

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli

Mascara



جامعة مصطفى اسطمبولي

معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique LRSBG

## Thèse de Doctorat LMD

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Intitulée

**Contribution à l'étude par analyse physicochimique et  
microbiologique de la viande blanche et sa conservation par  
des extraits des plantes aromatiques**

Présentée par : M<sup>me</sup> Kheira GASMI

Le 23/04/2025

Devant le jury :

Président	M. Ahmed HARIRI	Professeur	Université de Mascara
Examinatrice	Mme Fatima SAHNOUNI	Professeur	Université de Mascara
Examinatrice	Mme Nassima DIDOUH	MCA	Université de Tlemcen
Examineur	M. Taha Ahmed BEN ABOU	MCA	Université de Saïda
Directrice de thèse	Mme Zohra MADANI	MCA	Université de Mascara
Co -Directrice de thèse	Mme Rym Nouria BENAMARA	MCA	Université de Mascara

Année Universitaire : 2024-2025

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université MUSTAPHA Stambouli

Mascara



جامعة مصطفى اسطمبولي

معسكر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique LRSBG

## Thèse de Doctorat LMD

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Intitulée

**Contribution à l'étude par analyse physicochimique et  
microbiologique de la viande blanche et sa conservation par  
des extraits des plantes aromatiques**

Présentée par : M<sup>me</sup> Kheira GASMI

Le 23/04/2025

Devant le jury :

Président	M. Ahmed HARIRI	Professeur	Université de Mascara
Examinatrice	Mme Fatima SAHNOUNI	Professeur	Université de Mascara
Examinatrice	Mme Nassima DIDOUH	MCA	Université de Tlemcen
Examineur	M. Taha Ahmed BEN ABOU	MCA	Université de Saïda
Directrice de thèse	Mme Zohra MADANI	MCA	Université de Mascara
Co -Directrice de thèse	Mme Rym Nouria BENAMARA	MCA	Université de Mascara

Année Universitaire : 2024-2025

## **REMERCIEMENTS**

*. Avant tout, je remercie mon Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la volonté, le courage, l'esprit et le savoir, et qui a guidé mes pas sur le droit chemin tout au long de mes années d'études.*

*L'aboutissement de cette thèse est le fruit du soutien et de la contribution de nombreuses personnes, à qui j'exprime ma profonde gratitude.*

*Tout d'abord, je tiens à adresser mes sincères remerciements à ma directrice de thèse, **Mme Zohra MADANI**, pour sa grande disponibilité, son écoute attentive, sa compréhension et la confiance qu'elle m'a toujours accordée.*

*Je remercie chaleureusement **Mme Rym Nouria BENAMARA**, **M. Talal LAHRECHE** et **M. Abdelkader BENSID** pour leurs conseils éclairés et leur précieuse aide, qui ont grandement contribué à la réalisation de cette recherche.*

*J'adresse également mes plus vifs remerciements à **M. Ahmed HARIRI**, Professeur à l'Université Mustapha Stambouli-Mascara, pour l'honneur qu'il me fait en présidant le jury de cette thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Je tiens à exprimer toute ma gratitude à **Mme Fatima SAHNOUNI**, Professeur à l'Université Mustapha Stambouli-Mascara, ainsi qu'à **Mme Nassima DIDOUH**, Maître de conférences A à l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, et à **M.Taha Ahmed BEN ABBOU**, Maître de conférences A à l'université Tahar Moulay- Saïda, pour m'avoir fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce travail en tant qu'examineurs. Leur expertise et leurs remarques constructives ont été d'une grande valeur.*

*Enfin, je remercie l'ensemble du personnel du laboratoire de pédagogie et du laboratoire de recherche scientifique de l'Université Ziane Achour-Djelfa pour leur aide précieuse, leur gentillesse et leur disponibilité tout au long de mes travaux.*

## *DEDICACES*

*C'est avec un immense plaisir,*

*un cœur ouvert et une joie profonde que je dédie ce modeste travail,*

*Tout d'abord, à mes chers parents pour leur amour, leurs sacrifices et leurs encouragements,*

*qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

*À mon mari, qui, par sa compréhension, son aide et son soutien constant, a accompagné*

*chacun de mes efforts tout au long de la réalisation de ce travail.*

*À mes chers frères et sœurs, merci pour votre soutien et vos encouragements.*

Remerciements  
Dedicaces  
Table des Matieres  
Liste des Tableaux  
Liste des Figures  
Liste des Abreviations

**Introduction .....1**

*Etude bibliographique*

*Chapitre I : La Viande Blanche – Qualité, Sécurité et Conservation*

**I. Généralité sur la viande : .....5**

I.1 Définition de la viande : ..... 5

I.2 Catégorisation de la viande : ..... 5

**II. La viande de volaille : .....6**

II.1 Composition chimique et profil nutritionnel de la viande de volaille : ..... 6

II.1.1 Apport en protéines : .....7

I.1.2 Apport en lipides : .....9

I.1.3 Apports en glucides : .....9

I.1.4 Apports en vitamines et minéraux : .....9

II.2 Production et consommation de la viande de volaille : ..... 11

II.2.1 À l'échelle mondiale : ..... 11

II.2.2 À l'échelle nationale (en Algérie) : ..... 13

II.3 Catégories des produits de volaille : ..... 15

II.3.1 Formes de produits traditionnelles : ..... 15

II.3.2 Viande désossée et sans peau : ..... 15

II.3.3 Produits formulés : ..... 16

II.3.4 Entrées et plats prêt à être consommés : ..... 16

**III. Concept de la qualité de la viande : .....17**

III.1 Les normes de la qualité marchande de la volaille : ..... 17

III.2 Attributs sensoriels et facteurs de variation de la qualité de la viande de volaille : .. 17

III.2.1 La couleur de la viande : ..... 18

III.2.2 La jutosité de la viande : ..... 18

III.2.3 La tendreté de la viande : ..... 19

III.2.4 La saveur de la viande : ..... 19

<b>IV. Méthode de conservation de la viande:</b> .....	<b>20</b>
IV.1 Méthodes de conservation traditionnelles :	21
IV .1.1 Traitement thermique :	21
IV .1.2 Réfrigération et congélation :	21
IV .1.3 Le sechage :	22
IV. 2 Méthodes de conservation développées :	22
IV .2.1 Le super-refroidissement :	22
IV .2.2 Utilisation des antimicrobiens naturels :	23
IV .2.3 L'Irradiation :	24
IV .2.4 Pression hydrostatique élevée :	25
IV .2.5 L'Emballage :	25
<b>V. Risques sanitaires associés à la viande de volaille</b> .....	<b>26</b>
V.1 Risques chimiques :	27
V.2 Risques physiques :	27
V.3 Risques microbiologiques :	27
V. 3.1 Contamination de la viande :	28
V.3.2 Effet de la transformation sur la flore microbologique	30
V. 3.3 Mesures de contrôle et prévention:	30
V.4 Paramètres réglementaires applicables à la viande en Algérie	31
<b>VI. Processus d'abattage des volailles :</b> .....	<b>34</b>
VI.1 Capture et transport :	34
VI.2 Arrivée à l'abattoir :	34
VI.3 Étourdissement et saignée.....	34
VI.4 La saignée :	35
VI.5 Échaudage et plumage :	35
VI.6 Égorgement et ablation des pattes :	36
VI.7 Ligne d'éviscération :	36
VI.8 Vitesse des lignes d'abattage :	37

**Chapitre II: Huiles essentielles, Techniques  
d'extraction et plantes aromatiques**

<b>I. Les extrait des plantes aromatiques :</b> .....	<b>39</b>
I. 1 Généralité sur les huiles essentielles et les extraits de plantes :	39

I.1.1 Historique :	39
I.1.2 Définition des huiles essentielles :	40
I. 2 Composition chimique des huiles essentielles :	42
I. 3 Mécanismes d'action des huiles essentielles :	43
I.3.1 Activité antimicrobienne :	43
I.3.2 Activité antioxydante :	43
I.3.3. Effets anti-inflammatoires :	44
I.3.4 Effets analgésiques :	44
I.3.5 Effets neurologiques :	44
I.4 Facteurs affectant la qualité des huiles essentielles :	45
I.4.1 Techniques d'extraction classiques et innovantes:	45
I.4.2 Variations géographiques :	46
I.4.3 Cycle de croissance des plantes :	46
I.4.4 Temps et technique de séchage :	46
I.5 Application des huiles essentielles dans la conservation des aliments :	47
I.5.1 Emballage et conservation des aliments	47
I.5.2 Films et emballage comestibles à base d'HE :	47
I.5.3 Microencapsulation des huiles essentielles:	47
I.5.4 Nanoémulsions à base d'huile essentielle :	48
<b>II. Méthodes d'extraction des huiles essentielles :</b>	<b>49</b>
II.1 Les méthodes classiques :	49
II.1.1 L'Hydrodistillation :	49
II.1.2 Distillation par entraînement à la vapeur :	50
II.1.3 L'extraction par solvant :	51
II.2 Les méthodes innovantes :	51
II.2.1 L'extraction par fluide supercritique :	51
II.2.2 L'extraction à l'eau subcritique:	52
II.2.3 L'extraction par micro-ondes sans solvant (EMSS):	53
<b>III. Plantes médicinales et aromatiques :</b>	<b>54</b>
III.1 Définition, Historique et importance :	54
III.2 Usage traditionnel et développements modernes :	54
<b>IV. Les plantes aromatiques étudiées :</b>	<b>55</b>

