l'origan, le basilic, la cannelle, le clou de girofle, le thym, l'ail de romarin et parmi beaucoup d'autres [Mendonca et al., 2018].

Les conservateurs naturels d'origine animal : Les enzymes représentent un autre groupe de composés naturels qui ont trouvé une application dans les aliments en tant que conservateurs valides. Le lysozyme, par exemple, est une enzyme lytique présente dans les aliments, tels que le lait et les œufs, qui peut hydrolyser les liaisons  $\beta$ -1,4 entre l'acide N-acétylmuramique et la N-acétylglucosamine .Commercialement, le lysozyme a été utilisé principalement pour empêcher le gonflement tardif des fromages à pâte mi-dure, causé par *Clostridium tyrobutyricum* [Branen and Davidson, 2004].

Le chitosane provient de la désacétylation partielle de la chitine, qui est un polysaccharide linéaire polycationique naturel que l'on trouve principalement dans les coquilles de crustacés marins , Il a été documenté que le chitosane a une propriété filmogène pour une utilisation comme film ou revêtement comestible, pour réduire la transmission de la vapeur d'eau et de l'oxygène, réduire le taux de respiration et augmenter la durée de conservation des fruits [Saeed et al., 2019].

Les conservateurs naturels d'origine microbiennes : Certains micro-organismes et leurs dérivés empêchent naturellement la croissance d'autres, ces microbes ont été vantés pour leur capacité à inhiber la croissance de micro-organismes d'altération et pathogènes dans les systèmes alimentaires. La durée de conservation des aliments est prolongée lorsqu'ils sont utilisés et leur sécurité et leur qualité sont améliorées en conséquence [Quinto et al., 2019].

La nisine est un polypeptide produit par *Lactococcus lactis spp.* Il a été approuvé comme additif alimentaire avec le statut GRAS dans plus de 50 pays à travers le monde. Il a un spectre d'activité relativement large contre diverses bactéries lactiques et d'autres

bactéries Gram-positives. De plus, il est particulièrement efficace contre les spores bactériennes résistantes à la chaleur de *Clostridium botulinum* et contre les pathogènes d'origine alimentaire tels que *L. monocytogenes*, *S. aureus* ou *B. cereus* [Gálvez *et al.*, 2007].

## **6 Les conservateurs alimentaires issues de plantes aromatiques et médicinales**

Les plantes médicinales et aromatiques (PMA) sont très importantes dans divers domaines, tels que la pharmacie, la parfumerie et industries cosmétiques et alimentaires. Les PMA constituent un pourcentage élevé de la flore naturelle, 80% de la population mondiale utilise médicaments traditionnels à base de PAM pour traiter divers problèmes de santé humaine. Plus de 9000 plantes indigènes ont été identifiés et enregistrés pour leurs propriétés curatives, et environ 1500 espèces sont connues pour leur arôme et leur saveur [Laranjo *et al.*, 2017].

Les PMA sont utilisés dans notre gastronomie depuis l'Antiquité, mais l'application potentielle de leurs huiles essentielles (HE) dans les aliments a n'ont été signalés que plus récemment [Burt, 2004]. Néanmoins, les HE des PAM jouent un rôle dans la sécurité alimentaire. Elles ont le potentiel d'être utilisées comme agent de conservation alimentaire pour les céréales, les grains, les légumineuses, les fruits et les légumes [Laranjo *et al.*, 2019].

Les huiles essentielles des plantes aromatiques et médicinales ont des propriétés antimicrobiennes et de conservation des aliments prononcées car elles sont composées d'une variété de constituants actifs (par exemple, terpènes, terpénoïdes, caroténoïdes, coumarines, curcumines) qui ont une grande importance dans l'industrie alimentaire et ils jouent un rôle important dans la résistance aux agents pathogènes [Pandey *et al.*, 2017].

## *Chapitre 2 : les huiles essentielles*

## **1 Généralité sur les huiles essentielles**

### **1.1 Historique**

Les premières preuves de fabrication et d'utilisation des HEs datent de l'an 3000 avant J.C. Ces utilisations concernaient différents domaines : parfumerie, médecine, rites religieux, coutumes païennes, alimentation, etc...[*Adlard, 2010*].

Les HEs semblent donc avoir accompagné la civilisation humaine depuis ses premières genèses. Les égyptiens, puis les grecs et les romains ont employé diverses matières premières végétales ainsi que les produits qui en découlent, notamment les huiles essentielles. L'étape byzantine de la civilisation a permis l'instauration des bases de la distillation et, avec la civilisation musulmane, l'huile essentielle devient un des principaux produits de commercialisation internationale.

Ainsi, vers l'an mille, Avicenne, médecin et scientifique persan, a défini précisément le procédé d'entraînement à la vapeur. L'Iran et la Syrie deviennent à cette époque les principaux centres de production de divers types d'extraits aromatiques [*Bouguerra*].

Parallèlement, leurs utilisations s'est vue croître grâce à l'avènement de l'aromathérapie, terme créé par René-Maurice Gattefosse en 1928, qui a mené de nombreux travaux concernant les HEs, notamment leurs propriétés ; ces résultats seront à l'origine de nombreuses autres recherches [*Besombes, 2008*].

### **1.2 Définition**

Le terme « huile essentielle » a été inventé au 16<sup>ième</sup> siècle par le médecin Suisse Parascelsus Von HOHENHEIM pour désigner le composé actif d'un remède naturel. Il existe aujourd'hui approximativement 3000 huiles essentielles, dont environ 300 sont réellement commercialisées, destinées principalement à l'industrie des arômes et des parfums [*Burt, 2004*].

Les huiles essentielles, également appelées huiles odoriférantes volatiles, sont aromatiques liquides huileux extraits de différentes parties de plantes, par exemple,

feuilles, pelures, écorces, fleurs, bourgeons, graines, etc. elles peuvent être extraites de matières végétales par plusieurs méthodes, distillation à la vapeur, expression, etc.

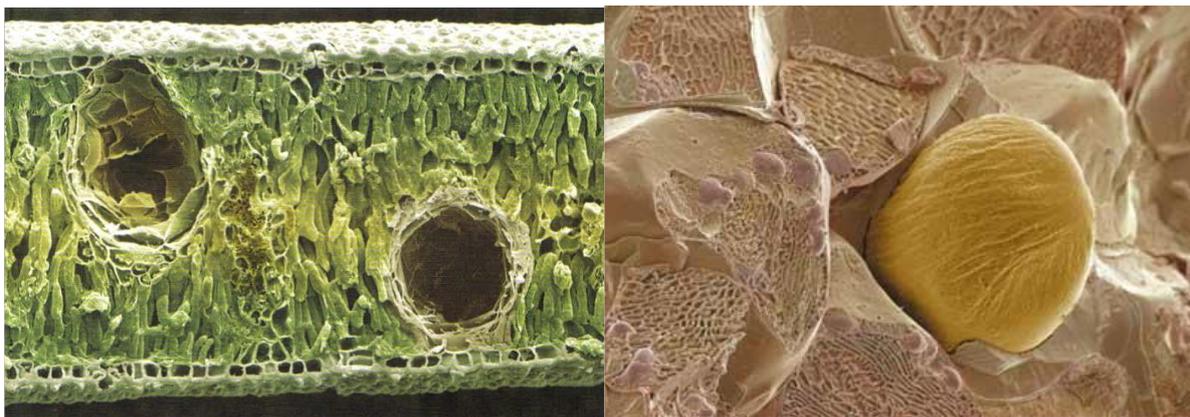
Parmi toutes les méthodes, par exemple, méthode de distillation à la vapeur a été largement utilisée, en particulier pour production à l'échelle commerciale. Les huiles essentielles ont été largement utilisées comme nourriture saveurs ; Elles sont présentes dans de nombreuses plantes différentes, en particulier les plantes aromatiques, varient en odeur et en saveur, qui sont régies par les types et la quantité de constituants présents dans les huiles [*Tongnuanchan and Benjakul, 2014*].

Les huiles essentielles sont produites dans le cytoplasme des cellules sécrétrices et s'accumulent en général dans des cellules glandulaires spécialisées, situées en surface de la cellule et recouvertes d'une cuticule. Ensuite, elles sont stockées dans des cellules dites cellules à huiles essentielles, dans des poils sécréteurs, dans des poches sécrétrices ou dans des canaux sécréteurs [*Boz et al., 2009*].

## **2 Localisation dans la plante**

Les huiles essentielles sont généralement formées sous forme de métabolites secondaires. Dans de nombreux cas, ils sont stockés dans des cellules non différenciées (*Lauraceae*) ou des organes sécrétés, tels que des poils glandulaires (*Lamiaceae* et *Asteraceae*), des canaux sécrétoires (schizogènes chez *Myrtaceae* et schizolysigène chez les *Rutacées*), ou cavités (Conifères). Parfois, l'huile essentielle ne se forme pas dans la plante elle-même, mais il est produit par hydrolyse de certains composés présents dans la plante, comme c'est le cas de la valériane ou de l'ail [*Chamorro et al., 2012*] ; [*Rios, 2016*].

En ce qui concerne leur localisation, les huiles essentielles peuvent se former dans toutes les parties de la plante, y compris les parties aériennes, généralement composé de fleurs, de feuilles et de tiges (camomille, menthe poivrée, lavande); écorce (cannelle); fruits (anis); graines (noix de muscade); ainsi que dans la racine et les rhizomes (curcuma et gingembre) [*Rios, 2016*].



**Figure 1:** Poches schizogènes d'une feuille d'eucalyptus citronnée vues en microscopie électronique à balayage (image colorisée, x204) [Svoboda and Svoboda, 2000]

**Figure 2:** Cellule sécrétrice d'huile essentielle dans un rhizome de gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) au microscope électronique à balayage (image colorisée, x813) [Svoboda and Svoboda, 2000].

### 3 Production mondiale des huiles essentielles

La production d'huiles essentielles à partir des plantes sauvages ou des plantes cultivées est possible presque partout, sauf dans les pays les plus froids du monde et les régions couvertes de neige en permanence [Bousbia, 2011].

Les principaux pays producteurs des huiles essentielles se retrouvent à travers tous les continents, notamment certains pays méditerranéens tels que l'Italie, l'Espagne, le Portugal, la France, la Croatie, l'Albanie et la Grèce. Le continent asiatique, avec sa diversité de climats, semble être le producteur le plus important d'huiles essentielles dont la Chine et l'Inde jouent un rôle important dans la production mondiale suivies de l'Indonésie, du Sri Lanka et du Vietnam. Tandis que certains pays producteurs des huiles essentielles en Afrique, incluant le Maroc, la Tunisie, l'Égypte et l'Algérie avec la Côte d'Ivoire, l'Afrique du Sud, le Ghana, le Kenya, la Tanzanie et l'Ouganda, ont des productions mineures. Le continent américain est également l'un des plus grands producteurs des huiles essentielles, on note que les États-Unis, le Canada, et le Mexique possèdent une richesse très importante en matière végétale aromatique. Du côté de l'Amérique du Sud, les huiles essentielles sont principalement produites par le Brésil,

l'Argentine, le Paraguay, l'Uruguay, le Guatemala, et île du Haïti [*Sili and Benfedda, 2017*].

La production annuelle de quelques huiles essentielles dépasse 30 000 tonnes tandis que d'autres ne peuvent atteindre que quelques kilogrammes [*Bouguerra*] Certains chiffres d'estimation de la production, en tonnes, basées sur l'année 2008 sont indiqués dans le tableau ci dessous :

**Tableau 4:** Récapitulation des principales huiles essentielles produites et des principaux pays producteurs dans le monde en 2008 [*Sili and Benfedda, 2017*]

Huiles essentielles	Production (Tonnes)	Principaux pays producteurs
Huile d'orange	51000	USA, Brésil, Argentine
Huile de menthe des champs (Mentha arvensis)	32000	Inde, Chine, Argentine
Huile du citron	9200	Argentine, Italie, Espagne
Huile de l'eucalyptus	4000	Chine, Inde, Australie, Afrique du Sud
Huile de la menthe poivrée	3300	Inde, USA, Chine
Huile du clou de girofle	1800	Indonésie, Madagascar
Essence de la citronnelle	1800	Chine, Sri Lanka
Huiles de la menthe verte	1800	USA, Chine
Huiles du bois de cèdre	1650	USA, Chine
Huile du patchouli	1200	Indonésie, Inde
Huile de la lavande	1100	France

#### **4 La composition chimique des huiles essentiels**

Les huiles essentielles sont un mélange complexe de composés volatils caractérisés par une odeur et une saveur forte qui varient en fonction de la composition chimique de l'HE. Généralement, les HE sont une mosaïque complexe contenant un nombre variable de composants polaires et non polaires à différentes concentrations [*Falleh et al., 2020*].

En effet, elles comprennent deux classes de composés caractérisés par des origines biogénétiques bien distinctes.

#### 4.1 Composés terpéniques

Les huiles essentielles formées par les dérivés terpéniques sont généralement composées de mono- et sesquiterpènes [Rios, 2016] Seuls les monoterpènes en C10 et les sesquiterpènes en C15 peuvent être extraits par distillation, les autres terpènes (diterpènes en C20 et triterpènes en C30) n'étant pas entraînés par la vapeur d'eau.

Les composés terpéniques sont classés selon :

- leurs fonctions : alcools (géraniol, linalol), esters (acétate de linalyle), aldéhydes (citral, citronellal), cétones (menthone, camphre, thuyone), éthers-oxydes (cinéole) ;
- leur structure : linéaire (farnésène, farnésol), monocyclique (humulène, zingiberène), bicyclique (cadinène, caryophyllène, chamazulène) ou tricyclique (cubébol, patchoulol, viridiflorol) [Couic-Marinier and Lobstein, 2013].