IV.1 <i>Rosmarinus officinalis</i> L: .....	55
IV.1.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques : .....	55
IV.1.2 Classification <i>Rosmarinus officinalis</i> .....	56
IV.1.3 Répartition géographique : .....	56
IV.1.4 Composés bioactifs de HE du romarin :.....	57
IV.1.5 Activité biologique de l'huile essentielle de <i>R. officinalis</i> L :.....	57
IV.2 <i>Thymus vulgaris</i> :.....	58
IV.2.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques : .....	58
IV.2.2 Classification de <i>Thymus vulgaris</i> .....	59
IV.2.3 Répartition géographique du thym.....	60
IV.2.4 Composés bioactifs de <i>T. vulgaris</i> :.....	62
IV.2.5 Activité biologique de l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> :.....	63
IV.3 La plante <i>Laurus nobilis</i> :.....	64
IV.3.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques : .....	64
IV.3.2 Classification botaniques de <i>Laurus nobilis</i> .....	65
IV.3.3 Répartition géographique <i>Laurus nobilis</i> .....	65
IV.3.4 Composés bioactifs de l'huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i> :.....	66
IV.3.5 Activité biologique et utilisation médicale de <i>Laurus nobilis</i> :.....	67
IV.4. La plante de <i>Mentha spicata</i> :.....	68
IV.4.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques : .....	68
IV.4.2 Répartition géographique de <i>Mentha spicata</i> :.....	68
IV.4.3 Composés bioactifs de <i>Mentha spicata</i> :.....	69

## *Partie Experimentale*

### *Chapitre I Materiel et Methode*

<b>I. La premiere partie :.....</b>	<b>73</b>
I.1. Matériel végétal : .....	73
I.1.1 Extraction des huiles essentielles :.....	74
I.1.2 Détermination des rendements d'extraction et l'activite antioxydante :.....	75
I.1.3. Analyse de la composition chimique des huiles essentielles par (GC-MS) :.....	76
I. 1.4 Préparation d'émulsion des huiles essentielles : .....	76
I.2 Préparation des échantillons :.....	77
I.3 Cultures bactériennes :.....	77



II.5.1 Teneur en protéine totale : .....	90
II.5.2. Taux en matière grasse : .....	91
II.5.3. Détermination de Le taux en humidité et matière sèche : .....	91
II.6 Traitement statistiques : .....	91

## ***Chapitre II Resultat et Discussion***

<b>I. Resultat de la première partie : .....</b>	<b>93</b>
I.1. Resultat des analyses des huiles essentielles : .....	93
I. 1.1 Le rendement et l'activité antioxydante des HE : .....	93
I.1.2 Composition volatile des HE : .....	94
I.2 Resultat des analyses microbiologiques : .....	97
I.3 Resultat des analyses physicochimiques : .....	102
I.3.1 Valeur du pH : .....	103
I.3.2 La teneur en humidité : .....	103
I.3.3 La teneur en matières grasses : .....	104
I.3.4 Indice de peroxyde : .....	105
I.4 Résultat de l'évaluation sensorielle : .....	106
<b>II. Resultat de la deuxième partie : .....</b>	<b>109</b>
II.1 Composition volatile des HE : .....	109
II.2 rendement et l'activité antioxydante des HE : .....	110
II.3 Les résultats des analyses microbiologiques : .....	111
II.4 Resultat des Analyses sensorielles : .....	118
II.4.1 Resultat des Analyses sensorielles des pilons de poulet crus : .....	118
II.4.2 Resultat des Analyses sensorielles des pilons de poulet cuits : .....	120
II.5 Les résultats des analyses physicochimiques : .....	122
<b>Conclusion : .....</b>	<b>125</b>
Perspectives et défis de l'utilisation des huiles essentielles dans la conservation des viandes .....	126
<b>References Bibliographiques : .....</b>	<b>129</b>
<b>Annexes : .....</b>	<b>157</b>

Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> La classification de la viande de volaille selon la couleur de la chair et le poids. ..6	6
<b>Tableau 2:</b> Composition nutritionnelle de certaines de viande de poulet crues et cuites .....8	8
<b>Tableau 3:</b> Teneur totale en fer dans les viandes de volaille crues et cuites (mg/100 g) .....11	11
<b>Tableau 4:</b> Programmes d'échaudage typiques pour le plumage .....36	36
<b>Tableau 5:</b> Comparaison des huiles essentielles et des extraits de plantes .....41	41
<b>Tableau 6:</b> Profil chimique de L'huile essentielle de thym .....62	62
<b>Tableau 7:</b> Composition chimique de l'huile essentielle de <i>T. vulgaris</i> .....63	63
<b>Tableau 8:</b> : Evaluation de l'activité antioxydante et le rendement des HE de <i>T. vulgaris</i> et <i>L. nobilis</i> .....93	93
<b>Tableau 9:</b> Composition chimique des huiles essentielles de thym et de laurier par (GC-MS) .....95	95
<b>Tableau 10:</b> Effets des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier sur la croissance des bactéries inoculées (log UFC/g) dans des cubes de poulet cuits conservés T3 (3±0,5°C).99	99
<b>Tableau 11:</b> Effets des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier sur la croissance des bactéries inoculées (log UFC/g) dans des cubes de poulet cuits conservés à T8 (8 °C±1 °C) .....100	100
<b>Tableau 12:</b> Effets des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier sur la croissance des bactéries inoculées (log UFC/g) dans des cubes de poulet cuits conservés à T3A (avec simulation de température abusive à 24 h : pendant 12 h à 25 ± 1 °C) ..... 100	100
<b>Tableau 13:</b> Composition chimique des huiles essentielles de <i>R. officinalis</i> et de <i>M. spicata</i> .....109	109
<b>Tableau 14:</b> Evaluation de l'activité antioxydante et le rendement des HE de <i>R. officinalis</i> et de <i>M. spicata</i> ..... 111	111
<b>Tableau 15:</b> Effet de l'immersion dans l'EHEM et EHER chauffée ou non sur la croissance des bactéries d'altération dans les pilons de poulet à 4 ± 1 °C EA..... 113	113
<b>Tableau 16:</b> Effet du traitement par immersion de l'émulsion d'HE de <i>M. spicata</i> et <i>R. officinalis</i> chauffée ou non sur la croissance des bactéries d'altération dans les pilons de poulet conservées à 4 ± 1 °C sous vide ..... 114	114
<b>Tableau 17:</b> Les valeurs du pH mesurées pendant le stockage sous vide ou à l'air. .... 115	115

<b>Tableau 18:</b> Analyse comparative de la composition chimique d'une cuisse de poulet crue entre échantillons prélevés et les valeurs littéraires. ....	122
<b>Tableau 19:</b> Évaluation sensorielle du poulet cru (Indice sensoriel) <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>Tableau 20:</b> Évaluation sensorielle du poulet cuit (score acceptabilité globale) ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
<b>Tableau 21:</b> Composition de milieu de culture Baird Parker .....	164
<b>Tableau 22:</b> Composition de gélose PCA (Plate Count Agar) .....	164
<b>Tableau 23:</b> Composition de gélose peptone fer .....	164
<b>Tableau 24:</b> Composition de milieu MRS (de Man, Rogosa, Sharpe).....	165
<b>Tableau 25:</b> Composition de milieu VRBG: Violet Red Bile Glucose Agar .....	165
<b>Tableau 26:</b> Composition de milieu PALCAM .....	166
<b>Tableau 27:</b> Composition de milieu de Bacillus cereus Mossel .....	166
<b>Tableau 28:</b> Composition de gélose CFC (Céphalotine/Fucidine/Cétrimide).....	167

## Listes des figures

<b>Figure 1:</b> Production de la viande de volaille, 1961 à 2022 dans le monde (Exprimée en tonnes).....	11
<b>Figure 2:</b> Consommation par habitant de différents types de viande par pays .....	12
<b>Figure 3:</b> Répartition de la volaille en 2022 .....	13
<b>Figure4 :</b> Production de la viande de, 1961 à 2022 en Algérie (Exprimée en T) .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Figure 5:</b> Repartition des viandes blanches produite en Algérie.....	14
<b>Figure 6:</b> Evolution des viandes blanches en Algérie .....	15
<b>Figure 7:</b> Quelques composés bioactifs représentatifs présents dans les huiles essentielles. ..	42
<b>Figure 8:</b> Mécanisme d'action des huiles essentielles sur les cellules bactériennes.....	45
<b>Figure 9:</b> Représentation schématique du mécanisme de base de la formation des nanoémulsions.....	49
<b>Figure 10:</b> Extraction par hydrodistillation.....	50
<b>Figure 11:</b> Extraction par entrainement à la vapeur .....	51
<b>Figure 12:</b> L'extraction par fluide supercritique.....	52
<b>Figure 13:</b> L'extraction à l'eau subcritique.....	53
<b>Figure 14:</b> la plante <i>Rosmarinus officinalis</i> .....	56
<b>Figure 15:</b> Répartition géographique de <i>Rosmarinus officinalis</i> .....	57
<b>Figure 16:</b> La plante <i>Thymus vulgaris</i> .....	59
<b>Figure 17:</b> Répartition géographique mondiale du thym.....	61
<b>Figure 18:</b> Répartition géographique du <i>T. vulgaris</i> en Algerie .....	62
<b>Figure 19:</b> La plante <i>Laurus nobilis</i> . .....	65
<b>Figure 20:</b> Distribution des Lauracées à travers le monde .....	66
<b>Figure 21:</b> La plante <i>Mentha spicata</i> . .....	68
<b>Figure 22:</b> Site de récolte des plantes de <i>Laurus nobilis</i> et <i>Thymus vulgaris</i> . .....	74
<b>Figure 23:</b> <i>Laurus nobilis</i> . .....	74
<b>Figure 24:</b> Photo, extraction des huiles essentielles par hydrodistillation.....	75
<b>Figure 25:</b> Les morceaux de poulet et leur dénomination .....	77

<b>Figure 26:</b> Photo des cubes de poulet cuits pulvérisés et emballés dans des plateaux.....	79
<b>Figure 27:</b> Photo Travail expérimental de la première partie au laboratoire. ....	81
<b>Figure 28:</b> Le site de récolte des plants de <i>Rosmarinus officinalis</i> et de <i>Mentha spicata</i> .....	85
<b>Figure 29:</b> Représentation des étapes de traitement et de stockage des échantillons.....	86
<b>Figure 30 :</b> Travail expérimental au laboratoire de la deuxième partie.....	87
<b>Figure 31:</b> Répartition des composants chimiques des huiles essentielles de <i>Thymus vulgaris</i> analysées par GC-MS .....	97
<b>Figure 32:</b> Répartition des composants chimiques des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> analysées par GC-MS .....	97
<b>Figure 33:</b> Variation du pH des cubes de poulet cuits témoins et traités avec des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier à 0,6 % et conservés à 3°C. ± 1°C.....	103
<b>Figure 34:</b> Teneur en humidité % des cubes de poulet cuits témoins et traités avec des émulsions d'HE de thym et de laurier à 0,6 % et conservés à 3°C. ± 1°C.....	104
<b>Figure 35:</b> Teneurs en matière grasse des cubes de poulet cuits témoin et traités par des émulsions des HE de thym et de laurier à 0,6 % et stockés à 3 °C. ± 1 °C.....	105
<b>Figure 36:</b> Les valeurs d'indice de peroxyde des cubes de poulet cuits traités par des émulsions des HE de thym et de laurier à 0,6 % et stockés à 3 °C. ± 1 °C.....	106
<b>Figure 37:</b> Évolution du score d'acceptabilité globale des cubes de poulet cuits traités avec des émulsions d'HE de thym et de laurier.....	108
<b>Figure 38:</b> Évaluation sensorielle des pilons de poulet crus témoins et traités avec des émulsions d'huiles essentielles stockés à 4 ± 1 °C dans les conditions suivantes .....	119
<b>Figure 39:</b> Pilon de poulet frais (à gauche) et pilon de poulet altéré (présence d'exudat) ....	120
<b>Figure 40:</b> Évaluation sensorielle des pilons de poulet crus traités avec des émulsions d'huiles essentielles stockés à 4 ± 1 °C .....	121
<b>Figure 41:</b> Photos de réhydratation et culture des souches lyophilisées. ....	158
<b>Figure 42 :</b> Photo lors de la préparation des échantillons.....	158
<b>Figure 43:</b> Photo lors des analyses physicochimiques et microbiologiques .....	159
<b>Figure 44:</b> Photo des colonies de <i>S. aureus</i> et <i>L. innocua</i> . ....	160
<b>Figure 45 :</b> Des colonies d' <i>Enterobacteriaceae</i> (à gauche) et bactéries psychrotrophes.....	160
<b>Figure 46:</b> Des colonies de (de gauche à droite), <i>Pseudomonas spp.</i> , bactéries productrices de H <sub>2</sub> S et LAB .....	161

---

---

--

**Liste des abréviations**

<b>AESA</b>	Autorité européenne de sécurité des aliments
<b>°C</b>	degré Celsius
<b>C</b>	control= témoin
<b>Cm</b>	Centimètre
<b>CMB</b>	Concentration Minimale Bactéricide
<b>CMI</b>	Concentration Minimale Inhibitrice
<b>DPPH</b>	2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl
<b>EA</b>	Emballage sous air
<b>EFS</b>	Extraction par fluide supercritique
<b>EHE</b>	Emulsion d'huile essentielle
<b>EMSS</b>	Extraction par micro-ondes sans solvant
<b>ESV</b>	Emballage sous vide
<b>FAO</b>	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization)
<b>g</b>	Gramme
<b>h</b>	Heure
<b>HHP</b>	Haute pression hydrostatique
<b>HE</b>	Huile Essentielle
<b>HEL</b>	Huile Essentielle de laurier
<b>HEM</b>	Huile Essentielle de la menthe
<b>HER</b>	Huile Essentielle de romarin
<b>HET</b>	Huile Essentielle du thym
<b>CI50</b>	Concentration équivalente à 50% de DPPH
<b>IP</b>	Indice de peroxyde
<b>kcal</b>	Kilocalorie
<b>Log</b>	Logarithme
<b>L</b>	Litre

<b>LAB</b>	Lactobacilles
<b>MCA</b>	Group traite pa emulsion dhuile essentielle de M. spiacat Chauffee sous Air
<b>MCV</b>	Group traite pa emulsion dhuile essentielle de M. spiacat Chauffee sous Vide
<b>mEq</b>	Milliéquivalent
<b>mg</b>	Miligramme
<b>MG</b>	Matiere grasse
<b>Min</b>	Minute
<b>MI</b>	Millilitre
<b>Mm</b>	Millimètre
<b>MNA</b>	Group traite par emulsion d’huile essentielle de M. spiacat Non Chauffee sous Air
<b>MNV</b>	Group traite par emulsion d’huile essentielle de M. spiacat Non Chauffee sous Vide
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>MS</b>	Matière sèche
<b>OCDE</b>	Organisation de coopération et de développement économiques
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>ONS</b>	Office National des Statistiques
<b>PDCAAS</b>	Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score Rendement
<b>pH</b>	Potentiel d’hydrogène
<b>P/V</b>	Poid/Volume
<b>RCA</b>	Group traite par emulsion d’huile essentielle de R. officinalis Chauffée sous Air
<b>RCV</b>	Group traite par emulsion d’huile essentielle de R. officinalis Chauffée sous Vide
<b>RNA</b>	Group traite par emulsion d’huile essentielle de R. officinalis Non Chauffée sous Air
<b>RNV</b>	Group traite par emulsion d’huile essentielle de R. officinalis Non Chauffée sous Vide
<b>T3</b>	Temperature 3 °C
<b>T3A</b>	Temperature 3 °C + Temperature abuse 25 °C
<b>UFC</b>	Unité formant colonie
<b>V/V</b>	Volume/Volume

# Introduction

# Introduction

---

## Introduction

La population mondiale a connu une croissance rapide, en particulier durant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Cette expansion démographique s'est accompagnée d'une augmentation significative de la production totale de la viande. Cependant, l'évolution de la consommation de viande par habitant demeure une question centrale (**FAO et OCDE, 2023**).

L'être humain a besoin de beaucoup de nutriments dans son alimentation. L'un d'entre eux est la protéine et l'une de ses principales sources est la viande. Elle fournit aussi des quantités importantes de minéraux (sodium, magnésium, potassium et calcium) et de vitamines (A, B6, B12 et D) (**Antoniak et al., 2022**).

La production avicole a connu une dynamique particulièrement forte dans les pays en développement avec un taux de croissance annuel de 7,4 % pour la production de viande. Les principaux producteurs mondiaux de viande de volaille sont les États-Unis, la Chine, l'Union européenne et le Brésil (**FAO STAT, 2016**).

En outre, la consommation mondiale de viande a considérablement augmenté, avec une progression marquée en Asie, en Amérique latine et en Afrique. La volaille figure parmi les viandes dont la consommation a le plus fortement augmenté, s'intégrant à diverses cultures, traditions et pratiques religieuses, ce qui en fait un élément clé de la sécurité alimentaire et de la nutrition. (**Mottet et Tempio, 2017 Parlasca et Qaim, 2022**). Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), dans les pays de la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord, la consommation de viande de poulet a connu une augmentation de 70 % depuis 1990 (**Daghir et al., 2021**).

Les aliments à base de la viande blanche sont parmi les plus économiques, tout en étant des sources de protéines saines. Selon **Vaarst et al. (2015)**, la viande de poulet est parmi les aliments qui ont le meilleur taux de conversion alimentaire (**Mourad et al., 2019**).