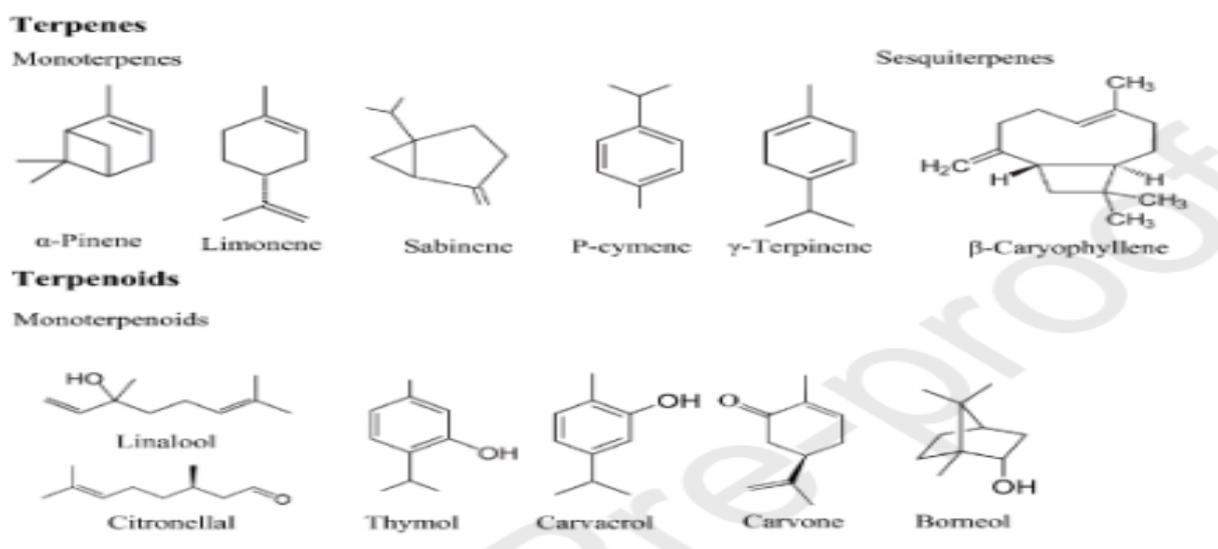


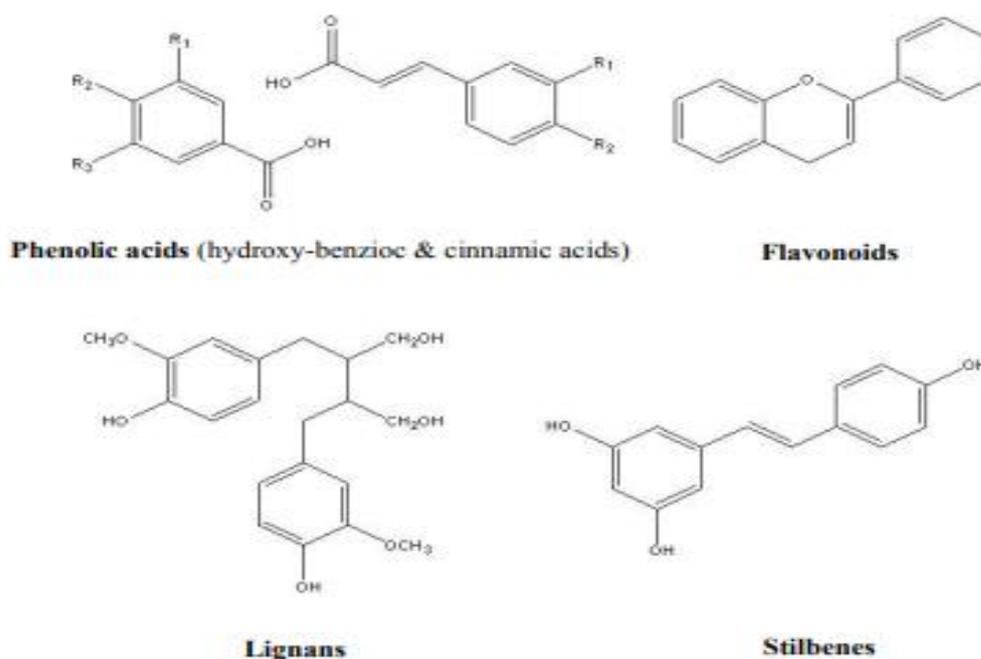
Figure 3: Différents groupes de terpènes et leurs structures chimiques

[Falleh et al., 2020]

## 4.2 Groupe des phénylpropanoïdes

Cette famille contient plus de 10 000 composés décrits à ce jour dans les plantes vasculaires, dont plusieurs centaines se retrouvent dans les plantes comestibles [Li et al., 2014]. Ces composés phénoliques peuvent être trouvés dans un large éventail d'aliments et de boissons d'origine végétale tels que les fruits, les légumes, le café, le thé, la bière, le vin ou le chocolat [Liu, 2013].

Les polyphénols sont généralement classés en sous-familles, en fonction de leur structure chimique, du nombre de cycles phénoliques et des éléments structuraux qui relient ces cycles : les acides phénoliques (comme l'acide gallique), les flavonoïdes (comme la quercétine), stilbènes (sous forme de resvératrol), lignanes (sous forme de sécoisolaricirésinol), coumarines (sous forme de coumarine) et polymères de tanin (sous forme de proanthocyanidines) [Gutiérrez-del-Río et al., 2018].



**Figure 4:** Différents groupes de polyphénols et leurs structures chimiques

[Li et al., 2014]

## **5 Les domaines d'utilisations des huiles essentielles**

### **5.1 Utilisation pharmacologique**

Leurs propriétés pharmacologiques leur confèrent une utilisation médicale. Les HEs ont :

- Un pouvoir antiseptique : contre des bactéries variées ainsi que des champignons et levures.
- Des propriétés spasmolytiques et sédatives : certaines drogues à HEs sont réputées efficaces pour diminuer les spasmes gastro-intestinaux. L'amélioration de certaines insomnies et de troubles psychosomatiques divers est également notée.
- Des propriétés irritantes : de nombreuses crèmes, pommades à base d'HEs, sont destinées à soulager entorses, courbatures ou claquages musculaires en augmentant la microcirculation, induisent une sensation de chaleur et dans certains cas une légère anesthésie locale [*Amina, 2021*].

### **5.2 Utilisation dans l'industrie alimentaire**

Les huiles essentielles sont utilisées dans une grande variété de biens de consommation tels que les produits alimentaires de confiserie, les boissons gazeuses et les boissons alcoolisées distillées, Boissons alcoolisées distillées. Outre leur utilisation répandue en tant que matière aromatique, ils sont utilisés dans les domaines nutritionnel et agricole pour leurs propriétés antibactériennes, antifongiques, antivirales, nématocides, insecticides et antioxydantes. Pour cette raison, leur antioxydant et de conservateurs dans les aliments a été, qu'ils soient incorporés dans les matériaux d'emballage des denrées alimentaires ou comme agents de protection des plantes et des cultures [*Rios, 2016*].

### **5.3 Dans les industries agro-alimentaires**

Certaines drogues sont utilisées en nature (épices et aromates), d'autres sous forme d'HEs ou de rétinoides dispersés, encapsulés ou complexés. On note l'intégration de ces derniers dans : les boissons non alcooliques, les confiseries, les produits laitiers ou carnés, les soupes, les sauces, les snacks, les boulangeries, ainsi que la nutrition animale [*Amina, 2021*].

## **6 Facteurs de variabilité des huiles essentielles**

Les huiles essentielles obtenues de différentes ou de même espèce végétale peuvent varier quantitativement et/ou qualitativement. Cette variation peut être due aux différents facteurs suivants :

### **6.1 Facteurs intrinsèques**

Une huile essentielle doit avant tout autre chose être rapportée au matériel botanique d'où elle est issue pour éviter toutes dénominations trompeuses du matériel végétal. L'influence du stade végétatif, l'organe de la plante, les hybridations, les facteurs de mutation, la polyploidie et le polymorphisme chimique « chimio types ou formes physiologiques » sont les principaux facteurs intrinsèques qui influencent la composition et le rendement des huiles essentielles [*Aprotosoie et al., 2010*].

### **6.2 Facteurs extrinsèques**

Les conditions environnementales influencent aussi la composition des huiles essentielles. La température, la quantité de lumière, la pluviométrie et les conditions édaphiques représentent autant de causes potentielles de variations de la composition chimique d'une plante aromatique donnée [*Olle et al., 2010*].

Il n'y a pas eu mal des travaux ayant mis en évidence l'influence de l'origine géographique de la matière première, les conditions culturales telles que la date de semis, la date de récolte, les traitements phytosanitaires, l'emploi d'engrais, et les techniques de récolte sur la composition et le rendement des huiles essentielles [*Aprotosoie et al., 2010*].

## **7 Toxicité des huiles essentielles**

En dépit de leurs effets bénéfiques, les huiles essentielles sont loin d'être non toxiques. La majorité des huiles essentielles, à de très fortes doses, causent des effets toxiques [*Sili and Benfedda, 2017*].

Les huiles essentielles doivent être utilisées avec une extrême prudence, du fait qu'elles peuvent présenter de très graves dangers lors d'une utilisation aléatoire autonome, Certaines d'entre elles sont dangereuses lorsqu'elles sont appliquées sur la

peau en raison de leur pouvoir irritant (huiles riches en thymol ou en carvacrol) et allergène (huiles riches en cinnamaldéhyde) [*Smith et al., 2000*].

En général, chez l'homme des intoxications aiguës sont possibles. Les accidents graves (troubles digestifs, hypotension, hypothermie, confusion mentale) le plus souvent observées chez les petits enfants, sont provoqués par l'ingestion en quantité importante d'HE (10 à 30ml) [*Sili and Benfedda, 2017*].

## **8 Les précautions d'emploi**

Afin de limiter les accidents et la toxicité liés au mésusage des HE, il convient de rappeler certaines précautions d'emploi au comptoir [*Touboul, 2021*].

- ne pas employer d'HE pures, sauf exception, quelle que soit la voie d'administration
- éviter par précaution l'usage d'HE en cas de grossesse, d'allaitement, chez le nourrisson et chez le patient asthmatique, épileptique ou allergique.
- Il ne faut jamais appliquer d'huile essentielle pure sur les yeux, le nez, le conduit auditif, les muqueuses ano-génitales.
- ne jamais laisser les flacons à portée des enfants et se laver les mains après utilisation.
- Respectez les dilutions conseillées pour toute application cutanée. Une mauvaise dilution peut entraîner irritations.
- les huiles essentielles doivent être conservées à l'abri de la chaleur et de la lumière, Pour ne pas qu'elles perdent leurs propriétés.

## **9 Méthodes d'extraction des huiles essentielles**

### **9.1 Méthodes d'extraction Conventionnelles**

#### **9.1.1 La distillation**

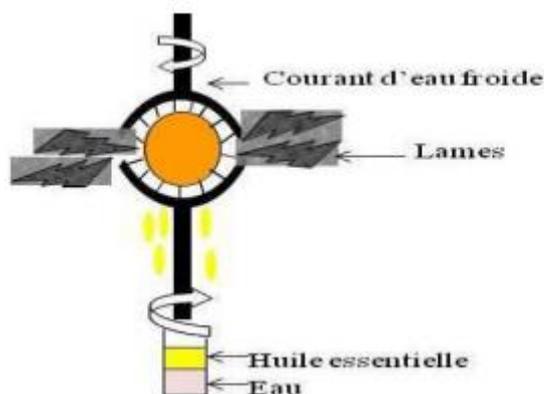
C'est le procédé le plus ancien et le mieux adapté pour extraire les essences des végétaux aromatiques. La méthode est basée sur la distillation des composés volatils et de l'eau simultanément à une température inférieure à 100°C sous pression atmosphérique normale. En conséquence, les produits aromatiques sont entraînés par la vapeur d'eau sans subir d'altérations majeures. Il existe précisément trois différents

procédés utilisant ce principe : l'hydrodistillation, l'hydro diffusion et l'entraînement à la vapeur d'eau [Piochon, 2008] ; [Stratakos and Koidis, 2016].

### **9.1.2 Expression à froid**

L'expression ou la pression à froid est la méthode d'extraction la plus ancienne est utilisée presque exclusivement pour la production d'huiles essentielles d'agrumes. Cette méthode fait référence à tout processus physique au cours duquel les glandes à huile essentielle de la peau et des cuticules sont brisées afin de libérer l'huile. Ce processus aboutit à la production d'une émulsion aqueuse, qui est ensuite centrifugée pour séparer l'huile essentielle [Bousbia et al., 2009].

Les huiles essentielles des fruits autres que les agrumes, comme les baies, ne sont généralement pas extraites par cette méthode [Stratakos and Koidis, 2016].



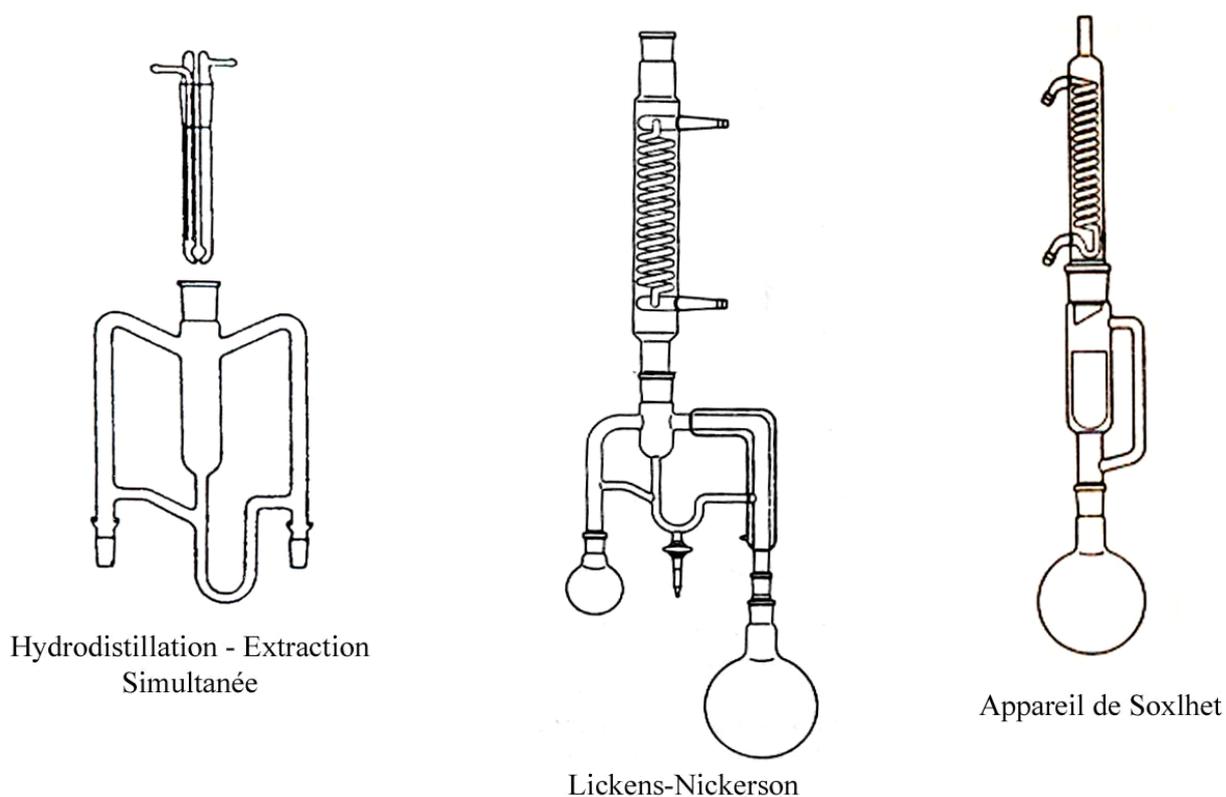
**Figure 5:** Extraction par expression à froid [Mnayer, 2014]

### **9.1.3 Extraction par solvant**

L'extraction par solvant peut être utilisée pour extraire les huiles essentielles thermiquement labiles (par exemple, de la fleur). Au cours de cette méthode, la matière végétale est placée dans un bain de solvant qui la dissout. Après l'extraction, le mélange liquide contenant l'huile essentielle (ainsi que d'autres composés) passe par un processus de filtration et une distillation ultérieure. Les solvants couramment utilisés pour l'extraction sont l'alcool, l'hexane, l'éthanol, l'éther de pétrole et le méthanol.

Le principal avantage de l'extraction par rapport à la distillation est qu'une température plus basse est utilisée pendant le processus, réduisant ainsi le risque de changements chimiques dus aux températures élevées, qui sont utilisées pendant la distillation.

L'extraction par solvant est peu coûteuse et relativement rapide et parce que les taux de diffusion sont influencés par la température, il est possible d'augmenter la vitesse du processus en utilisant solvants chauds. Cette méthode est couramment utilisée par l'industrie de la parfumerie [Stratakos and Koidis, 2016].



**Figure 6:** Les différents types d'extraction par solvants [Lucchesi, 2005]

## 9.2 De Nouvelles Méthodes d'extraction

### 9.2.1 Extraction par ultrasons

L'extraction assistée par ultrasons dans la technologie de transformation des aliments est intéressante car elle est capable de faciliter l'extraction des composants (par exemple, les huiles, les protéines, les polysaccharides). Les principaux avantages de l'application des ultrasons sont les effets minimaux sur les composés extractibles, la

réduction / l'évitement des solvants organiques (car il est également efficace avec des solvants généralement reconnus comme sûrs) et une réduction du temps d'extraction [Vilkhu et al., 2008].

Les effets des ultrasons sont dus aux phénomènes de cavitation, c'est-à-dire de production et de décomposition de bulles microscopiques. Lorsque les bulles grossissent elles s'effondrent violemment. Cet effondrement violent induit des forces mécaniques qui conduisent à la cellule dommages à la membrane. Ils en résultent une productivité élevée des matériaux extraits et un taux d'extraction rapide [Cameron et al., 2009].