Les changements dans les habitudes alimentaires nécessitent une augmentation de la disponibilité de certains types de viande. Les produits à base de viande de poulet comptent parmi les aliments les plus populaires dans le monde en raison de leur valeur nutritionnelle, de leur polyvalence et de leur prix abordable. Pour cette raison, cette viande est un élément de base dans de nombreuses cuisines du monde entier, ce qui en fait un ingrédient essentiel de divers plats traditionnels et modernes (**Vukasovič, 2009; FAO et OCDE, 2023**).

La composition chimique de cette viande, caractérisée par une richesse en protéines, en minéraux et une teneur élevée en humidité, en fait un produit hautement périssable. Il est donc essentiel de suivre les conditions de stockage, en particulier la température appropriée

## Introduction

---

pour cette viande, afin d'assurer sa consommation en toute sécurité. Selon une étude menée par **Kennedy et al. (2005)**, les réfrigérateurs domestiques enregistraient des températures moyennes allant de  $-1,7^{\circ}\text{C}$  à  $11,8^{\circ}\text{C}$  et pouvaient héberger une multitude de bactéries nuisibles, avec *S. aureus* 41 % et *L. monocytogenes* 6 % représentant les pourcentages les plus élevés. Par conséquent, la réfrigération seule ne suffit pas à inhiber la prolifération de certaines bactéries pathogènes, notamment en cas de rupture de la chaîne froide et d'exposition à des températures abusives, ce qui pourrait éventuellement les amener à entrer dans la fourchette de température risquée allant de  $5,5^{\circ}\text{C}$  à  $60^{\circ}\text{C}$  (**Nalle et al., 2021**).

L'emploi des huiles essentielles (HE) en tant qu'agent de conservation naturel, associé à une réfrigération, peut optimiser la qualité microbiologique des produits carnés (**Al-Maqtari et al., 2022**). Le *Thymus vulgaris*, *Laurus nobilis*, *Rosmarinus officinalis* et *Mentha spicata*, des plantes aromatiques largement répandues dans l'ensemble du bassin méditerranéen, sont parmi les traits les plus caractéristiques de la cuisine méditerranéenne avec d'autres herbes de Provence. Cela est dû à leur capacité à aromatiser les plats cuisinés et à attendrir la viande (**Pandey et al., 2020**).

L'objectif de cette étude est:

- ✓ Evaluer le potentiel conservateur des huiles essentielles (HE) extraites des plantes aromatiques (*T. vulgaris*, *L. nobilis*, *R. officinalis* et *M. spicata*) dans la préservation de la viande de poulet, aussi bien à l'état cru que cuit. Afin de développer des stratégies alternatives pour contrôler les bactéries de détérioration et prolonger la durée de conservation de cette viande.
- ✓ Améliorer la qualité microbiologique, physicochimique et sensorielle de la viande de poulet.
- ✓ Tester l'influence des conditions de stockage, notamment la température de stockage sur l'activité antimicrobienne des huiles essentielles.
- ✓ Evaluer si le chauffage des émulsions d'huiles essentielles ( $53^{\circ}\text{C}$ ) renforce leur effet, notamment en combinaison avec un emballage sous vide (ESV).

Pour cette raison, des analyses microbiologiques, physicochimiques et sensorielles de la viande de poulet crue et cuite sont réalisées afin de découvrir le meilleur traitement combiné pour la conservation de la viande de poulet.

# **Etude Bibliographique**

**Chapitre I :**  
**La Viande Blanche – Qualité,  
Sécurité et Conservation**

## I. Généralité sur la viande:

### I.1 Définition de la viande :

On désigne par le terme « viande » la chair des animaux que l'on a l'habitude de consommer. Ce vocabulaire englobe la chair des mammifères, oiseaux et poissons. La viande représente donc toute portion de ces animaux qui est consommable, (Fosse, 2003) Il s'agit de toutes les parties comestibles dérivées de certains animaux terrestres et aviaires, à l'exclusion des parties grasses et des produits laitiers de certaines espèces. (Ferdot, 2007). La viande fait référence à tous les morceaux d'animaux comestibles qui n'ont subi aucun traitement.

D'après l'arrêté du 17 mars 1996, la définition officielle de la viande est la suivante : Toutes les parties de bétail et de volailles qui peuvent être distribuées au grand public pour la consommation. Ainsi, la viande se réfère à la chair des mammifères et des oiseaux que l'homme consomme. Par exemple, le mouton et le bœuf sont classés comme viandes rouges, tandis que les volailles sont considérées comme viandes blanches.

### I.2 Catégorisation de la viande:

La classification de la viande peut être établie selon plusieurs critères :

#### I.2.1. L'ensemble zoologique

- Viande provenant de l'abattage, qui désigne toutes les parties de la carcasse des animaux domestiques destinés à l'alimentation humaine, tels que les bovins, les ovins, les caprins, les équidés et les porcins.
- Oiseaux de basse-cour ou volailles.
- Animaux de la faune ou gibier.

#### I.2.2 Les éléments consommables de l'animal

- La chair musculaire (muscles striés, longs et plats)
- Abats (tissus musculaires lisses)
- Issus (zones de l'animal qui contiennent une forte concentration de tissu conjonctif), museau, oreilles.

#### I.2.3 Selon la couleur de la chair

- Viande rouge : provient d'animaux matures qui ont été saignés suite à l'abattage.
- Viande blanche : Volailles et animaux de jeune âge (sous la mère).

- Viande noire : gibier qui n'a pas subi de saignée. Il faut faisander cette viande pour la rendre plus tendre et accentuer son goût fumé. (Mohtadji et Lamballais, 1989; Polkinghorne et Thompson, 2010; Carr *et al.*, 2017).

## II. La viande de volaille:

Comprend toutes les portions comestibles des volailles. Le classement peut également s'effectuer selon la couleur de la chair :

- Volailles de chair blanche (poules et coqs, chapons, dindes),
- Volailles de chair brune (canards, oies, pintades).
- Volailles à chair de couleur rose (lapins élevés),
- Gibiers appelés à la viande sombre (lièvre, gibiers plumés). (Marangoni *et al.*, 2015).

**Tableau 1:** Classification de la viande de volaille selon la couleur de la chair et le poids (Marangoni *et al.*, 2015).

Couleur de la chair	Volailles	Poids moyen en kg	calibre
A chair blanche	N'ayant pas atteint leur maturité sexuelle		
	Poussin	moins de 0,650 kg	I
	Coquelet	plus de 0,650 kg	I
	Poulet	1,200 kg	II
	Poulet reine	1,600 kg	III
	Poularde	2,500 kg	IV
	Chapon	2500 kg	
	Ayant atteint leur maturité sexuelle		
	Poule	2 kg	IV
	Coq	2,5 kg	IV
	Dindonneau	plus de 3 kg	IV
	Dinde	plus de 3,5 kg	IV
	A chair Brune	Canard	2 kg
Oie		3,5 kg	IV
Pintadeau		0,800	I
Pintade		1,2 kg	II
Pigeonneau		0,300 kg	I
Pigeon		0,500 kg	I
Caille		0,250 kg	I

### II.1 Composition chimique et profil nutritionnel de la viande de volaille :

La viande et ses produits dérivés constituent des sources importantes de nutriments essentiels, généralement présents à des concentrations plus élevées que dans d'autres aliments. La composition nutritionnelle du tissu musculaire varie peu entre les espèces animales, tandis que le rapport entre la masse des graisses et la masse musculaire dans la partie comestible présente des différences significatives. La qualité des lipides ainsi que la teneur en nutriments de la viande dépendent largement du régime alimentaire et du profil génétique de l'animal. Par ailleurs, certaines pratiques d'élevage récentes, telles que l'élevage biologique ou en plein air, ont démontré leur influence sur la composition nutritionnelle de la viande, en particulier celle de volaille (Geay *et al.* 2002 ; Marangoni *et al.*, 2015).

Les procédés de cuisson et de traitement thermique ont généralement un impact limité sur le profil nutritionnel de la viande, leurs effets se traduisant principalement par une concentration relative des nutriments (y compris les lipides) et une diminution de la teneur en eau. La valeur énergétique des viandes de volaille varie notamment en fonction de la coupe et de la présence de peau. Par exemple, la poitrine de poulet et les cuisses de poulet avec peau présentent des écarts notables. La présence de peau, en raison de sa teneur en lipides, augmente la valeur calorique d'environ 25 à 30 %. Il convient également de souligner que la cuisson influe sur la valeur énergétique de la viande, entraînant une augmentation de 30 à 50 % pour les morceaux avec peau, principalement en raison de la perte d'eau au cours du processus thermique (Lofgren *et al.*, 2005 ; Marangoni *et al.*, 2015).

### II.1.1 Apport en protéines :

La viande de volaille est considérée comme une source de protéines de haute qualité, similaire à d'autres aliments d'origine animale, avec un score d'acides aminés corrigé de la digestibilité des protéines (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score PDCAAS) élevé. En revanche, les protéines d'origine végétale ont des valeurs PDCAAS plus faibles en raison de profils d'acides aminés incomplets et d'une digestibilité plus faible. Les protéines contribuent de manière minimale à l'apport calorique quotidien, mais leur consommation est précisément recommandée (Marangoni *et al.*, 2015).

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (AESAs) fixe les besoins moyens en protéines à 0,66 g/kg de poids corporel par jour pour les adultes, ces besoins en protéines augmentent pendant la grossesse, l'allaitement et chez les personnes de plus de 65 ans pour

prévenir la sarcopénie, avec des apports recommandés de 1,2 à 1,3 g/kg/jour chez les personnes âgées (Marangoni *et al.*, 2015).

La teneur en protéines de la plupart des viandes (y compris la viande de volaille) varie entre 15 et 35 %, selon la teneur en eau et en graisse du produit, ce pourcentage passant à 60 % du poids pour les pilons de dinde sans peau et les pilons de poulet sans peau après cuisson car la cuisson entraîne une augmentation de la concentration protéique. (Levine *et al.*, 2014).

La faible teneur en collagène, une protéine structurale, constitue une autre caractéristique favorable de la viande de volaille. Le collagène diminue la digestibilité de la viande, et une concentration élevée de cette protéine dans le tissu musculaire est corrélée à une réduction du pourcentage de produit digéré par unité de temps (Levine *et al.*, 2014).

**Tableau 2:** Composition nutritionnelle de certains morceaux de viande de volaille crues et cuites (Marangoni *et al.*, 2015).

	En kcal	Protéine (g)	Matières grasses (g)
Poulet entier avec peau, cru	171	19	10.6
Poulet entier avec peau, rôti	200	27.1	10.2
Poulet entier sans peau, cru	110	19.4	3.6
Poulet entier sans peau, rôti	160	27.9	5.4
pilon poulet, avec peau, cru	125	18.4	5.7
pilon poulet, avec peau, rôti	201	31.2	8.5
pilon poulet, sans peau, cru	107	18.5	3.7
pilon poulet, sans peau, rôti	175	29.9	6.2
Poitrine de poulet crue	100	23.3	0.8
Poitrine de poulet rôti	129	30.2	0.9
Dinde entière avec peau, crue	135	18.2	6.9
Dinde entière sans peau, crue	109	21.9	2.4
Croupion de dinde, cru	107	24	1.2
Croupion de dinde, rôti	131	29.6	1.4
Pilon de dinde avec peau, cru	126	17.9	6
Pilon de dinde avec peau, rôti	191	26.7	9.3

Pilon de dinde sans peau, cru	113	18	4.6
Pilon de dinde sans peau, rôti	190	28	8.7

### I.1.2 Apport en lipides :

Les lipides alimentaires jouent un rôle essentiel, fournissant de l'énergie, des vitamines liposolubles (A, D, E et K), ainsi que des acides gras essentiels, tout en favorisant la satiété. L'apport lipidique recommandé pour une alimentation équilibrée représente 25 à 35 % de l'apport énergétique total, soit un minimum de 70 g par jour dans un régime de 2 000 kcal (Marangoni *et al.*, 2015). La consommation excessive de viande contribue à l'apport lipidique, en particulier en graisses saturées, dont une consommation excessive est associée à des effets délétères sur la santé. Toutefois,

La viande de volaille présente généralement une teneur en lipides inférieure à celle des autres viandes, la majorité des graisses étant localisée à la surface de la carcasse (graisses de couverture) dans la peau, qui peut être facilement retirée. Les morceaux de la viande blanche, tels que la poitrine de poulet et la croupe de dinde, contiennent environ 1 % de matières grasses, tandis que les morceaux plus riches, comme les ailes de poulet cuites avec la peau, peuvent en contenir jusqu'à 17 %. La composition lipidique de la viande peut être influencée par les méthodes de cuisson et l'ajout de matières grasses ou de condiments. Sur le plan nutritionnel, la graisse de volaille est considérée comme bénéfique en raison de sa teneur élevée en acides gras monoinsaturés, notamment en oméga-6 (acide linoléique et acide arachidonique). Elle contient également de faibles quantités d'oméga-3, principalement issus des aliments d'origine végétale consommés par les volailles. (Hibbeln *et al.*, 2006 ; Barbut et Leishman, 2022).

### I.1.3 Apports en glucides :

Les aliments d'origine animale contiennent très peu de glucides, alors qu'on en trouve en abondance dans les aliments d'origine végétale. Le seul glucide naturellement présent dans les muscles est le glycogène, dont la teneur diminue rapidement après l'abattage. Dans certaines charcuteries, du saccharose ou du glucose sont ajoutés au cours du processus de fabrication (Marangoni *et al.*, 2015; Barbut et Leishman, 2022).

### I.1.4 Apports en vitamines et minéraux :

La viande constitue une excellente source de la majorité des vitamines hydrosolubles et représente la source alimentaire de référence en vitamine B12. Les teneurs en vitamines du

groupe B, notamment la niacine, la vitamine B6 et l'acide pantothénique, dans la viande de volaille sont comparables à celles des autres types de viandes et subissent peu de variations lors de la cuisson. Bien que la viande rouge soit la plus riche en vitamine B12, la volaille fournit une quantité significative de niacine. En revanche, les vitamines liposolubles, telles que les vitamines E et K présentes dans le muscle, sont en moindre concentration dans la viande par rapport aux aliments d'origine végétale (**Givens et Gibbs, 2008; Barbut et Leishman, 2022**).

La viande est également une source importante de plusieurs minéraux. Bien que la concentration en fer varie considérablement selon les types de viandes, la volaille en constitue également une source appréciable. Par exemple, 100 g de cuisses de poulet contiennent environ 1,3 mg de fer, contre 1,4 mg pour une portion équivalente de rumsteck de bovin adulte (**Lombardi-Boccia et al., 2006**).

Le sodium est présent en faibles quantités dans la viande fraîche et la volaille, ne contribuant ainsi pas de manière significative à l'apport alimentaire total. En revanche, les produits carnés transformés peuvent contenir des concentrations élevées, voire très élevées, de sodium, ajouté principalement à des fins de conservation ou d'exhaustion du goût (**Lombardi-Boccia et al., 2006**). La viande de poulet constitue également une excellente source de sélénium. (**Lombardi-Boccia et al., 2006**).

Par ailleurs, la viande de volaille contient des facteurs qui favorisent la biodisponibilité de divers nutriments, souvent supérieure à celle observée pour les mêmes nutriments d'origine végétale. Outre le fer hémique, le zinc, le cuivre et les vitamines du groupe B affichent une biodisponibilité élevée lorsqu'ils sont apportés par la viande. De plus, la consommation de viande améliore l'absorption des nutriments issus d'autres aliments consommés simultanément. Par exemple, l'ingestion conjointe de viande augmente l'absorption du fer non hémique contenu dans d'autres aliments (**Lombardi-Boccia et al., 2006 ; Marangoni et al., 2015**).

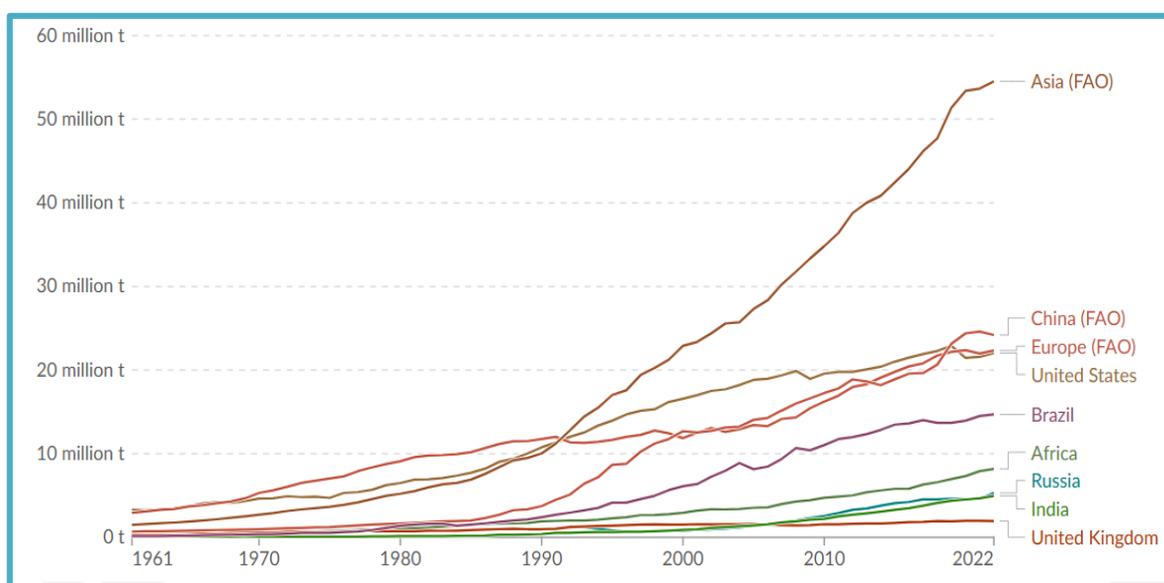
**Tableau 3:** Teneur totale en fer dans les viandes de volaille crues et cuites (mg/100 g) (Oostindjer et al., 2014)