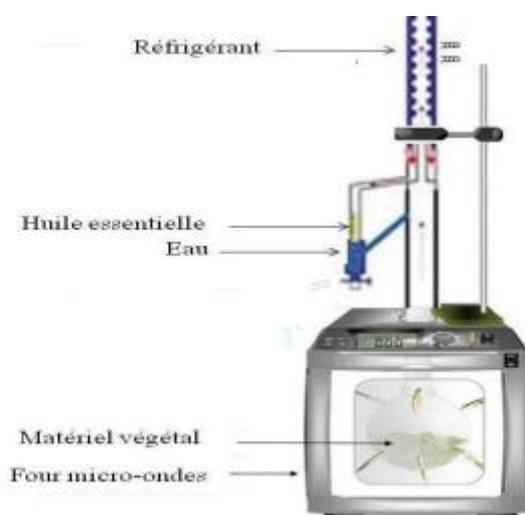
**Figure 7:** Equipements ultrasoniques industriels : 50, 500 and 1000 l [Lamia, 2013]

### **9.2.2 Extraction par micro-ondes**

Une technologie supplémentaire qui a particulièrement attiré l'attention est l'extraction assistée par micro-ondes en raison de son mécanisme de chauffage unique (basé sur la friction), de son coût raisonnable et de ses bonnes performances dans des conditions atmosphériques.

Par rapport aux méthodes d'extraction conventionnelles, cette méthode conduit à des rendements d'extraction plus élevés, des temps d'extraction plus courts et une sélectivité plus élevée [Chen *et al.*, 2007].

Pour tenter de tirer parti du chauffage par micro-ondes, les chercheurs ont combiné les micro-ondes avec des méthodes conventionnelles développant de nouvelles méthodes telles que l'extraction par solvant assistée par micro-ondes, l'hydrodistillation sous vide par micro-ondes, l'hydrodistillation par micro-ondes, la distillation par micro-ondes à air comprimé et la distillation à la vapeur accélérée par micro-ondes [Sahraoui *et al.*, 2008].



**Figure 8:** Extraction par micro-onde [Mnayer, 2014]

## 10 L'huile essentielle comme répulsif pour la conservation des aliments

Les produits alimentaires tels que les céréales stockées, les fruits et autres matériaux celluloseux vulnérables à l'infestation par divers parasites, principalement des arthropodes, peuvent être conservés lorsque l'activité délétère de ces insectes et arthropodes est inhibée. Actuellement, l'utilisation de produits chimiques synthétiques spécifiques pour lutter contre certains insectes et arthropodes est une pratique courante qui soulève plusieurs préoccupations liées à l'environnement et à la santé humaine. D'autres alternatives explorées sont l'utilisation de produits naturels qui possèdent une bonne efficacité et sont respectueux de l'environnement. Parmi ces produits naturels, les HE de plantes appartenant à plusieurs espèces ont été largement testées pour évaluer

leurs propriétés répulsives en tant que ressource naturelle précieuse et se sont révélées très puissantes. En ce qui concerne les questions de santé humaine, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis a confirmé l'efficacité de certaines HE et a donc enregistré les huiles de citronnelle, de citron et d'eucalyptus comme ingrédients insectifuges à appliquer sur la peau. Les produits naturels sont fréquemment utilisés parce qu'il a été établi qu'ils sont peu toxiques, qu'ils ont une efficacité comparable à celle des autres HE et des produits chimiques synthétiques et qu'ils sont préférés par les consommateurs [Katz *et al.*, 2008]. L'étude approfondie montre que les HE de plantes et leurs métabolites individuels ont indiqué un potentiel optimal pour l'activité répulsive contre plusieurs espèces, non seulement les insectes, mais d'autres types d'arthropodes. Les produits naturels présentent donc un potentiel considérable en tant que produits répulsifs commerciaux lorsqu'ils sont mélangés à des matériaux fixateurs, car la volatilité élevée inhérente qu'ils possèdent naturellement diminue leur durée de protection effective [Adelakun *et al.*, 2016].

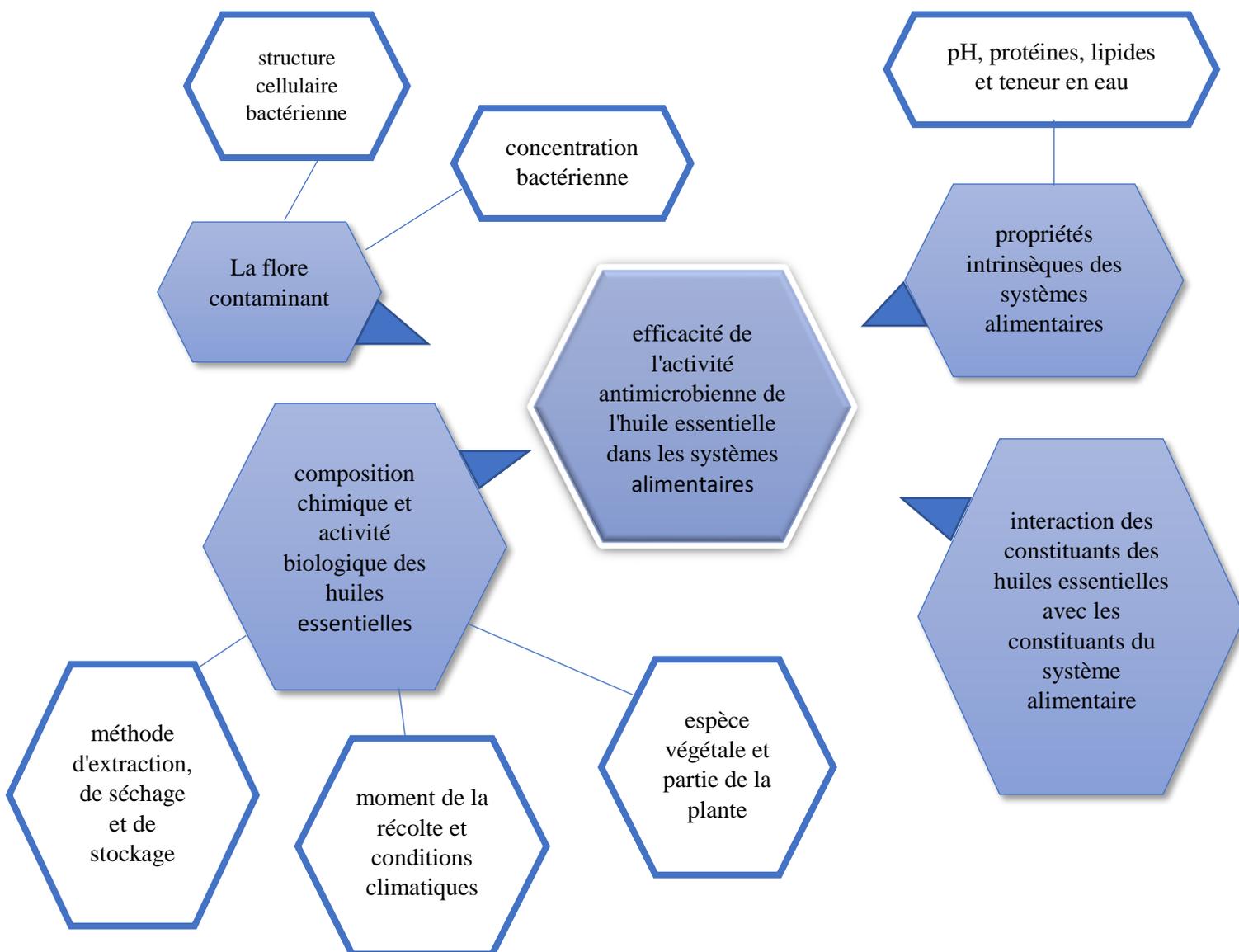
## **11 Propriétés conservatrices les huiles essentielles**

### **11.1 Activité antimicrobienne**

Les effets anti-microbiens de différentes espèces de végétaux et d'épices sont connus depuis longtemps et mis à profit pour augmenter la durée de vie des aliments. Ces propriétés antimicrobiennes sont dues à la fraction d'huile essentielle contenue dans les plantes. Ces huiles ont un spectre d'action très large puisqu'elles inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celles des moisissures et levures. L'activité antimicrobienne des huiles essentielles est principalement fonction de leur composition chimique, en particulier de la nature de leurs composés volatils majeurs. Produits naturels, sains, servant d'arômes alimentaires, les huiles essentielles sont actuellement étudiées pour mieux cerner leur efficacité comme conservateurs naturels [Hadizadeh *et al.*, 2009].

Plusieurs travaux ont montré que les huiles essentielles de thym, d'origan, de cannelle et d'autres plantes aromatiques ont un effet inhibiteur sur la croissance et la toxinogènes de plusieurs bactéries et champignons responsables de toxi-infections alimentaires [Bouguerra].

Parmi le groupe diversifié des constituants chimiques des huiles essentielles, le carvacrol, qui exerce une action antimicrobienne bien distinguée, est additionné à différents produits alimentaires en industrie agro-alimentaire. Il y est rajouté pour améliorer le goût et pour empêcher le développement des contaminants alimentaires [Rhayour, 2002].



**Figure 9:** Facteurs pertinents pouvant influencer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles dans les systèmes alimentaires [da Silva et al., 2021]

### **11.2 Activité antioxydante**

Le pouvoir antioxydant des HE est développé comme substitut dans la conservation alimentaire. Ce sont surtout les phénols et les polyphénols qui sont responsables de ce pouvoir [*Hussain et al., 2010*].

Lorsque l'on parle d'activité antioxydante, on distingue deux sortes selon le niveau de leur action : une activité primaire et une activité préventive (indirecte). Les composés qui ont une activité primaire sont interrompus dans la chaîne autocatalytique de l'oxydation. En revanche, les composés qui ont une activité préventive sont capables de retarder l'oxydation par des mécanismes indirects tels que la complexation des ions métalliques ou la réduction d'oxygène [*Dongmo et al., 2010*].

Des études de l'équipe constituant le Laboratoire de Recherche en Sciences Appliquées à l'Alimentation (RESALA) de l'INRS-IAF, ont montré que l'incorporation des huiles essentielles directement dans les aliments (viandes hachées, légumes hachés, purées de fruit, yaourts...) où l'application par vaporisation en surface de l'aliment (pièce de viande, charcuterie, poulet, fruits et légumes entiers...) contribuent à préserver l'aliment des phénomènes d'oxydation [*Caillet and Lacroix, 2007*].

### **11.3 Activité antifongique**

Afin de réduire l'utilisation des fongicides de synthèse dans les aliments, plusieurs traitements alternatifs ont été étudiés. Les métabolites produits par les plantes sont des alternatives prometteuses parce que les plantes produisent une grande variété de composés, soit dans le cadre de leur développement ou en réponse au stress ou à une attaque pathogène.

Les HEs ont l'avantage potentiel d'être bioactifs dans leur phase vapeur, une caractéristique qui les rend attrayants comme fumigants possibles pour la protection des produits stockés.

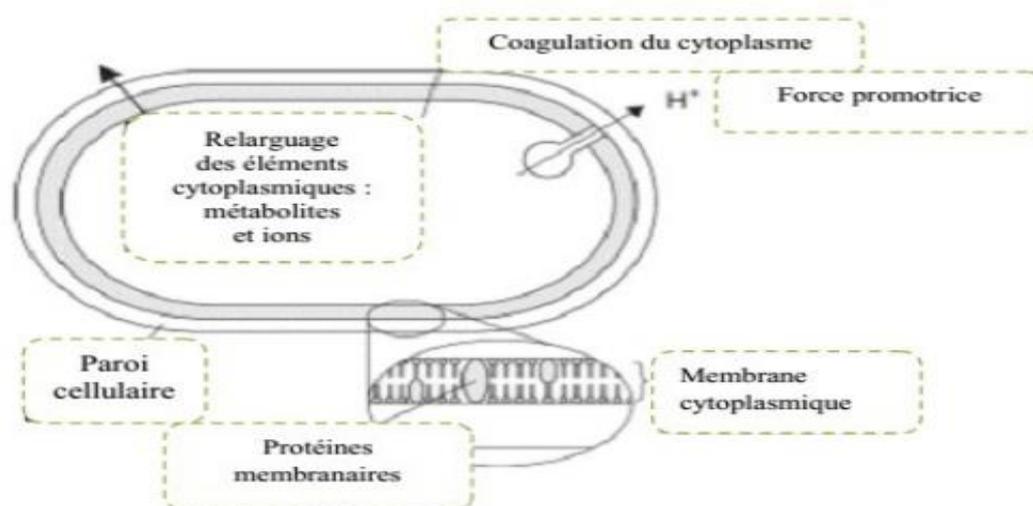
Beaucoup de recherches ont été menées dans ce domaine au cours des dernières années. *Aspergillus* et *Fusarium* sont les genres de champignons les plus couramment utilisés pour tester les HEs, suivis par *Penicillium* et d'autres genres phytopathogènes [*Ben Miri, 2019*].

## 12 Mode d'action des huiles essentielles

Plusieurs théories sont proposées pour expliquer le mécanisme par lequel les HEs exercent leur activité antimicrobienne. La composition complexe des HEs tend à prouver que cette activité serait due à plusieurs mécanismes d'action différents, liés à la nature chimique de ces composés [Burt, 2004]. La plupart des mécanismes d'action sont attribués à l'interaction des composants des HEs avec la membrane cellulaire [Sili and Benfedda, 2017].

Les HEs sont constituées de molécules lipophiles capables de pénétrer la double couche phospholipidique. Leur accumulation entre les phospholipides entraîne alors un changement de conformation et un mauvais fonctionnement de la membrane cellulaire, perturbant ainsi le transport membranaires des substances nutritives [Sili and Benfedda, 2017].

D'autres mécanismes d'action proposés sont liés à la coagulation des constituants cellulaires par la dénaturation des protéines [Sili and Benfedda, 2017]. Les HEs extraites de cannelle et de l'ail peuvent inhiber l'activité enzymatique des bactéries du rumen telle l'espèce *Enterobacter aérogènes*. La figure 10 nous montre les sites d'action des HEs sur la cellule bactérienne :



**Figure 10:** Sites d'action des Huiles essentielles sur la cellule bactérienne

[Burt, 2004]

### **13 Les huiles essentielles en tant que constituants d'emballages antimicrobiens**

Il a été confirmé que les HE sont d'une grande importance dans le contrôle des populations microbiennes. Habituellement, elles sont conditionnées pour cibler microorganismes spécifiques afin de fournir des produits plus sûrs et de meilleure qualité dans l'industrie alimentaire par rapport à la durabilité minimale établie pour chaque produit alimentaire [*Sadaka et al., 2013*].

En particulier, les HE ont été confirmées comme des ingrédients actifs souhaitables dans la mise au point de matériaux d'emballage actifs pour les produits alimentaires. La demande d'utilisation d'emballages antimicrobiens en tant qu'ingrédients actifs est en augmentation et, par essence, la demande d'HE en tant qu'ingrédients actifs est due à la préférence constante des consommateurs pour les produits alimentaires peu transformés.

À cet égard, les HE et plus particulièrement leurs molécules bioactives font l'objet d'une analyse approfondie pour leurs attributs antimicrobiens, antifongiques, antiviraux, insecticides et antioxydants [*Burt, 2004*].

### **14 Les produits de conservations commerciales à base d'huiles essentielles**

L'intérêt autour des huiles essentielles ne cesse de croître grâce à leurs propriétés biologiques exploitables dans plusieurs domaines, de la pharmacie à l'alimentation en passant par l'agriculture. Cependant, leur utilisation et leur commercialisation à grande échelle sont encore limitées en raison de leurs propriétés physico-chimiques médiocres, c'est-à-dire une volatilité élevée, décomposition thermique, faible solubilité dans l'eau et problèmes de stabilité [*Pavoni et al., 2020*].

Aujourd'hui, quelques produits de conservation contenant des huiles essentielles sont déjà disponibles dans le commerce. Parmi ceux-ci : [*Bevilacqua et al., 2010*]

- « **DMC Base Natural** » est un conservateur produit par DOMCA S.A. (AlhendIn, Granada, Espagne) et comporte 50% des huiles essentielles du romarin, de la sauge et du citron.

- Les « **Protecta One** » et « **Protecta Two** » sont des mélanges d'extraits d'herbes produits par Bavaria Corp. (Apopka, FL, USA) et sont classés comme des additifs alimentaires GRAS aux USA. Ils sont utilisés comme auxiliaire technologique (appliqué

sur la surface et/ou comme ingrédient) pour prolonger la durée de conservation et éliminer les pathogènes dans les produits alimentaires frais, cuits et congelés.