Fer total	Cru	Cuit
<b>Poulet (moyen)</b>	0,59±0,1	1,01±0,3
<b>Dinde (moyenne)</b>	0,79±0,2	1,25±0,4
<b>Bœuf (moyenne)</b>	2,09±0,2	3,39±0,4
<b>Filet de veau</b>	0,85±0,3	1,58±0,4
<b>lapin</b>	0,42±0,1	0,60±0,1

## II.2 Production et consommation de la viande de volaille :

### II.2.1 À l'échelle mondiale :

La production mondiale de viande de volaille a connu une augmentation spectaculaire au cours des 50 dernières années. Les tendances mondiales de la production de volaille sont présentées dans La figure suivante:

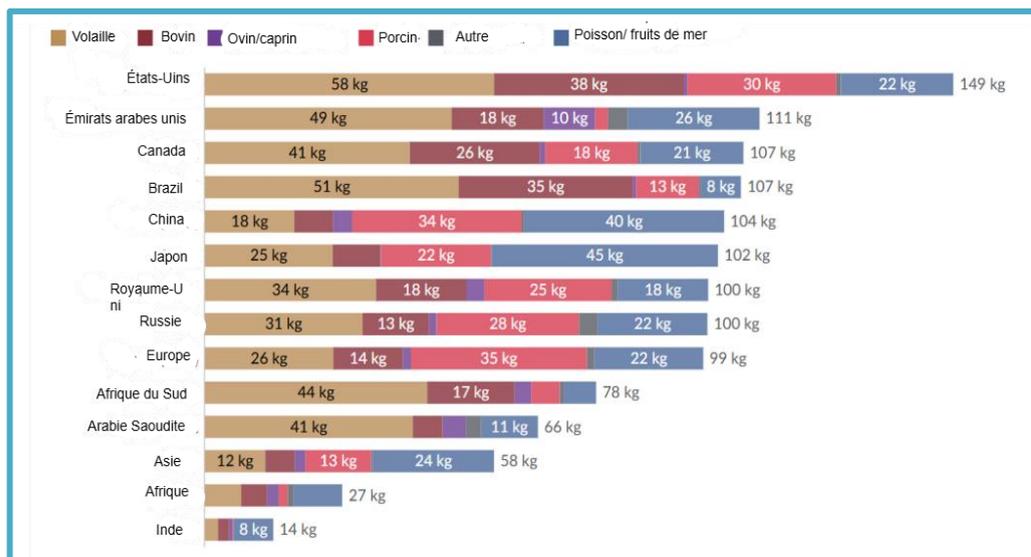


**Figure 1:** Production de la viande de volaille, 1961 à 2022 dans le monde (Exprimée en tonnes) (FAO 2023).

Les producteurs majeurs sont: la Chine (en tête de la production de volaille) les États-Unis, et le Brésil. L'Europe contribue collectivement pour une part importante de la production mondiale de volaille, comparable à celle des États-Unis (FAO 2023).

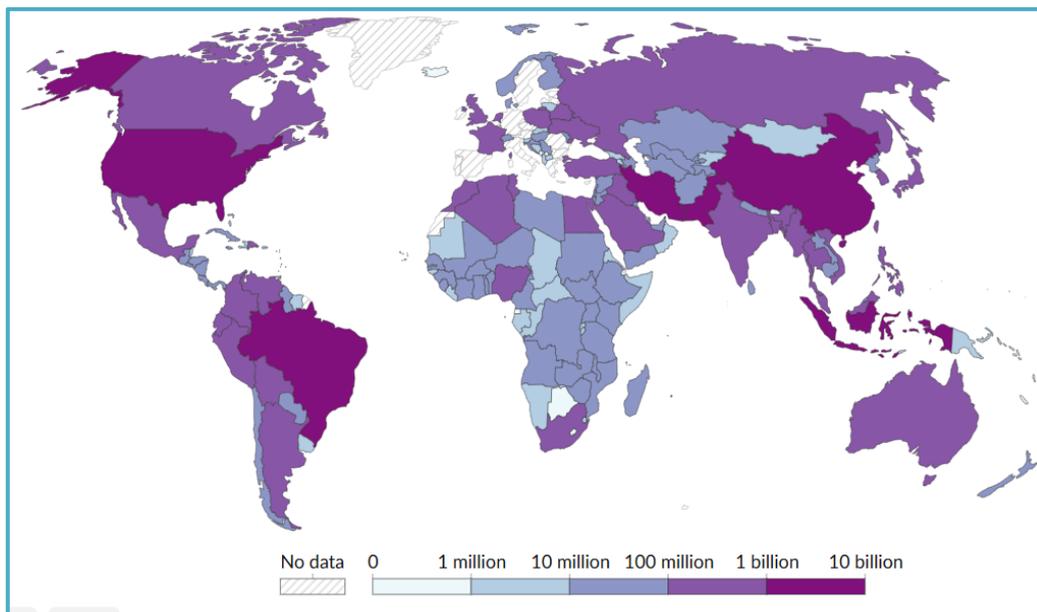
À l'échelle mondiale, la consommation de viande par habitant a suivi une tendance à la hausse au fil du temps, progressant à un rythme supérieur à celui de la croissance démographique. Toutefois, cette évolution varie selon les pays, reflétant en grande partie les

dynamiques économiques et les transitions alimentaires. Depuis les années 1960, des pays comme la Chine et le Brésil ont enregistré une augmentation significative de leur consommation de viande par habitant, tandis qu'en Inde, celle-ci demeure relativement faible en raison des préférences alimentaires culturelles et d'un régime majoritairement lactovégétarien (Ritchie *et al.*, 2023).



**Figure 2:** Consommation par habitant de différents types de viande par pays (Ritchie *et al.*, 2023).

Dans les pays à revenu élevé, tels que l'Australie, les nations européennes et l'Amérique du Nord, la consommation de viande reste élevée. Cependant, la croissance y a ralenti au cours des dernières décennies, avec des tendances marquant une stagnation, voire un léger déclin dans certaines régions. En Afrique, les tendances de consommation sont hétérogènes : certains pays affichent une faible consommation de viande par habitant, tandis que les économies à revenu plus élevé, comme l'Afrique du Sud, présentent des niveaux de consommation nettement plus élevés (Ritchie *et al.*, 2023).



**Figure 3:** Répartition de la volaille en 2022 (Ritchie et al., 2023).

### II.2.2 À l'échellenationale (en Algérie) :

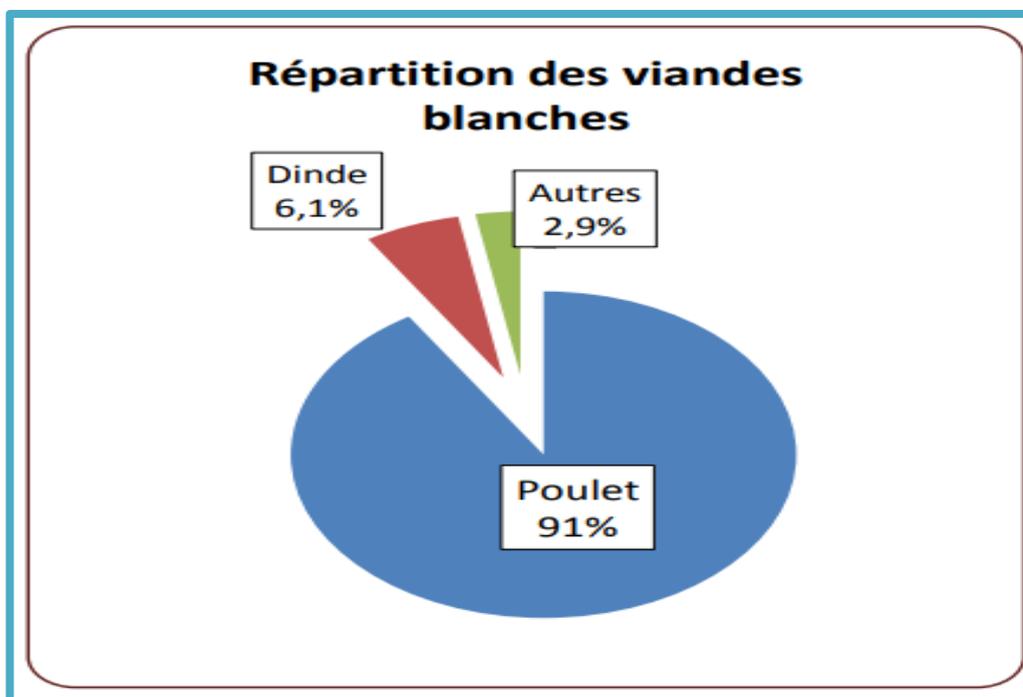
Depuis les années 1980, l'État algérien a accordé une attention particulière à l'orientation des éleveurs vers une production avicole intensive, dans le but d'augmenter la disponibilité en protéines animales face à la croissance démographique, à l'urbanisation croissante et à l'essor de la salarisation. En conséquence, la production nationale de viandes blanches a considérablement progressé, atteignant 5,3 millions de quintaux en 2017, contre 2,092 millions de quintaux en 2009, soit une augmentation de 153 %. De manière similaire, la production d'œufs de consommation a suivi cette tendance, passant de 3,8 milliards d'unités en 2009 à 6,6 milliards en 2017 (Belaid-Gater et al., 2023).

Sur la dernière décennie, la production de volailles a enregistré une hausse annuelle moyenne de 10,3 % pour les viandes blanches et de 6,2 % pour les œufs de table (Belaid-Gater et al., 2023). Cependant, l'intensification du secteur avicole présente plusieurs défis. Elle se caractérise par une fluctuation importante de la production au fil du temps et selon les régions.. De plus, le secteur reste vulnérable aux variations des facteurs endogènes et exogènes, ce qui impacte la stabilité des performances de production. L'analyse des prix met en évidence d'importantes variations saisonnières sur les marchés de la volaille. (Kaci, 2014).

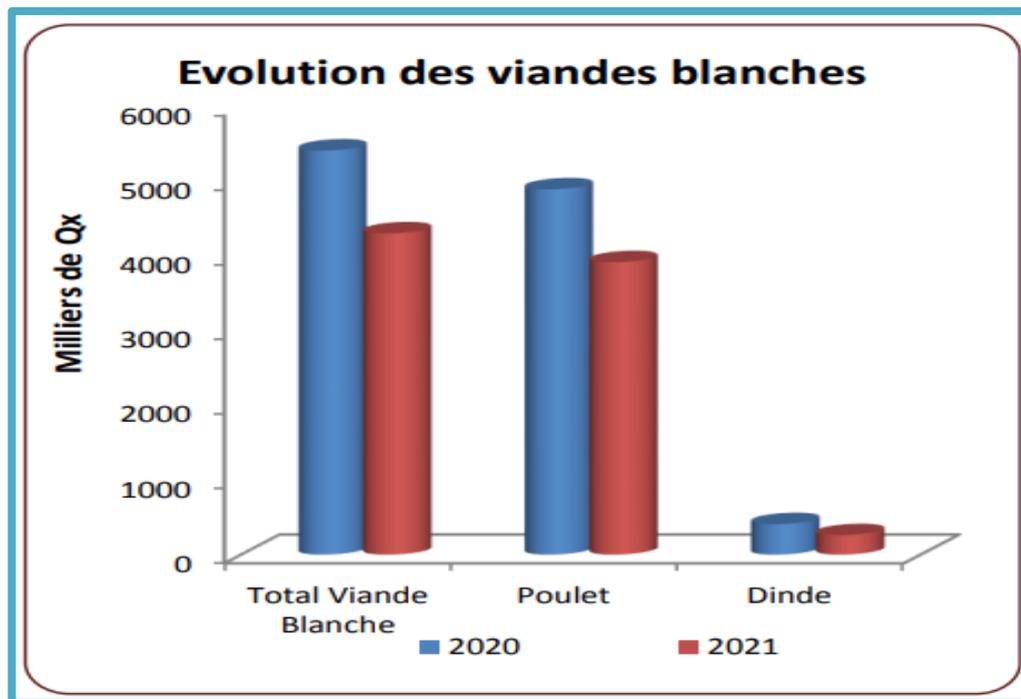
Les performances des élevages avicoles restent limitées, avec des taux de mortalité dépassant 10 %, un gain moyen journalier réduit, des pertes d'œufs et un gaspillage d'aliments. Ces faibles performances sont attribuables aux caractéristiques des exploitations avicoles et au

profil des éleveurs. Des facteurs techniques, économiques et socio-institutionnels contribuent à ces performances insuffisantes ainsi qu'à l'instabilité des prix des produits avicoles (**Kaci et Kheffache, 2016**).

Selon les statistiques de l'Office national des statistiques (ONS) pour la campagne agricole 2020/2021, la production de viande blanche en 2021 a atteint 4308 462 quintaux, représentée principalement par la production de viande de poulet 91%, tandis que la viande de dinde ne constitue que 6,1 % de l'ensemble des viandes blanches.



**Figure 4:** Répartition des viandes blanches produite en Algérie (ONS, 2023)



**Figure 5:** Evolution des viandes blanches en Algérie (ONS, 2023)

### II.3 Catégories des produits de volaille :

Il existe de nombreuses façons de classer les produits transformés. Par exemple, il existe des produits frais et congelés, séchés, en conserve. Alors que la viande de volaille était presque exclusivement un produit frais ou congelé vendu en rayon, avec des options institutionnelles et de restauration limitée

#### II.3.1 Formes de produits traditionnelles :

Les formes de produits traditionnelles sont les volailles entières crues, les morceaux découpés, la viande désossée et les produits à base de matières premières. Les formes de produits sont normalement commercialisées directement auprès des consommateurs ou des clients (Barbut, 2016).

#### II.3.2 Viande désossée et sans peau :

L'augmentation de la consommation de volaille au cours des 20 dernières années est principalement due à la demande croissante de filets de poitrine désossés et sans peau. Les filets sont commercialisés directement sous forme de produits de consommation frais et surgelés individuellement, ainsi que sous forme de produits marinés et constituent la base d'une multitude de plats de restauration rapide et de restaurants. (Sams *et al.*, 2001).

Une tendance similaire est observée dans les établissements de restauration rapide et les restaurants, qui proposent désormais beaucoup plus de plats à base de volaille pour répondre à la demande des consommateurs pour des plats délicieux et à faible teneur en matières grasses. (**Barbut, 2016**)

Sur le plan économique, selon la forme du marché, la moitié arrière ou la viande brune désossée et sans peau a un potentiel de prix par rapport à la poitrine de poulet désossée et sans peau. Bien que ces produits à base de viande brune qui connaissent le succès, comme la viande de cuisse désossée et sans peau et les morceaux et lanières pour les mélanges à fajitas (plat mexicain composé de viande grillée), l'offre excédentaire de viande brune est excessive. L'industrie de la dinde a beaucoup mieux réussi à utiliser la viande brune pour des produits de charcuterie transformés ultérieurement, comme le jambon de dinde, et pour la production de viande de cuisse de dinde hachée, un produit très réussi à part entière (**Sams et al., 2001**).

### **II.3.3 Produits formulés :**

Le succès de nombreux produits sur le marché de la restauration rapide, tels que les nuggets, les doigts de poulet, les galettes, les ailes de poulet Buffalo et les produits grillés, a favorisé leur acceptation par les consommateurs, qui manifestent désormais une volonté d'acheter des produits similaires pour la consommation à domicile (**Barbut, 2016**). Cette tendance marque un changement dans l'approche des restaurants et des entreprises de restauration rapide, qui proposent désormais de nouveaux produits qui s'éloignent souvent de la « cuisine maison » traditionnelle. Bien que ces produits présentent des similitudes visuelles, ceux destinés à la restauration rapide, aux programmes de repas scolaires, aux produits frais vendus au détail ou aux produits surgelés (prêts à cuire ou à réchauffer) peuvent être formulés de manière très différente (**Henchion et al., 2014**).

### **II.3.4 Entrées et plats prêt à être consommé :**

Il est clair que le secteur de la volaille est celui qui présente la plus grande diversité et que de nouveaux produits sont développés pour les entrées surgelées à base de viande de volaille. Ces produits vont des vénérables tourtes au poulet à des produits plus modernes, tels que les fettuccini au poulet (pâtes enrobées d'une sauce onctueuse au poulet), les fajitas au poulet (tortillas garnies de poulet savoureux et de légumes croquants), salade cezard au poulet et même la pizza au poulet. Ces entrées sont extrêmement populaires auprès des secteurs de la société qui souhaitent des repas rapides, flexibles et de haute qualité, pouvant être achetés,

conservés dans le congélateur domestique, puis réchauffés pour être consommés dans un délai très court (**Henchion *et al.*, 2014; Barbut, 2016**)

La volaille a connu du succès dans ce nouveau créneau, principalement car elle est relativement peu coûteuse, faible en matières grasses et très polyvalente dans une grande variété de produits et de plats transformés. Les entreprises peuvent préparer des repas spéciaux qui sont économiques et contiennent moins de 300 à 400 kcal (**Connolly et Campbell, 2023**).

### **III. Concept de la qualité de la viande :**

La notion de qualité est vaste et subjective, car elle varie en fonction des préférences individuelles (**Dudou *et al.*, 2004**). D'après l'Organisation internationale de normalisation (**ISO 9000, 2015**), la qualité se définit comme « l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un service ou d'un produit qui déterminent son aptitude à satisfaire des besoins, qu'ils soient exprimés ou implicites ». Pour le consommateur, la qualité d'un aliment repose principalement sur ses caractéristiques organoleptiques (**Coibion, 2008; Rai *et al.*, 2023**).

#### **III.1 Les normes de la qualité marchande de la volaille :**

Elles sont déterminées par les exigences des détaillants et des consommateurs, en mettant l'accent sur le poids à l'abattage, et l'apparence de la carcasse. Les facteurs qui influencent le poids et le rendement à l'abattage comprennent la souche, le sexe, le système d'élevage et l'âge d'abattage, tandis que l'apparence de la carcasse est affectée par le régime alimentaire, l'élevage et les conditions d'abattage. Le rendement en poitrine est un facteur économique clé, les poulets à croissance lente produisant 16 % et les souches à croissance rapide 22 %, principalement en raison de la sélection génétique (**Ikusika *et al.*, 2020**).