- « **bioTecta™ 60 plus** » est un produit naturel de sécurité alimentaire doté d'une activité antimicrobienne permettant d'éliminer les bactéries pathogènes et de prolonger la durée de conservation de la viande, de la volaille, des fruits de mer et d'autres produits alimentaires frais, congelés et cuits. bioTecta™ 60 plus a une efficacité microbiologique contre *E.coli*, *Salmonella*, *Listeria*

- L'extrait de romarin « **Herbalox®** » couramment utilisé dans l'alimentation comme exhausteur de goût et prolongateur de durée de conservation.

**Tableau 5:** Résumé des recherches qui ont évalué l'activité antimicrobienne des huiles essentielles dans certains aliments

Groupe d'aliment	Aliments	Les huiles essentielles extraites de sources végétales	Concentration D'huile essentielle	Micro-organismes	Observations	Références
	Bœuf hachée	Ceratonia siliqua	0.01, 0.02 et 0.04%	<i>L. monocytogenes</i>	L'inhibition totale de <i>L. monocytogenes</i> s'est produite aux concentrations de 0,02 et 0,04% à partir de 4 et 2 jours de stockage	[ <i>Hsouna et al., 2011</i> ]

Produit carné					à 7 °C, respectivement	
	Mortadelle	Satureja Montana	0.78, 1.56 et 3.125%	<i>Clostridium perfringens</i>	la population des microorganismes a été réduite par rapport aux échantillons témoins pendant toute la période de stockage aux concentration de 1.56 % d'EO et 0.02 % de NaN <sub>2</sub>	[ <i>De Oliveira et al., 2011</i> ]
	Poulet	le thym ( <i>Thymbra spicata L.</i> ) et le cumin ( <i>Cuminum cumin</i> )	0.02 et 0.05%	Bactéries mésophiles, Bactéries psychrotrophes, LAB ; Coliformes et levures	On a constaté une inhibition du développement des coliformes dans les échantillons additionnés le thym et le cumin	[ <i>Sarıçoban and Yilmaz, 2014</i> ]

Produit laitiers	Fromage a pate molle	Ail , Clou de girofle, piment rouge	1%	<i>Listeria monocytogenes</i>	L'ail présentait des propriétés bactériostatiques clou de girofle était bactéricide le piment rouge a inhibé la croissance de <i>L. monocytogenes</i>	[ <i>Leuschner and Ielsch, 2003</i> ]
	Yaourt	Teucrium polium	0, 40, 60 et 80 ppm	<i>Salmonella typhimurium</i>	L'huile essentielle de <i>T. polium</i> avait la meilleure inhibition de la croissance de <i>Salmonella</i> à 60 ppm et 80 ppm	[ <i>Mahmoudi et al., 2015</i> ]
Les fruits	Orange	Cannelle	0.5%	<i>Penicillium</i>	Les résultats ont montré que l'incorporation des HE dans la gomme laque pourrait être un traitement approprié pour l'entretien de qualité des agrumes. réduction de la	[ <i>Khorram and Ramezani, 2021</i> ]

*chapitre 2 : les huiles essentielles*

					perte de poids de 52 % et la perte de fermeté de 38 %.	
	Kiwi	Le carvacrol	1 mM	flore naturelle	Le traitement avec 1 mM de carvacrol et d'acide cinnamique a réduit le nombre de microbes de façon plus importante à 4 °C	<b>[Roller and Seedhar, 2002]</b>

## *Partie expérimentale*

**Article : Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as active food packaging material**

Un travail réalisé par [*Priyadarshi et al., 2018b*] afin d'étudier l'effet d'incorporer des huiles essentielles extraites de noyaux d'abricot (*Prunus armeniaca*) dans des films de chitosane à des concentrations différentes . Ces films modifiés ont été étudiés pour leurs propriétés physicochimiques et fonctionnelles par rapport à celles des films de chitosane pur du point de vue de l'emballage alimentaire. De plus, les implications pratiques des films ont été étudiées en emballant des tranches de pain et en observant des changements évidents dans leur morphologie sur une période de 10 jours.

## **1 Matériels et méthodes**

### **1.1 Matériel**

D'après l'article, les graines de *Prunus armeniaca* ont été obtenues de la campagne en État d'Uttarakhand en Inde en juin 2017 .

Il ont acheté le chitosane (poids moléculaire  $2,9 \times 10^5 \text{ gmol}^{-1}$  ) à Hi-media, Inde avec un degré de désacétylation  $> 75 \%$ .

Tous les autres réactifs et produits chimiques utilisés ont également été achetés chez Hi-media, Inde et étaient de qualité analytique.

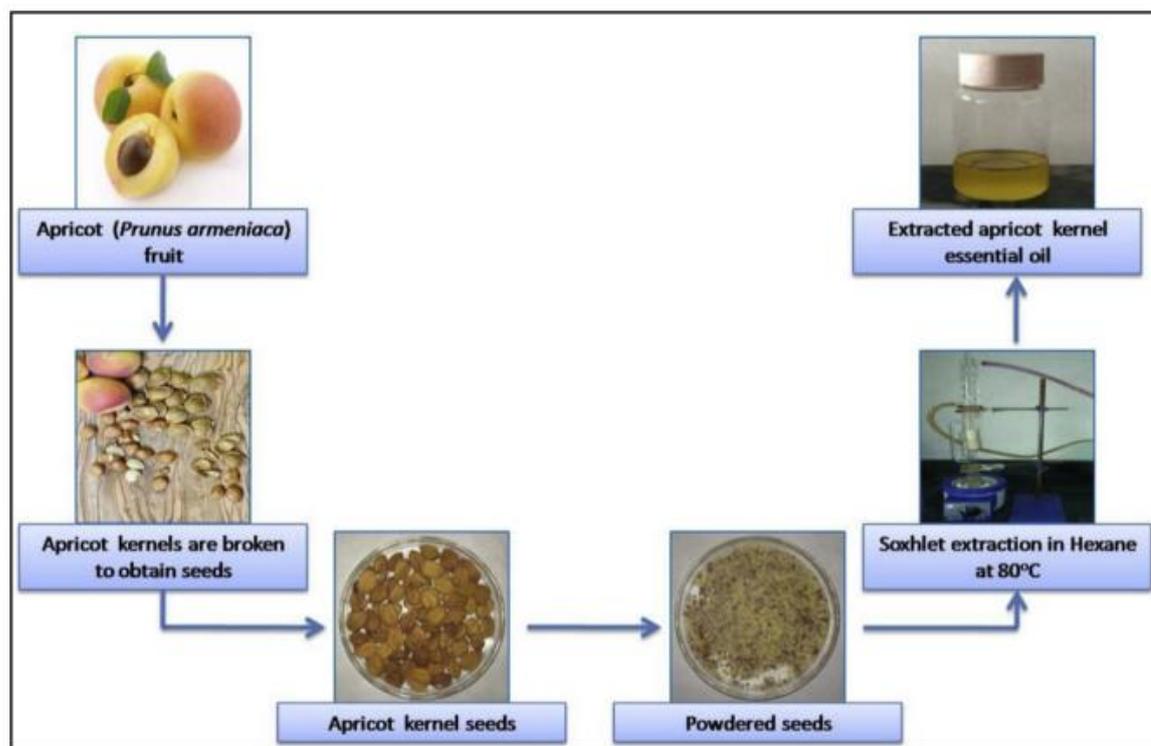
### **1.2 Extraction Huile essentielle de noyau d'abricot (HENA)**

L'extraction de l'huile des graines de *Prunus armeniaca* a été réalisée comme illustré à la **Figure 11**.

Ils ont lavé les grains correctement sous l'eau courante du robinet et sécher complètement.

Ils ont ensuite été écrasés dans poudre grossière et le processus d'extraction d'huile a été effectué pendant 12 h dans un appareil Soxhlet dans des conditions de reflux utilisant l'hexane comme solvant.

Par la suite, le solvant a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif pour obtenir l'HENA extrait qui a été stocké dans un réfrigérateur à 4 °C.



**Figure 11:** Procédure d'extraction d'HENA à partir de noyaux d'abricot [*Priyadarshi et al., 2018b*].

### 1.3 Analyse CPG-SM de l'huile

Ils ont déterminé et analysé la composition chimique de l'huile à l'aide d'un système CG-SM Thermo Scientific équipé d'un échantillonneur automatique et d'une colonne capillaire TR5 MS de dimensions 30 m × 0,25 mm × 0,25 mm. La détection a été effectuée à l'aide d'un système d'ionisation d'électrons avec une énergie d'ionisation de 70 eV, un temps de balayage de 1,5 s et une plage de masse de 1 à 100 amu. L'hélium a été utilisé comme gaz porteur avec un débit de 1 ml/min. [*Priyadarshi et al., 2018b*]; [*Fahim et al., 2019*].

### 1.4 Fabrication de films

Ils ont préparé les films via la méthode de coulée de solvant comme décrit ailleurs [*Priyadarshi and Negi, 2017*]; [*Kalaycioğlu et al., 2017*]. Pour la fabrication de films de chitosane purs (CS/A0), une quantité calculée de chitosane (2 % w/v) a été dissoute

dans une solution aqueuse d'acide acétique (1 % v/v). La solution a été agitée magnétiquement pendant une nuit à 70°C pour une dissolution correcte.

La solution visqueuse de chitosane ainsi préparée a été filtrée pour éliminer toutes les impuretés non dissoutes. La filtration a été réalisée à l'aide d'un tamis ASTM ayant une taille de pores de 150 microns.

Ensuite, la solution a été versée sur des plaques de verre plates et laissée sécher à température ambiante pendant 72h.

Par la suite, les films ont été stockés dans un dessiccateur à environ 0% d'humidité relative et à une température de 25 ° C pour éviter toute absorption d'humidité avant la réalisation des études. Pour la fabrication de films incorporés avec de l'huile de noyau d'abricot (HENA), la même procédure décrite ci-dessus a été suivie. Cependant, après 12 h de dissolution du chitosane, 0,2 % v/v de Tween® 80 a été ajouté et l'agitation a été poursuivie pendant 15 min. [*Priyadarshi et al., 2018b*]

Après, HENA a été ajouté en quantité appropriée afin d'obtenir la concentration finale des solutions filmogènes comme indiqué dans le tableau6. Après l'ajout d'AKEO, la solution a été homogénéisée à l'aide d'un homogénéisateur Ultra Turrax® à 10 000 tr/min pendant 5 min et les films ont été coulés et stockés comme décrit ci-dessus.

**Tableau 6:** Dénomination des différents types de films sur la base des rapports HENA avec leur épaisseur et leur densité de surface. [*Priyadarshi et al., 2018b*]

Type de film	Rapport CS:HENA (w /v)	Epaisseur (mm)	Densité de surface (g m <sup>-2</sup> )
CS/A1	1 :1	0.107	81.50
CS/A0.5	1 :0.5	0.085	71.78
CS/A0.25	1 :0.25	0.070	64.66
CS/A0.125	1 :0.125	0.066	57.33
CS/A0	1 :0	0.064	50.23

## **1.5 Caractérisation du film**

### **1.5.1 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)**

Le principe de cette méthode étudiées La composition chimique des films et les interactions possibles avec les additifs.

### **1.5.2 Microscopie électronique à balayage (MEB)**

L'analyse morphologique des films a été réalisée à l'aide du microscope électronique à balayage TESCAN Mira 3.

### **1.5.3 Teneur en humidité**

Pour déterminer la teneur en humidité, les films ont été coupés en morceaux carrés de 2 cm x 2 cm et pesés. Ensuite ils ont été conservés dans une étuve à vide à 105°C jusqu'à obtention d'un poids constant.

### **1.5.4 Solubilité du film**

Pour étudier la solubilité du film dans l'eau, les films ont été coupés en morceaux carrés de 2 cm x 2 cm et conservés dans un dessiccateur à vide pour éliminer toute l'humidité des films. Les films ont été pesés à intervalles réguliers jusqu'à l'obtention d'un poids constant, qui correspond à des films complètement séchés, et ce poids a été noté poids sec initial.

Les films ont été plongés dans 50 ml d'eau désionisée dans un bécher en verre et ont été maintenus sous agitation constante à 25 ° C pendant 24 h.

Ensuite, les films ont été retirés des béchers et séchés à 105°C jusqu'à poids constant. Ce poids a été désigné comme le poids sec final [[*Hafsa et al., 2016*]; [*Priyadarshi et al., 2018b*]].

### **1.5.5 Opacité du film**

L'opacité du film a été mesurée selon la méthode décrite autre part [*Kalaycioğlu et al., 2017*]. Les films ont été découpés en morceaux rectangulaires et ont été placés à l'intérieur de la cellule de test du spectrophotomètre. La cellule vide a été utilisée comme référence. L'absorbance des films a été enregistrée à 600 nm [*Ren et al., 2017*].

### **1.5.6 Absorption de l'eau**

L'absorption d'eau d'un film est la mesure de l'eau absorbée jusqu'à l'équilibre lorsque le film est immergé dans l'eau. Elle est représentée en termes de pourcentage par rapport au poids du film complètement séché [*Priyadarshi et al., 2018a*].

### **1.5.7 Propriétés barrière à la vapeur d'eau**

Pour déterminer la barrière à la vapeur d'eau des films, ils ont utilisé La méthode de la tasse dans laquelle un bocal en verre d'un diamètre interne de 18,40 mm et d'une surface exposée de 265,77 mm<sup>2</sup> a été utilisé pour l'étude [*Ren et al., 2017*].

Il a été rempli avec 1 g de chlorure de calcium anhydre complètement séché et la bouche a été scellée avec les films d'échantillon de telle manière que l'humidité ne puisse pénétrer dans le bocal qu'à travers le film. Le poids du bocal scellé par un film a été noté et il a été placé dans un dessiccateur, réglé à 25 ° C, contenant une solution aqueuse saturée de NaCl. Avec cette configuration, près de 0 % d'humidité relative a été obtenue à l'intérieur du bocal de test en raison du chlorure de calcium anhydre, tandis que la solution saturée de NaCl fournit une humidité relative de 75 % à l'extérieur. Les changements de poids des pots ont été mesurés et enregistrés régulièrement à 12 h d'intervalle pendant 7 jours [*Priyadarshi et al., 2018b*].

## **1.6 Activité antioxydante**

### **1.6.1 Essai de piégeage de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

L'activité antioxydante des films a été réalisée à l'aide d'un test de piégeage des radicaux au peroxyde d'hydrogène tel que réalisé par [*Hafsa et al., 2016*] avec quelques modifications . L'extrait de chaque film a été préparé en ajoutant des morceaux de film de 500 mg dans 15 ml de méthanol et en passant le mélange aux ultrasons pendant 2 h, suivi d'une centrifugation à 5 000 tr/min pendant 20 min pour recueillir le surnageant. Une solution séparée de peroxyde d'hydrogène (40 mM) a été préparée dans un tampon phosphate (pH 7,4). Pour déterminer l'activité antioxydante de chaque film, 500 µl de l'extrait ont été ajoutés à 3 ml de solution H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et incubés à 37 ° C pendant 30 min.

Après incubation, l'absorbance a été mesurée à 230 nm à l'aide du spectrophotomètre UV-visible Shimadzu 1800. Un tampon phosphate sans H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été utilisé comme solution à blanc [*Priyadarshi et al., 2018a*].

### **1.6.2 Essai de piégeage des radicaux libres DPPH**

L'activité antioxydante des films a également été estimée en étudiant leur capacité à piéger les radicaux libres DPPH ou 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle [*Siripatrawan and Harte, 2010*].

L'extrait de film a été préparé par le même procédé que celui décrit dans la section ci-dessus, avec une solution méthanolique de DPPH 0,1 mM. Pour estimer l'activité de piégeage du DPPH d'un type de film particulier, 500 µl d'extrait ont été ajoutés à 3 ml de solution de DPPH et incubés à température ambiante pendant 60 min. Après incubation, l'absorbance est mesurée à 517 nm à l'aide du spectrophotomètre UV-visible Shimadzu 1800. Le méthanol a été utilisé comme solution à blanc [*Priyadarshi et al., 2018b*].

### **1.7 Activité anti-microbienne**

L'évaluation de l'activité antimicrobienne des films a été réalisée sur des bactéries Gram positives *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) et des bactéries Gram négatives *Escherichia coli* (*E. coli*). Pour chaque souche bactérienne, les inoculums du stock ont été réanimés dans du Nutrient Broth (bouillon nutritif) et ont été incubés à 37 ° C pendant 6 h jusqu'à la phase médiane de log. Ensuite, le bouillon bactérien a été dilué en série jusqu'à ce que la concentration finale de  $10^7$  à  $10^8$  UFC/ml (unités formant colonies par millilitre) soit atteinte. Le bouillon de culture dilué a été prélevé dans un tube à essai et un film test de dimension spécifique a été coupé et immergé dans le bouillon de culture.

Des dilutions similaires ont été préparées pour chaque type de film et ont été incubées à 37 ° C pendant 4 h pour permettre l'interaction entre le film et les bactéries. Des plaques de gélose nutritive ont été préparées et après 4 h, 10 µl de la culture bactérienne des tubes à essai ont été étalés sur les plaques de gélose. Les colonies bactériennes, visibles sur les plaques après 12 h d'incubation dans des conditions similaires, ont été comptées et rapportées en termes de CFU/ml [*Priyadarshi et al., 2018b*].

### **1.8 Activité antifongique via une application d'emballage pratique**

L'efficacité d'emballage des films a été étudiée pour les tranches de pain et leur capacité à protéger le pain contre la contamination fongique a été déterminée. Des

## *Partie expérimentale*

tranches de pain de taille 2 cm x 2 cm ont été coupées et emballées dans des sachets rectangulaires souples de 10 cm de longueur et 7 cm de largeur qui ont été fabriqués à partir du film de chaque type. Une tranche de pain emballée dans une pochette en film de polyéthylène basse densité (LDPE) a servi de témoin. Les paquets de pain ainsi préparés ont été conservés à température ambiante et observés quotidiennement pour tout changement visible ou croissance fongique sur les tranches de pain sur une période de 10 jours. L'expérience a été répétée en trois exemplaires [*Priyadarshi et al., 2018b*].

## *Résultats et discussions*

## 2 Résultats et discussions

### 2.1 Composition chimique de l'huile

L'huile de noyau d'abricot a été obtenue sous la forme d'un liquide de couleur jaune pâle.

Les principaux composés présents, tels que déterminés par GC-MS, sont répertoriés dans le **tableau 7**. Il a été observé que l'acide oléique (58,25 %) est l'acide gras le plus prédominant présent dans l'huile, suivi de l'acide linoléique (18,90 %). D'autres acides gras importants comme l'acide stéarique (2,26 %) et l'acide palmitique (4,26 %) étaient également présents en quantités détectables. Ces résultats sont en accord avec les découvertes de [*Bachheti et al., 2012*].

Outre les acides gras, des composés tels que la 1-méthyl-2-pyrrolidone (7,27 %), l'iso-allocholate d'éthyle (2,08 %), l'acide 2,5-dihydrobenzoïque (2,05 %) et le p-xylène (1,12 %) ont également été détectés [*Priyadarshi et al., 2018b*].

**Tableau 7:** Liste des principaux composés présents dans HENA [*Priyadarshi et al., 2018b*].

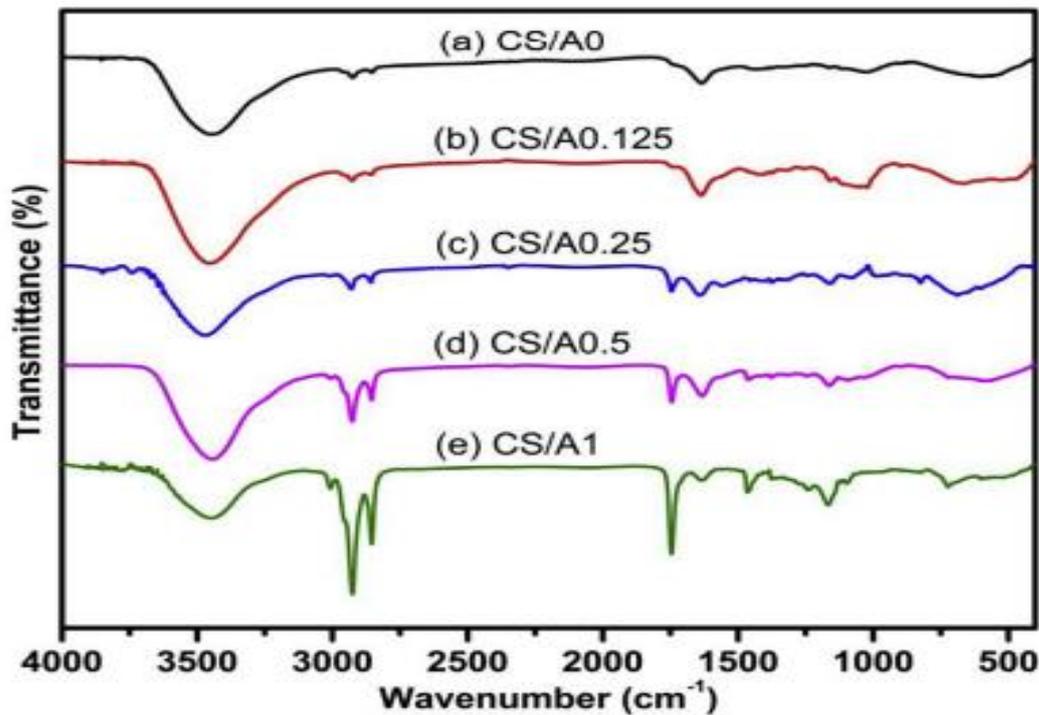
Composé	Zone de pic %
L'acide oléique	58.25
L'acide palmitique	4.26
Acide stéarique	2.26
L'acide linoléique	18.90
p-xylène	1.12
1-méthyl-2-pyrrolidone	7.27
acide 2,5-dihydroxybenzoïque	2.05
Éthyl-iso-allocholate	2.08
autres	3.80

## **2.2 Caractérisation du film**

### **2.2.1 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)**

Les spectres FT-IR du film de chitosane pur ainsi que les films de chitosane incorporés dans l'huile sont présentés à la **Figure 12**. Pour les films CS / A0, toutes les bandes caractéristiques du chitosane peuvent être vues. Une large bande d'absorption autour de 3500-3400  $\text{cm}^{-1}$  montre les vibrations d'étirement -OH et -NH tandis que celle obtenue à 1631  $\text{cm}^{-1}$  est attribuée aux vibrations amide-I d'étirement C=O. Les bandes obtenues autour de 1430-1400  $\text{cm}^{-1}$  correspondent à la flexion C-H tandis que celles obtenues à 2926  $\text{cm}^{-1}$  et 2855  $\text{cm}^{-1}$  sont dues aux vibrations d'étirement C-H, respectivement. Au fur et à mesure que la concentration d'HENA augmentait dans les films, les bandes d'absorption représentant le premier devenaient également intenses. Une forte augmentation de l'intensité des bandes de vibration d'étirement et de flexion C-H a été observée, qui était due aux liaisons C-H aliphatiques présentes dans les structures d'acides gras d'HENA.

De plus, la bande d'absorption nette à 1745  $\text{cm}^{-1}$  est devenue intense avec l'augmentation de la concentration d'HENA. Cette bande est la bande caractéristique des huiles et est attribuée aux vibrations d'étirement C=O dans les structures esters présentes dans les acides gras. Un motif de bande similaire a été observé lorsque des films de chitosane ont été incorporés à plusieurs huiles naturelles et graisses animales, ce qui indique que la plupart des huiles et graisses donnent des spectres d'absorption de la même manière. [[*Akyuz et al., 2018*] ; [*Priyadarshi et al., 2018b*]]

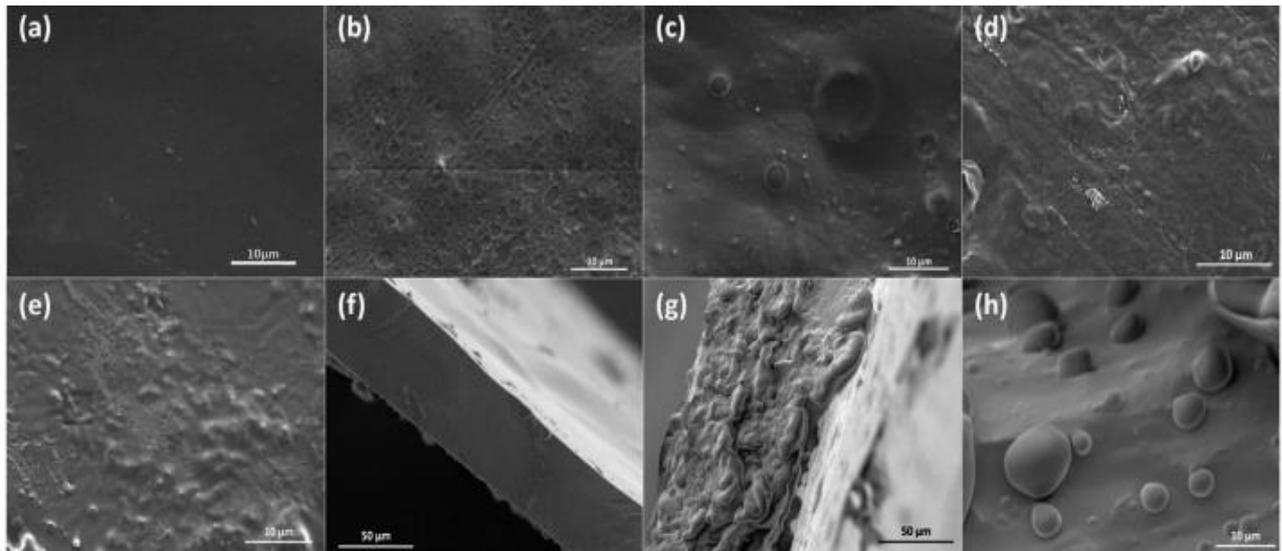


**Figure 12:** Spectres FTIR de films de chitosane purs et HENA incorporés

[Priyadarshi et al., 2018b]

Les images FE-SEM du net ainsi que HENA incorporées Les films de chitosane sont illustrés à la **Figure 13**.

- Le film de chitosane pur (**Fig.13 a et f**) présente une surface lisse et plane sans discontinuités ni fissures. Au fur et à mesure que la concentration d'HENA augmentait dans les films, un changement considérable dans la microstructure du film de chitosane a été observé.
- Pour les films CS/A0.125 (**Fig. 13b**), de petites gouttelettes d'huile sont présentes noyées dans la matrice polymère.
- Au fur et à mesure que le CS:HENA augmentait à 1:0,25 (**Fig. 13c**), la formation de gouttelettes d'huile plus grosses a été observée, ce qui peut être attribué à la fréquence accrue de collision entre les gouttelettes d'huile conduisant à une coalescence probable.
- L'image de surface (**Fig. 13e**) et l'image transversale (**Fig. 13g**) confirment la présence d'une phase huileuse presque continue dans le film CS/A1 donnant lieu à une structure quasi bicouche [Priyadarshi et al., 2018b].



**Figure 13:** Images FE-SEM montrant les morphologies de surface de (a) CS/A0, (b) CS/A0.125, (c) CS/A0.25, (d) CS/A0.5, (e) films CS/A1, images en coupe transversale de (f) CS/A0, (g) CS/A1 et (h) distribution de taille des gouttelettes d'huile dans la matrice polymère [Priyadarshi et al., 2018b] .

- Les valeurs de teneur en humidité, d'absorption d'eau, de solubilité et de l'opacité des films de chitosane purs et incorporés à l'HENA sont présentés dans **le tableau 8**.

Ces propriétés physicochimiques des films de chitosane se sont améliorées avec une concentration croissante d'HENA. La teneur en humidité et l'absorption d'eau des films ont diminué de 48% et 39%, respectivement, lorsque le rapport CS:HENA a été augmenté à 1:1. Cela peut être corrélé aux images FE-SEM et est présumé être dû à la formation d'une structure de chitosane HENA bicouche.

Cependant, la diminution de ces valeurs peuvent ne pas être uniquement dues à la formation d'une structure bicouche car les valeurs ont commencé à diminuer même à une incorporation inférieure d'HENA (CS/A0.125 et CS/A0.25) lorsque la phase huileuse continue n'a pas été atteinte.

Donc, ils ont pensé que l'incorporation d'HENA dans les films de chitosane peut également conduire à la formation de liaisons covalentes entre les groupes fonctionnels de l'huile avec celle du polymère de chitosane [Perdones et al., 2016].

Cela se traduit par une disponibilité réduite des groupes amine et hydroxyle libres du chitosane à l'eau et donc l'interaction polysaccharide-eau limitée [[*Hafsa et al., 2016*] ; [*Bourbon et al., 2011*]] . Cette affinité réduite des films de chitosane pour les molécules d'eau a également eu un effet profond sur leur solubilité dans l'eau. [*Galus and Kadzińska, 2016*]. Les films de chitosane purs se sont avérés avoir une solubilité d'environ 18 % dans l'eau, ce qui a réduit à environ 5 % pour les films CS / A1, ce qui dénote une diminution significative de 74 % de l'incorporation d'HENA égale à celle de CS.

La transparence du film est également une propriété importante des films d'emballage alimentaire lorsqu'elle est considérée du point de vue marketing du produit emballé. Cependant, dans ce cas, la transparence a montré un motif quelque peu négatif car l'opacité des films s'est avérée être augmentée de 26 % pour les films CS/A1. Des résultats similaires ont été précédemment obtenus dans plusieurs études impliquant l'incorporation de lipides dans des films biopolymères [[*Galus and Kadzińska, 2016*] ; [*Perdones et al., 2016*]].

**Tableau 8:** Propriétés physicochimiques des films [*Priyadarshi et al., 2018b*].

Type de film	Propriétés physicochimiques			
	Teneur en humidité (%)	Absorption de l'eau (%)	Solubilité (%)	Opacité (A <sub>600</sub> /mm)
CS/A0	16.21 ± 1.13 <sup>a</sup>	412.90 ± 8.94 <sup>a</sup>	18.42 ± 1.46 <sup>a</sup>	1.635 ± 0.003 <sup>a</sup>
CS/A0.125	13.95 ± 1.04 <sup>b</sup>	310.81 ± 7.52 <sup>b</sup>	12.50 ± 1.67 <sup>b</sup>	1.697 ± 0.004 <sup>b</sup>
CS/A0.25	10.25 ± 1.06 <sup>c</sup>	308.57 ± 6.83 <sup>b</sup>	8.82 ± 1.21 <sup>c</sup>	1.842 ± 0.004 <sup>c</sup>
CS/A0.5	10.00 ± 1.01 <sup>c</sup>	275.00 ± 7.11 <sup>c</sup>	6.52 ± 0.95 <sup>d</sup>	1.994 ± 0.003 <sup>d</sup>
CS/A1	8.33 ± 0.48 <sup>d</sup>	250.00 ± 6.51 <sup>d</sup>	4.76 ± 1.03 <sup>d</sup>	2.065 ± 0.004 <sup>e</sup>

- Les valeurs WVTR et WVP du chitosane pur et des films de chitosane incorporés HENA sont présentées dans le tableau 9.

Les propriétés de barrière à la vapeur d'eau s'améliorent lorsque le pourcentage d'incorporation d'huile dans les films de chitosane est augmenté. Pour le rapport CS:HENA 1:1, une diminution d'environ 41 % est obtenue pour les valeurs WVTR et WVP. Il a été rapporté que le rapport des constituants hydrophiles et hydrophobes dans le film est responsable de ses propriétés de barrière à la vapeur d'eau.

Lorsque des huiles sont ajoutées aux films constitués de matrices polymères hydrophiles, les constituants hydrophobes sont augmentés et conduisent ainsi à des propriétés barrières renforcées [Atarés and Chiralt, 2016]. Des résultats similaires ont été obtenus dans une autre étude menée sur un film de chitosane incorporé à des huiles essentielles de cannelle [Ojagh et al., 2010]. Cependant, étant donné que les huiles essentielles sont des mélanges de différents constituants chimiques, l'hydrophobicité varie pour différents types d'huiles essentielles, affectant ainsi leur efficacité en tant que dépresseurs de vapeur d'eau [[Atarés and Chiralt, 2016] ; [Priyadarshi et al., 2018b]].

**Tableau 9:** Barrière à la vapeur d'eau de film de chitosane pur et modifié [Priyadarshi et al., 2018b].

Type de film	Propriétés barrière à la vapeur d'eau	
	WVTR ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	WVP ( $\times 10^{12} \text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ )
CS/A0	$1394 \pm 47^a$	$6.34 \pm 0.51^a$
CS/A0.125	$1301 \pm 34^b$	$5.56 \pm 0.24^b$
CS/A0.25	$1225 \pm 23^c$	$5.37 \pm 0.36^b$
CS/A0.5	$879 \pm 20^d$	$3.41 \pm 0.18^c$
CS/A1	$821 \pm 31^e$	$3.03 \pm 0.11^d$

### 2.3 Activité antioxydante

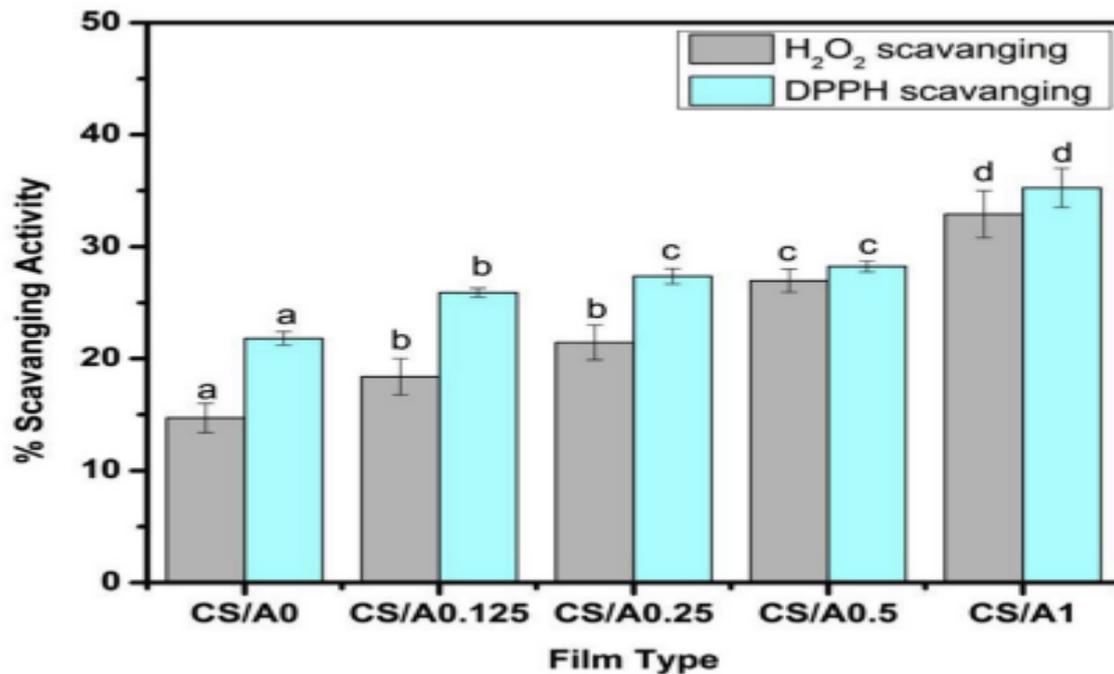
HENA sert d'antioxydant naturel lorsqu'il est incorporé dans les films d'emballage et cette propriété a été confirmée en effectuant des tests de peroxyde d'hydrogène ainsi

que de piégeage du DPPH. Les activités de piégeage des films de chitosane avec et sans HENA incorporé sont étudiées et présentées à la **Figure 14** [*Priyadarshi et al., 2018b*].

Avec l'augmentation de la concentration d'HENA, l'activité antioxydante du film augmente contre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et DPPH. Dans les deux cas, le film CS/A0 montre une certaine activité antioxydante qui est attribuée à la réaction entre les groupes -NH<sub>2</sub> libres du chitosane et les radicaux libres pour former des radicaux macromoléculaires stables [*Yen et al., 2008*].

Cependant, l'effet antioxydant des films de chitosane incorporés dans HENA est supposé être dû à la présence de N-méthyl-2-pyrrolidone (NMP) dans HENA qui présente une activité antioxydante (**voir Tableau 7**). L'activité de piégeage de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> des films de chitosane purs a été observée à 14,7 %, ce qui a augmenté de 18,4 % à 32,9 % avec l'augmentation du rapport HENA de 0,125 à 1 par rapport à CS. Bien que le peroxyde d'hydrogène ne soit pas lui-même un radical libre, c'est un agent oxydant puissant et peut produire des radicaux libres hydroxyle hautement réactifs. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> peut facilement traverser les membranes cellulaires et entraîner une cytotoxicité conduisant à l'oxydation des aliments frais. Ainsi, l'élimination du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> du contact alimentaire devient une partie essentielle de l'emballage alimentaire [*Nabavi et al., 2008*].

D'autre part, les films de chitosane purs ont montré une activité de piégeage du DPPH de 21,8 % qui est passée de 25,9 % à 35,3 % avec l'augmentation du rapport HENA de 0,125 à 1 par rapport au CS [*Priyadarshi et al., 2018b*].



**Figure 14:** Activité antioxydante des films de chitosane pur et modifié. Des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes ( $p < 0,05$ ) [Priyadarshi *et al.*, 2018b] .

#### 2.4 Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne du chitosane pur et HENA incorporé films a été étudiée sur des bactéries Gram positives, telles que *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), et sur des bactéries Gram négatives, telles que *Escherichia coli* (*E. coli*).

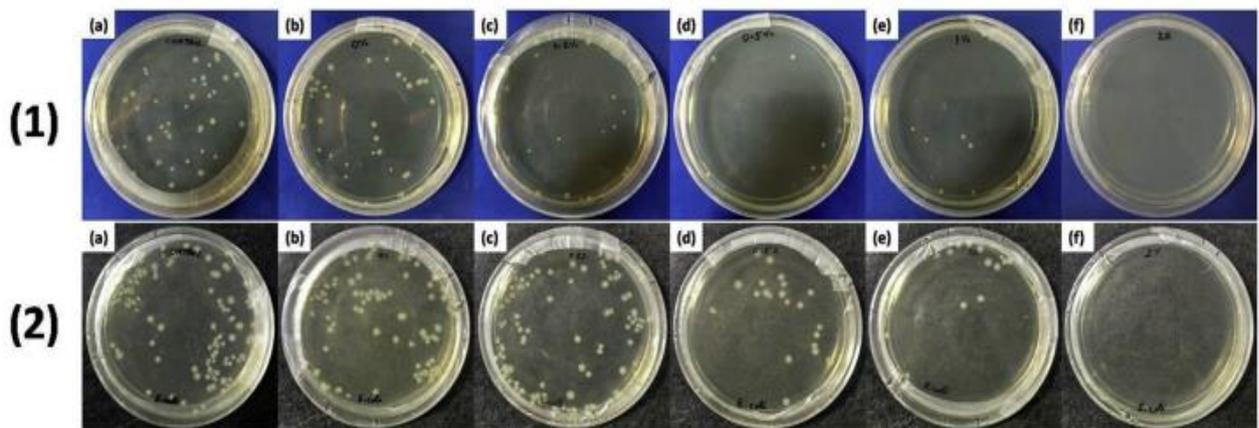
Sur la figure 15 la croissance bactérienne, dans les deux cas, est retardée à mesure que la concentration d'HENA dans les films de chitosane augmente.

L'activité antibactérienne est exprimée en termes d'unités formant colonies par millilitre (UFC/ml) sur la figure 16 qui montre la population bactérienne après une période d'incubation de 4 h. Il a été observé que l'interaction du film CS/A0 entraînait des populations de *B. subtilis* et *E. coli* de  $3,5 \times 10^9$  UFC/ml et  $10,1 \times 10^9$  UFC/ml, respectivement, qui étaient réduites à  $0,8 \times 10^9$  UFC/ml et  $1,6 \times 10^9$  UFC/ml, respectivement, pour le film CS/A0.5. La croissance bactérienne est finalement inhibée pour CS/A1 et aucune colonie bactérienne viable n'a été observée à cette concentration (Fig. 15). La réduction de la population bactérienne lors de l'interaction avec les films

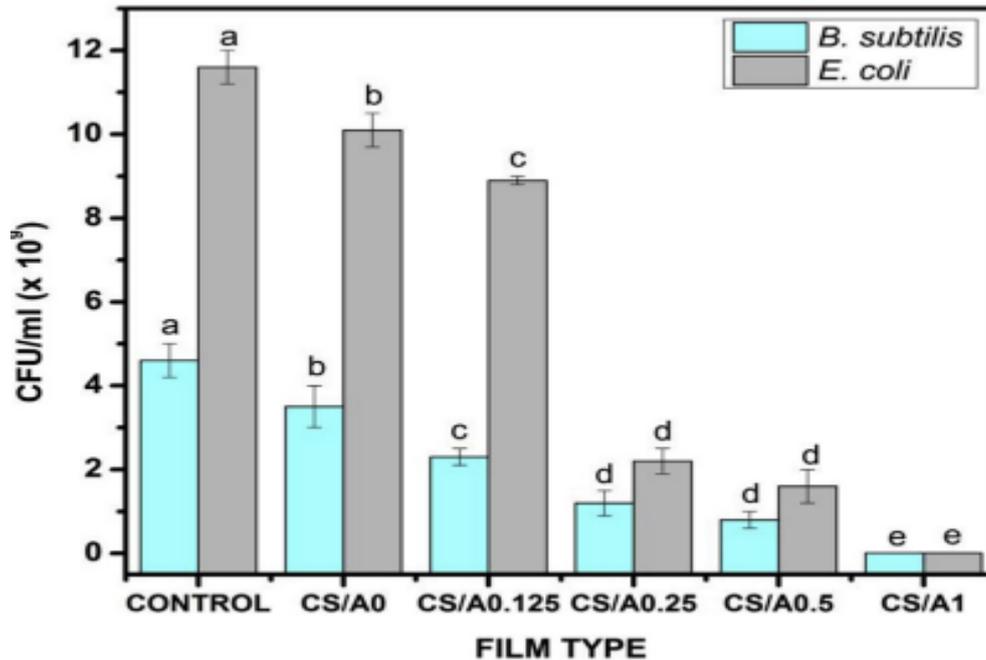
incorporés HENA est supposée être due à la présence de NMP dans HENA qui est antibactérien par nature [Priyadarshi et al., 2018b] .

La NMP interagit avec la bactérie membranes et dissout les lipides membranaires entraînant une désintégration de la membrane et une fuite de fluides intracellulaires et, par conséquent, la mort des cellules bactériennes [Phaechamud et al., 2012].

Cependant, l'activité antimicrobienne est également présentée par des films de chitosane purs, ce qui est attribué aux groupes amines présents dans la chaîne de chitosane. Ces groupes amines libres sont protonés pour former  $\text{NH}_3^+$  et interagissent avec les groupes phosphate chargés négativement présents sur la membrane cellulaire bactérienne conduisant à sa perturbation entraînant la mort des cellules bactériennes [[Mural et al., 2016] ; [Priyadarshi and Negi, 2017]].



**Figure 15:** Nombre total de colonies bactériennes de *B. subtilis* (1) et *E. coli* (2), pour le contrôle (a), CS/A0 (b), CS/A0.125 (c), CS/A0.25 (d), CS/A0.5 (e) et CS/A1 (f) [Priyadarshi et al., 2018b] .



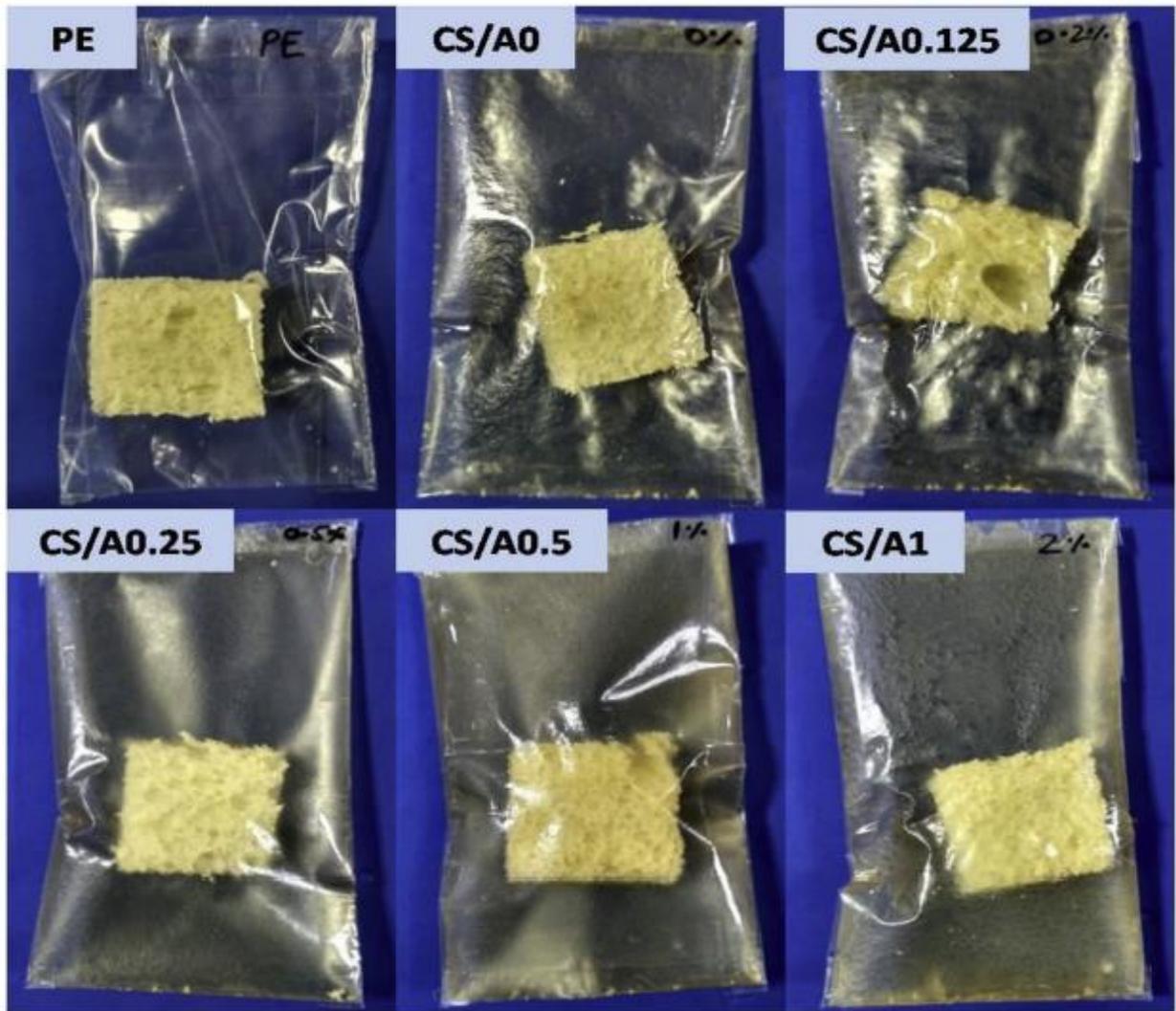
**Figure 16:** Graphique à barres montrant la croissance bactérienne en UFC/ml pour *B. subtilis* et *E. coli* exposés à différentes concentrations de film. Des lettres différentes indiquent des valeurs significativement différentes ( $p < 0,05$ ) [Priyadarshi et al., 2018b].

### 2.5 Activité antifongique via une application d'emballage pratique

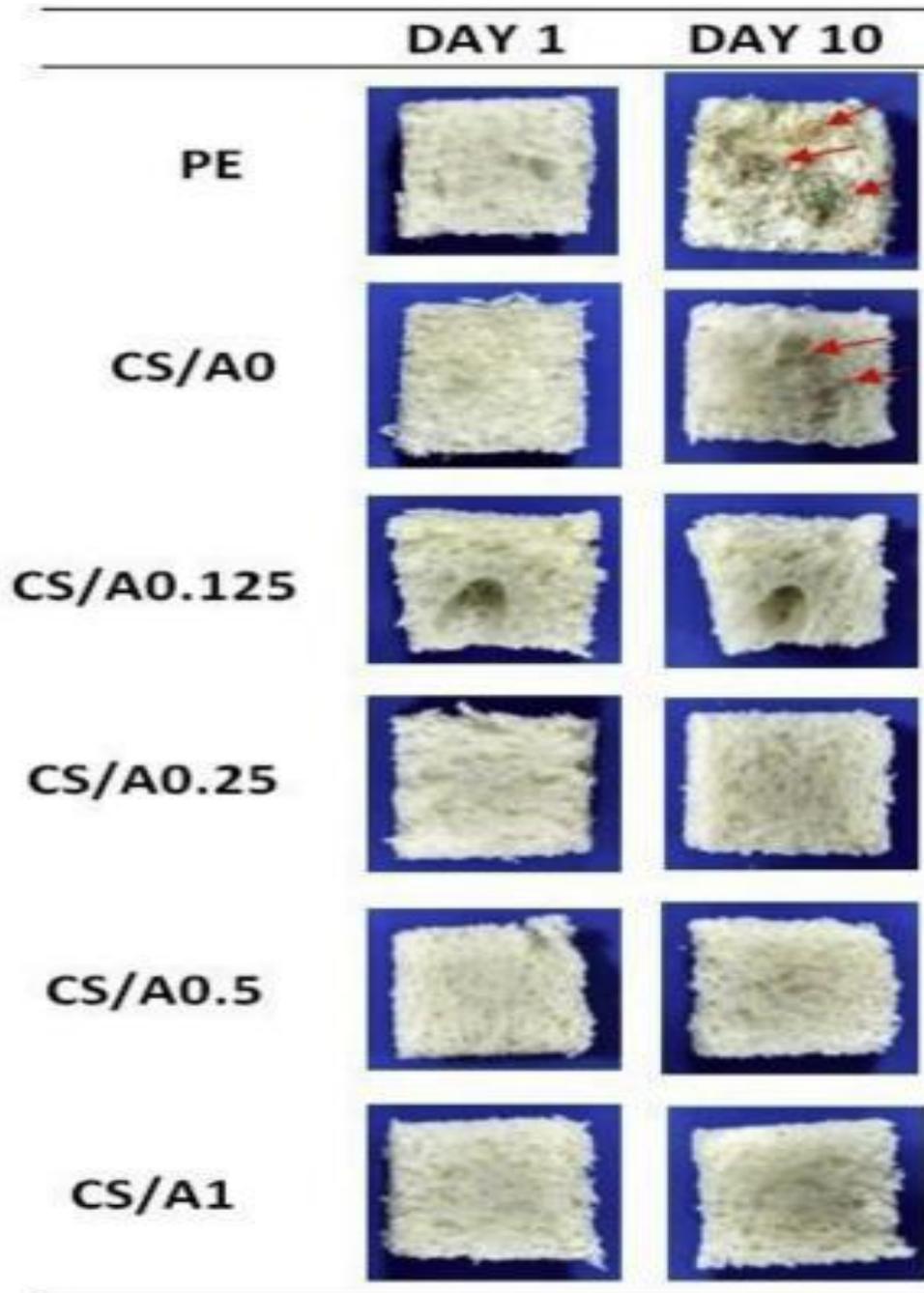
Le pain est un produit de courte durée de conservation et est vulnérable aux champignons détérioration, principalement due à *Rhizopus stolonifer*, communément appelée moisissure du pain. La capacité pratique d'emballage alimentaire des sachets de film de chitosane préparés a été étudiée en emballant des tranches de pain comme illustré à la **Figure 17**.

Les tranches de pain ont été observées régulièrement pour les changements morphologiques et la croissance fongique possible sur une période de 10 jours et les résultats sont présentés à la **Figure 18**. Il a été observé que les sachets en LDPE ne pouvaient pas protéger le pain contre la détérioration fongique et le pain emballé à l'intérieur présentait une croissance fongique importante le 10ème jour. Le cas était similaire avec le pain emballé dans une pochette de film de chitosane pur, néanmoins, la croissance fongique était inférieure à celle du LDPE.

Pas de champignon une croissance a été observée sur des pains emballés dans l'un des sachets constitués de films de chitosan-HENA, montrant leur activité antifongique même à une concentration d'HENA aussi faible que pour le film CS/A0.125 [Priyadarshi et al., 2018b] .



**Figure 17:** Photographie montrant l'emballage de tranches de pain dans des sachets fabriqués à partir de films de chitosane pur et modifié [Priyadarshi et al., 2018b] .



**Figure 18:** Amélioration de la durée de conservation du pain et inhibition de la croissance fongique par des films de chitosane modifiés. La croissance fongique dans les pains emballés dans des films PE et CS/A0 est indiquée par des flèches [Priyadarshi et al., 2018b] .

# *Conclusion*

## Conclusion générale

Les nombreuses propriétés naturelles des huiles essentielles en font des ingrédients nutritionnels et conservateurs très prometteurs dans l'industrie alimentaire. Chaque huile essentielle a une activité spécifique différente, selon les microorganismes et les conditions environnementales, ce qui rend difficile la généralisation de leurs effets antibactériens à tous les aliments. Cependant, face à un risque particulier de contamination ou lorsque les conservateurs chimiques ou synthétiques doivent être réduits ou remplacés, l'utilisation des huiles essentielles s'est révélée être une option pertinente.

En outre, contrairement à certains additifs comme le sel ou les épices entières, les HEs sont utilisés de manière très efficace, de sorte qu'ils peuvent être utilisés en petites quantités. Leur utilisation, combinée à d'autres procédés de conservation, en fera sûrement un agent antibactérien naturel essentiel pour prolonger la durée de conservation des aliments pour les années à venir. De plus, l'ajout d'huiles essentielles aux aliments peut leur donner une valeur nutritive.

Cette étude, nous a montré que les propriétés d'emballage alimentaire des films de chitosane ont augmenté avec l'incorporation d'huile essentielle de noyau d'abricot. Les films de chitosane-HENA ont non seulement montré une meilleure activité antioxydante, mais ont également montré une activité antibactérienne significative contre *Escherichia coli* Gram négatif et *Bacillus subtilis* Gram positif. Les films se sont également avérés efficaces pour inhiber la croissance fongique sur le pain, augmentant ainsi sa durée de conservation.

Pour l'essentiel, les propriétés des films de chitosane ont été positivement affectées par l'ajout d'HENA et ont indiqué leur grand potentiel d'application commerciale en tant que matériaux d'emballage alimentaire actifs dans un avenir proche.

## Références

- Adelakun, O. E., O. J. Oyelade, and B. F. Olanipekun (2016)**, Use of essential oils in food preservation, in *Essential oils in food preservation, flavor and safety*, edited, pp. 71-84, Elsevier.
- Adlard, E. (2010)**, Handbook of essential oils. Science, technology and applications, edited, Springer.
- Akyuz, L., M. Kaya, S. Ilk, Y. S. Cakmak, A. M. Salaberria, J. Labidi, B. A. Yilmaz, and I. Sargin (2018)**, Effect of different animal fat and plant oil additives on physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films, *International journal of biological macromolecules*, 111, 475-484.
- Amina, S. S. D. (2021)**, Evaluation de l'activité antioxydante de quelques huiles essentielles en vue de leur utilisation comme agent naturel conservateur et aromatique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- Appert, N. (1810)**, *L'art de conserver pendant plusieurs années toutes les substances animales et végétales*, Patris et cie.
- Aprotosoia, A. C., A. Spac, M. Hancianu, A. Miron, V. F. Tanasescu, V. Dorneanu, and U. Stanescu (2010)**, The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (*Foeniculum vulgare* Mill.), *Farmacia*, 58(1), 46-53.
- Atarés, L., and A. Chiralt (2016)**, Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging, *Trends in food science & technology*, 48, 51-62.
- Bachheti, R., I. Rai, A. Joshi, and V. Rana (2012)**, Physico-chemical study of seed oil of *Prunus armeniaca* L. grown in Garhwal region (India) and its comparison with some conventional food oils.
- Barrau, J., and A. Peeters (1972)**, Histoire et préhistoire de la préparation des aliments d'origine végétale, les techniques d'utilisation de ces aliments chez les cueilleurs et les cultivateurs archaïques de l'Australasie, *Journal de la Société des Oceanistes*, 28(35), 141-152.
- Batiha, G. E.-S., D. E. Hussein, A. M. Algammal, T. T. George, P. Jeandet, A. E. Al-Snafi, A. Tiwari, J. P. Pagnossa, C. M. Lima, and N. D. Thorat (2021)**,

Application of natural antimicrobials in food preservation: Recent views, *Food Control*, 126, 108066.

**Ben Miri, Y. (2019)**, Etude du potentiel antifongique, antiaflatoxinogène et antioxydant de certaines huiles essentielles et leur efficacité dans le système alimentaire, Université Mouloud MAMMERI.

**Benner Jr, R. (2014)**, Organisms of concern but not foodborne or confirmed foodborne: Spoilage microorganisms.

**Besombes, C. (2008)**, Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermo-mécanique d'herbes aromatiques: applications généralisées, Université de La Rochelle.

**Bevilacqua, A., M. R. Corbo, and M. Sinigaglia (2010)**, *Application of alternative food-preservation technologies to enhance food safety and stability*, Bentham Science Publishers.

**Boudeka, H., A. Boukazia, and A. E. BENAIDJA (2021)**, L'utilisation de rayonnement gamma pour la conservation de la matière biologique, Université de jijel. Bouguerra, A. Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de foeniculum vulgare Mill.

**Bourbon, A. I., A. C. Pinheiro, M. A. Cerqueira, C. M. Rocha, M. C. Avides, M. A. Quintas, and A. A. Vicente (2011)**, Physico-chemical characterization of chitosan-based edible films incorporating bioactive compounds of different molecular weight, *Journal of food Engineering*, 106(2), 111-118.

**Bourdeau, L. (1894)**, *Histoire de l'alimentation*, Alcan.

**Bousbia, N. (2011)**, Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires, Université d'Avignon.

**Bousbia, N., M. A. Vian, M. A. Ferhat, B. Y. Meklati, and F. Chemat (2009)**, A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity, *Journal of food Engineering*, 90(3), 409-413.

**BOUZIDI, N. (2016)**, Etude des activités biologiques de l'huile essentielle de l'armoise blanche «Artemisia herba alba Asso».

**Boz, I., I. Burzo, M.-M. Zamfirache, C. Toma, and C. Padurariu (2009)**, Glandular trichomes and essential oil composition of *Thymus pannonicus* All.(Lamiaceae), *An. Univ. Oradea. Fasc. Biol.*, 16(2), 36-39.

**Branen, J. K., and P. M. Davidson (2004)**, Enhancement of nisin, lysozyme, and monolaurin antimicrobial activities by ethylenediaminetetraacetic acid and lactoferrin, *International journal of food microbiology*, 90(1), 63-74.

**Burt, S. (2004)**, Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review, *International journal of food microbiology*, 94(3), 223-253.

**Caillet, S., and M. Lacroix (2007)**, Les huiles essentielles: leurs propriétés antimicrobiennes et leurs applications potentielles en alimentaire, *INRS-Institut Armand-Frappier, RESALA*, 1-8.

**Cameron, M., L. D. McMaster, and T. J. Britz (2009)**, Impact of ultrasound on dairy spoilage microbes and milk components, *Dairy Science & Technology*, 89(1), 83-98.

**Chamorro, E. R., S. N. Zambón, W. G. Morales, A. F. Sequeira, and G. A. Velasco (2012)**, Study of the chemical composition of essential oils by gas chromatography, *Gas chromatography in plant science, wine technology, toxicology and some specific applications*, 1, 307-324.

**Chen, F., Y. Sun, G. Zhao, X. Liao, X. Hu, J. Wu, and Z. Wang (2007)**, Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using high-performance liquid chromatography–mass spectrometry, *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(6), 767-778.

**Couic-Marinier, F., and A. Lobstein (2013)**, Composition chimique des huiles essentielles, *Actualités pharmaceutiques*, 52(525), 22-25.

**da Silva, B. D., P. C. Bernardes, P. F. Pinheiro, E. Fantuzzi, and C. D. Roberto (2021)**, Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: Natural preservative and limitations of use in meat products, *Meat Science*, 176, 108463.

**De Oliveira, T. L. C., R. de Araújo Soares, E. M. Ramos, M. das Graças Cardoso, E. Alves, and R. H. Piccoli (2011)**, Antimicrobial activity of *Satureja montana* L. essential oil against *Clostridium perfringens* type A inoculated in mortadella-type

sausages formulated with different levels of sodium nitrite, *International journal of food microbiology*, 144(3), 546-555.

**Dongmo, P. J., F. Tchoumboungang, B. Ndongson, W. Agwanande, B. Sandjon, P. A. Zollo, and C. Menut (2010)**, Chemical characterization, antiradical, antioxidant and anti-inflammatory potential of the essential oils of *Canarium schweinfurthii* and *Aucoumea klaineana* (Burseraceae) growing in Cameroon, *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1(4), 606-611.

**Fahim, M., M. Ibrahim, S. Zahiruddin, R. Parveen, W. Khan, S. Ahmad, B. Shrivastava, and A. Shrivastava (2019)**, TLC-bioautography identification and GC-MS analysis of antimicrobial and antioxidant active compounds in *Musa* × *paradisiaca* L. fruit pulp essential oil, *Phytochemical Analysis*, 30(3), 332-345.

**Falleh, H., M. B. Jemaa, M. Saada, and R. Ksouri (2020)**, Essential oils: A promising eco-friendly food preservative, *Food chemistry*, 330, 127268.

**Galus, S., and J. Kadzińska (2016)**, Whey protein edible films modified with almond and walnut oils, *Food Hydrocolloids*, 52, 78-86.

**Gálvez, A., H. Abriouel, R. L. López, and N. B. Omar (2007)**, Bacteriocin-based strategies for food biopreservation, *International journal of food microbiology*, 120(1-2), 51-70.

**Gram, L., L. Ravn, M. Rasch, J. B. Bruhn, A. B. Christensen, and M. Givskov (2002)**, Food spoilage—interactions between food spoilage bacteria, *International journal of food microbiology*, 78(1-2), 79-97.

**Gutiérrez-del-Río, I., J. Fernández, and F. Lombó (2018)**, Plant nutraceuticals as antimicrobial agents in food preservation: Terpenoids, polyphenols and thiols, *International journal of antimicrobial agents*, 52(3), 309-315.

**Hadizadeh, I., B. Peivastegan, and H. Hamzehzarghani (2009)**, Antifungal activity of essential oils from some medicinal plants of Iran against *Alternaria alternate*, *American Journal of Applied Sciences*, 6(5), 857.

**Hafsa, J., M. ali Smach, M. R. B. Khedher, B. Charfeddine, K. Limem, H. Majdoub, and S. Rouatbi (2016)**, Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing *Eucalyptus globulus* essential oil, *LWT-Food Science and Technology*, 68, 356-364.

Haouli Bouziani Hocine, C. S. Application de quelques extraits de plantes medicinales dans la conservation des denrées alimentaires.

**Hsouna, A. B., M. Trigui, R. B. Mansour, R. M. Jarraya, M. Damak, and S. Jaoua (2011)**, Chemical composition, cytotoxicity effect and antimicrobial activity of Ceratonia siliqua essential oil with preservative effects against Listeria inoculated in minced beef meat, *International journal of food microbiology*, 148(1), 66-72.

**Hussain, A. I., F. Anwar, S. A. S. Chatha, A. Jabbar, S. Mahboob, and P. S. Nigam (2010)**, Rosmarinus officinalis essential oil: antiproliferative, antioxidant and antibacterial activities, *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(4), 1070-1078.

**in't Veld, J. H. H. (1996)**, Microbial and biochemical spoilage of foods: an overview, *International journal of food microbiology*, 33(1), 1-18.

**Joardder, M. U., and M. H. Masud (2019)**, Food preservation techniques in developing countries, in *Food Preservation in Developing Countries: Challenges and Solutions*, edited, pp. 67-125, Springer.

**Ju, J., C. Wang, Y. Qiao, D. Li, and W. Li (2017)**, Effects of tea polyphenol combined with nisin on the quality of weever (*Lateolabrax japonicus*) in the initial stage of fresh-frozen or chilled storage state, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26(5), 543-552.

**Ju, J., Y. Xie, Y. Guo, Y. Cheng, H. Qian, and W. Yao (2019)**, The inhibitory effect of plant essential oils on foodborne pathogenic bacteria in food, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(20), 3281-3292.

**Kalaycıoğlu, Z., E. Torlak, G. Akın-Evingür, İ. Özen, and F. B. Erim (2017)**, Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract, *International journal of biological macromolecules*, 101, 882-888.

**Katz, T. M., J. H. Miller, and A. A. Hebert (2008)**, Insect repellents: historical perspectives and new developments, *Journal of the American Academy of Dermatology*, 58(5), 865-871.

**Khorram, F., and A. Ramezani (2021)**, Cinnamon essential oil incorporated in shellac, a novel bio-product to maintain quality of 'Thomson navel' orange fruit, *Journal of Food Science and Technology*, 58(8), 2963-2972.

**Lamia, C. (2013)**, Evaluation de l'effet antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles de 5 plantes aromatiques et médicinales du Maroc et évaluation de leurs effets combinés avec des méthodes de conservation alimentaire.

**Laranjo, M., A. M. Fernandez-Leon, M. Potes, A. Agulheiro-Santos, and M. Elias (2017)**, Use of essential oils in food preservation.

**Laranjo, M., A. M. Fernández-León, A. C. Agulheiro-Santos, M. E. Potes, and M. Elias (2019)**, Essential oils of aromatic and medicinal plants play a role in food safety, *Journal of Food Processing and Preservation*, e14278.

**Laurent, C. (1986)**, Le froid, auxiliaire déterminant de conservation des aliments, *Culture technique*.

**Leuschner, R. G., and V. Ielsch (2003)**, Antimicrobial effects of garlic, clove and red hot chilli on *Listeria monocytogenes* in broth model systems and soft cheese, *International journal of food sciences and nutrition*, 54(2), 127-133.

**Li, A.-N., S. Li, Y.-J. Zhang, X.-R. Xu, Y.-M. Chen, and H.-B. Li (2014)**, Resources and biological activities of natural polyphenols, *Nutrients*, 6(12), 6020-6047.

**Liu, R. H. (2013)**, Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet, *Advances in nutrition*, 4(3), 384S-392S.

**Lucchesi, M.-E. (2005)**, Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles, Université de la Réunion.

**Maas-van Berkel, B., B. Van den Boogaard, and C. Heijnen (2005)**, *La conservation du poisson et de la viande*, Agromisa Foundation.

**Mahmoudi, R., P. Zare, and S. Nosratpour (2015)**, Application of *Teucrium polium* essential oil and *Lactobacillus casei* in yoghurt, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(2), 477-481.

**Mendonca, A., A. Jackson-Davis, R. Moutiq, and E. Thomas-Popo (2018)**, Use of natural antimicrobials of plant origin to improve the microbiological safety of foods, in *Food and feed safety systems and analysis*, edited, pp. 249-272, Elsevier.

**Merrad, S. (2020)**, État de l'art sur la conservation d'aliments par fermentation: Focus sur les aliments solides, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.

**MESSAOUDI, R., H. BAADI, and S. MANAA (2021)**, ETUDE THEORIQUE DU SECHAGE SOLAIRE DIRECTE, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.

- Mnayer, D. (2014)**, Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens, Université d'Avignon.
- Mural, P. K. S., B. Kumar, G. Madras, and S. Bose (2016)**, Chitosan immobilized porous polyolefin as sustainable and efficient antibacterial membranes, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(3), 862-870.
- Murielle, M. (2009)**, Nutrition humaine et securite alimentaire, *Edition Lavoisier. Isbn*, 987-982.
- Nabavi, S., M. Ebrahimzadeh, S. Nabavi, A. Hamidinia, and A. Bekhradnia (2008)**, Determination of antioxidant activity, phenol and flavonoids content of *Parrotia persica* Mey, *Pharmacologyonline*, 2(9), 560-567.
- Ojagh, S. M., M. Rezaei, S. H. Razavi, and S. M. H. Hosseini (2010)**, Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout, *Food chemistry*, 120(1), 193-198.
- Olle, M., I. Bender, and R. Koppe (2010)**, The content of oils in umbelliferous crops and its formation, *Agronomy Research*, 8(3), 687-696.
- Pandey, A. K., P. Kumar, P. Singh, N. N. Tripathi, and V. K. Bajpai (2017)**, Essential oils: Sources of antimicrobials and food preservatives, *Frontiers in microbiology*, 7, 2161.
- Pavoni, L., D. R. Perinelli, G. Bonacucina, M. Cespi, and G. F. Palmieri (2020)**, An overview of micro-and nanoemulsions as vehicles for essential oils: Formulation, preparation and stability, *Nanomaterials*, 10(1), 135.
- Perdones, Á., A. Chiralt, and M. Vargas (2016)**, Properties of film-forming dispersions and films based on chitosan containing basil or thyme essential oil, *Food Hydrocolloids*, 57, 271-279.
- Petruzzi, L., M. R. Corbo, M. Sinigaglia, and A. Bevilacqua (2017)**, Microbial spoilage of foods: Fundamentals, in *The microbiological quality of food*, edited, pp. 1-21, Elsevier.
- Phaechamud, T., J. Mahadlek, J. Charoenteeraboon, and S. Choopun (2012)**, Characterization and antimicrobial activity of N-methyl-2-pyrrolidone-loaded ethylene

oxide-propylene oxide block copolymer thermosensitive gel, *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 74(6), 498.

**Piochon, M. (2008)**, *Étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne: composition chimique, activités pharmacologiques et hémi-synthèse*, Université du Québec à Chicoutimi.

**Priyadarshi, R., and Y. S. Negi (2017)**, Effect of varying filler concentration on zinc oxide nanoparticle embedded chitosan films as potential food packaging material, *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1087-1098.

**Priyadarshi, R., B. Kumar, and Y. S. Negi (2018a)**, Chitosan film incorporated with citric acid and glycerol as an active packaging material for extension of green chilli shelf life, *Carbohydrate polymers*, 195, 329-338.

**Priyadarshi, R., B. Kumar, F. Deeba, A. Kulshreshtha, and Y. S. Negi (2018b)**, Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as active food packaging material, *Food Hydrocolloids*, 85, 158-166.

**Prokopov, T., and S. Tanchev (2007)**, Methods of food preservation, in *Food safety*, edited, pp. 3-25, Springer.

**Quinto, E. J., I. Caro, L. H. Villalobos-Delgado, J. Mateo, B. De-Mateo-Silleras, and M. P. Redondo-Del-Río (2019)**, Food safety through natural antimicrobials, *Antibiotics*, 8(4), 208.

**RAHMAN, M. S. (1999)**, Purpose of Food Preservation and, *Handbook of food preservation*, 1.

**Rahman, M. S. (2007)**, *Handbook of food preservation*, CRC press.

**Rawat, S. (2015)**, Food Spoilage: Microorganisms and their prevention, *Asian journal of plant science and Research*, 5(4), 47-56.

**Remenant, B., E. Jaffrès, X. Dousset, M.-F. Pilet, and M. Zagorec (2015)**, Bacterial spoilers of food: behavior, fitness and functional properties, *Food microbiology*, 45, 45-53.

**Ren, L., X. Yan, J. Zhou, J. Tong, and X. Su (2017)**, Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan films, *International journal of biological macromolecules*, 105, 1636-1643.

**Rhayour, K. (2002)**, Etude du mécanisme de l'action bactéricide des huiles essentielles sur *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* et sur *Mycobacterium phlei* et *Mycobacterium fortuitum*.

**Rios, J.-L. (2016)**, Essential oils: What they are and how the terms are used and defined, in *Essential oils in food preservation, flavor and Safety*, edited, pp. 3-10, Elsevier.

**Roller, S., and P. Seedhar (2002)**, Carvacrol and cinnamic acid inhibit microbial growth in fresh-cut melon and kiwifruit at 4 and 8 C, *Letters in Applied Microbiology*, 35(5), 390-394.

**Rosset, P., A. Beaufort, M. Cornu, and G. Poumeyrol (2002)**, La chaîne du froid en agroalimentaire, *Cahier de Nutrition et de Diététique*, 37(2), 124-130.

**Sadaka, F., C. Ngumjeu, C.-H. Brachais, I. Vroman, L. Tighzert, and J.-P. Couvercelle (2013)**, RETRACTION: Review on antimicrobial packaging containing essential oils and their active biomolecules.

**Saeed, F., M. Afzaal, T. Tufail, and A. Ahmad (2019)**, Use of natural antimicrobial agents: a safe preservation approach, *Active antimicrobial food packaging*, 18(0).

**Sahraoui, N., M. A. Vian, I. Bornard, C. Boutekedjiret, and F. Chemat (2008)**, Improved microwave steam distillation apparatus for isolation of essential oils: Comparison with conventional steam distillation, *Journal of Chromatography A*, 1210(2), 229-233.

**Sarıçoban, C., and M. T. Yilmaz (2014)**, Effect of thyme/cumin essential oils and butylated hydroxyl anisole/butylated hydroxyl toluene on physicochemical properties and oxidative/microbial stability of chicken patties, *Poultry science*, 93(2), 456-463.

**Sili, Z., and N. Benfedda (2017)**, Effet antioxydant et antibactérien de l'huile essentielle de l'origanum compactum sur la conservation de la saucisse, Université Mouloud Mammeri.

**Silva, M. M., and F. Lidon (2016)**, Food preservatives—An overview on applications and side effects, *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 366-373.

**Siripatrawan, U., and B. R. Harte (2010)**, Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract, *Food Hydrocolloids*, 24(8), 770-775.

**Smith, C. K., C. A. Moore, E. N. Elahi, A. T. Smart, and S. A. Hotchkiss (2000)**, Human skin absorption and metabolism of the contact allergens, cinnamic aldehyde, and cinnamic alcohol, *Toxicology and applied pharmacology*, 168(3), 189-199.

**Sridhar, A., M. Ponnuchamy, P. S. Kumar, and A. Kapoor (2021)**, Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review, *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1715-1735.

**Stratakos, A. C., and A. Koidis (2016)**, Methods for extracting essential oils, in *Essential oils in food preservation, flavor and safety*, edited, pp. 31-38, Elsevier.

**Svoboda, K. P., and T. G. Svoboda (2000)**, Secretory structures of aromatic and medicinal plants: a review and atlas of micrographs.

**Tongnuanchan, P., and S. Benjakul (2014)**, Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation, *Journal of food science*, 79(7), R1231-R1249.

Touboul, A. (2021), Précautions et sécurité d'emploi des huiles essentielles, *Actualités Pharmaceutiques*, 60(604), S17-S19.

**van Kooij, J.** La conservation des aliments par irradiation, *AIEA Bulletin*, 23(3), 33-36.

**Vilkhu, K., R. Mawson, L. Simons, and D. Bates (2008)**, Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry—A review, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2), 161-169.

**Yen, M.-T., J.-H. Yang, and J.-L. Mau (2008)**, Antioxidant properties of chitosan from crab shells, *Carbohydrate polymers*, 74(4), 840-844.

# Annexes



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Food Hydrocolloids

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foodhyd](http://www.elsevier.com/locate/foodhyd)



### Chitosan films incorporated with Apricot (*Prunus armeniaca*) kernel essential oil as active food packaging material



Ruchir Priyadarshi<sup>a</sup>, Sauraj<sup>a</sup>, Bijender Kumar<sup>a</sup>, Farha Deebe<sup>a</sup>, Anurag Kulshreshtha<sup>b</sup>,  
Yuvraj Singh Negi<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Polymer and Process Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee, Saharanpur Campus, Saharanpur, 247001, U.P., India

<sup>b</sup> Department of Paper Technology, Indian Institute of Technology Roorkee, Saharanpur Campus, Saharanpur, 247001, U.P., India

وفقاً لمنظمة الصحة العالمية، يمرض 2 مليار شخص حول العالم كل عام بسبب الطعام غير الصحي. اليوم، هناك طلب متزايد على المواد الحافظة الآمنة والطبيعية في صناعة الأغذية. من بين هذه المركبات الطبيعية ذات النشاط المضاد للبكتيريا، الزيوت الأساسية. الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة تحليلية تستند إلى مقال حول تأثير دمج الزيوت الأساسية المستخرجة من حبوب المشمش (*Prunus armeniaca*) في أغشية الشيتوزان بتركيزات مختلفة. تمت دراسة هذه الأفلام المعدلة لخصائصها الفيزيائية الكيميائية والوظيفية مقارنة بأغشية الشيتوزان النقية من وجهة نظر تغليف الطعام. في هذه الدراسة، الأغشية المعدلة لديها مقاومة أفضل للمياه؛ الرطوبة وخاصة حاجز بخار الماء المحسنة بنسبة 41٪ عندما يكون تركيز الفيلم المعدل 1:1 كما أظهرت خصائص ممتازة لمضادات الميكروبات ومضادات الأكسدة مقارنة بأغشية الشيتوزان النقية. وتمكنوا من منع نمو الفطر على شرائح الخبز المعبأة.

**الكلمات المفتاحية:** مواد حافظة غذائية طبيعية، زيوت أساسية، غشاء شيتوزان، نشاط مضاد للميكروبات، نشاط مضاد

## RÉSUMÉ

Selon l'Organisation mondiale de la santé, 2 milliards de personnes dans le monde tombent malades chaque année à cause d'aliments malsains. Aujourd'hui, il existe une demande croissante pour des conservateurs sûrs et naturels dans l'industrie alimentaire. Parmi ces composés naturels à activité antibactérienne, les huiles essentielles.

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude de synthèse à partir d'un article sur l'effet d'incorporer des huiles essentielles extraites de noyaux d'abricot (*Prunus armeniaca*) dans des films de chitosane à des concentrations différentes. Ces films modifiés ont été étudiés pour leurs propriétés physicochimiques et fonctionnelles par rapport à celles des films de chitosane pur du point de vue de l'emballage alimentaire.

Dans cette étude, Les films modifiés présentent une meilleure résistance à l'eau ; l'humidité et une propriété de barrière à la vapeur d'eau améliorée de 41 % lorsque le rapport CS sur HENA est de 1:1. aussi ils ont montré également d'excellentes propriétés antimicrobiennes et antioxydantes par rapport aux films de chitosane purs. Ils ont réussi à empêcher la croissance des champignons sur les tranches de pain emballées.

**Mots clés :** conservateurs alimentaire naturels, les huiles essentielles, film de chitosane, activité antimicrobienne, activité antioxydante

## ABSTRACT

According to the World Health Organization, 2 billion people around the world get sick every year because of unhealthy food. Today, there is a growing demand for safe and natural preservatives in the food industry. Among these natural compounds with antibacterial activity, essential oils.

The objective of this work is to carry out a synthesis study based on an article on the impact of the incorporation of essential oils extracted from apricot beans (*Prunus armeniaca*) in chitosan films at different concentrations. These adapted films have been studied for their functional chemical and physical properties compared to pure chitosan films from the point of view of food packaging.

In this study, modified films have improved water resistance; the property of the vapour barrier and moisture has improved by 41% when the CS/AKEO ratio is 1:1. They also showed excellent antimicrobial and antioxidant properties compared to pure chitosan films. They managed to prevent the growth of mushrooms on the packaged cooking slices.

**Keywords:** natural food preservatives, essential oils, chitosan film, antimicrobial activity, antioxidant activity .