#### **III.2 Attributs sensoriels et facteurs de variation de la qualité de la viande de volaille:**

La qualité de la viande et son apport nutritionnel dépendent en grande partie de sa composition. La chair de volaille est constituée essentiellement d'eau, de protéines, de lipides et de collagène (**Rai *et al.*, 2023**). Les caractéristiques sensorielles, telles que l'apparence, l'odeur, la saveur, la tendreté et la jutosité, jouent un rôle essentiel dans l'acceptabilité par les consommateurs. Les conditions d'élevage influencent la structure musculaire et la teneur en collagène, impactant ainsi la texture de la viande. En général, les volailles à croissance lente présentent une concentration plus importante en collagène, ce qui peut entraîner une fermeté accrue. De plus, un régime alimentaire riche en énergie favorise le dépôt de collagène, modifiant

ainsi la structure du muscle et les propriétés technologiques de la viande (**Grashorn, 2010; Rai et al., 2023**).

### III.2.1 La couleur de la viande :

La couleur de la viande de volaille est un paramètre sensoriel primordial qui affecte la perception du consommateur et ses décisions d'achat (**Frank et al., 2022**). Elle est influencée par plusieurs facteurs, notamment:

- **Régime alimentaire:** Les pigments caroténoïdes présents dans le maïs ou la spiruline influencent l'intensité de la coloration jaune de la viande. Chez les poulets « Label Rouge », une alimentation plus riche en maïs accentue la pigmentation des filets, les rendant plus foncés, avec des teintes rougeâtres et jaunâtres. Quant aux canards soumis à une suralimentation, leur forte teneur en lipides et en caroténoïdes contribue à une coloration brun chocolat de leur filet (**Gigaud et al., 2011**).
- **Génétique :** des variations génétiques spécifiques affectent la rétention des caroténoïdes, ce qui a un impact sur le jaunissement de la viande. Une teneur en lipides plus élevée augmente également la clarté et le jaunissement (**Baéza et al., 2022**).
- **Protéines hémiqes :** la myoglobine, l'hémoglobine et les cytochromes influencent la rougeur. Les oiseaux plus âgés ont une viande plus foncée et plus rouge en raison d'une teneur en hémoglobine accrue (**Gigaud et al., 2011**).
- **pH et réserves de glycogène :** un pH post-mortem faible est corrélé à une viande plus claire, tandis qu'un pH élevé donne une viande plus foncée. Le stress avant l'abattage affecte le glycogène musculaire et, par conséquent, la couleur de la viande (**Chenut et al., 2013**).
- **Stockage et oxydation:** la couleur de la viande se détériore avec le temps, la rougeur diminue pendant le stockage, en particulier sous l'effet de la lumière. Une supplémentation en vitamine E et en sélénium peut aider à ralentir la décoloration (**Baéza et al., 2022**).

### III.2.2 La jutosité de la viande :

La jutosité et la tendreté sont considérées comme les attributs de qualité les plus importants de la viande fraîche et des produits carnés. Selon **Chartrin et al., (2006)** la jutosité est influencée par :

- **Teneur en eau et en matières grasses :** une teneur en lipides plus élevée améliore la jutosité. Cependant, la cuisson réduit la rétention d'eau, ce qui affecte la jutosité perçue.

- **Âge et génotype** : les oiseaux plus âgés ont tendance à avoir une viande moins juteuse. Les poulets « Label Rouge » à croissance lente ont une viande plus ferme que celle des poulets élevés de manière conventionnelle.
- **Méthode de cuisson** : la cuisson à la vapeur (ou sous vide) conserve plus de jutosité par rapport aux autres techniques de cuisson.

### III.2.3 La tendreté de la viande :

La tendreté de la viande de volaille résulte principalement de l'abattage précoce des oiseaux (Baéza *et al.*, 2022). Cependant, plusieurs facteurs influencent ses propriétés texturales:

- **Âge et génotype** : L'âge avancé conduit au durcissement progressif de la viande. Chez les poulets à croissance lente et les canards de Barbarie, cette évolution se manifeste par une diminution de la tendreté (Baéza *et al.*, 2022).
- **Influence du pH** : Un pH ultime élevé (> 6,0) conduit à une viande dite DFD (Dark, Firm, Dry: foncée, ferme et sèche), tandis qu'un pH ultime inférieur à 5,7 est associé à une viande PSE (Pale, Soft, Exudative: pâle, molle et exsudative) (Alnahhas *et al.*, 2014).
- **Intervalle entre abattage et désossage** : Un désossage précoce (dans les 45 minutes à 2 heures suivant l'abattage) entraîne une augmentation de la fermeté de la viande. Une attente minimale de 4 heures permet d'optimiser la tendreté, bien qu'une maturation prolongée puisse atténuer les effets négatifs d'un désossage hâtif (Baéza *et al.*, 2022).
- **Anomalies de croissance**: Certaines myopathies, telles que la « poitrine en bois » (wooden breast), sont associées à une augmentation significative de la dureté de la viande (Baéza *et al.*, 2022).
- **Emballage sous atmosphère modifiée** : Une forte concentration en CO<sub>2</sub> associée à une faible teneur en O<sub>2</sub> contribue à préserver la tendreté et améliore les propriétés organoleptiques (goût et odeur) de la viande au cours du stockage (Baéza *et al.*, 2022).

### III.2.4 La saveur de la viande:

Se développe principalement par des réactions thermiques pendant la cuisson, car la viande crue possède peu d'arôme. Ces réactions impliquent des composés non volatils provenant des tissus maigres et gras. La composition du régime alimentaire affecte considérablement la saveur en modifiant la teneur en lipides, les niveaux d'antioxydants et les composés volatils. Les canards suralimentés, qui ont plus de matières grasses, ont des saveurs plus fortes en raison

d'une teneur plus élevée en phospholipides, qui agissent comme précurseurs de saveur. De même, les cuisses de poulet, qui contiennent plus de matières grasses que les filets, ont une saveur plus prononcée (**Chartrin et al., 2006**).

L'âge, le sexe et le génotype ont un impact sur la saveur en influençant la teneur en lipides. Des études montrent que la saveur du poulet et du canard s'intensifie avec l'âge, en particulier entre 8 et 15 semaines. (**Chartrin et al., 2006**).

Le pH de la viande affecte également la perception du goût, un pH plus faible étant lié à des scores d'acidité plus élevés (**Baéza et al., 2022**).

Les conditions de stockage ont un impact sur la stabilité de la saveur. Les volailles stockées à des températures plus basses (+4°C contre +8°C) et dans des atmosphères modifiées (CO<sub>2</sub> élevé, O<sub>2</sub> faible) conservent de meilleurs profils de goût et d'odeur. Cependant, l'exposition à l'oxygène accélère le rancissement et la formation de saveurs désagréables, en particulier dans les cuisses de dinde et les filets de poulet. (**Chartrin et al., 2006; Baéza et al., 2022**).

#### **IV.Méthode de conservation de la viande:**

La durée de conservation de la viande désigne la durée pendant laquelle les produits carnés peuvent être consommés sans danger et conservent leurs caractéristiques sensorielles, chimiques, physiques et microbiologiques souhaitées dans des conditions de stockage spécifiées (**Antoniewski et Barringer, 2010**).

Cette durée varie en fonction de nombreux facteurs en particulier la température de conservation, l'oxygène atmosphérique (O<sub>2</sub>), les enzymes endogènes, l'humidité, la lumière, les méthodes de transformation et le type de viande, par exemple, la durée de conservation de la viande fraîche réfrigérée est de 3 à 5 jours (bœuf), et de 1 à 2 jours (volaille, poisson) (**Giménez et al., 2012; Zhang et al., 2022**).

Par ailleurs, il a été démontré qu'une teneur plus élevée en lipides dans la viande hachée de bœuf et d'agneau sous vide réduit la durée de conservation en raison d'une diminution des niveaux de glucose et d'acide lactique, éléments clés de la stabilité microbienne (**King et al., 2023**). De plus, une élévation du pH dans la viande de volaille fraîches a été associée à une

rétenion d'eau accrue, créant ainsi un environnement favorable au développement des bactéries d'altération (Zhang *et al.*, 2022).

la prolifération des bactéries d'altération peuvent entraîner une augmentation de la perte alimentaire et des pertes économiques, Aux États-Unis, une estimation de 2 à 4 % de la viande transformée est perdue en raison de la détérioration, alors que la valeur totale de ces produits carnés alteres est de 83 127 millions de dollars (Karwowska *et al.*, 2021).

C'est pour cette raison, qu'il est nécessaire d'optimiser les techniques de stockage et les processus de transformation afin de prolonger efficacement sa durée de conservation.

Il existe plusieurs méthodes de conservation de la viande, mais la plus couramment utilisée est le stockage à basse température (Toldrá, 2023).

#### **IV.1 Méthodes de conservation traditionnelles :**

##### **IV.1.1 Traitement thermique :**

Le chauffage est probablement la méthode de conservation la moins chère et la plus efficace, visant à détruire les agents pathogènes et les micro-organismes de détérioration dans la viande (Kerry 2011). Quel que soit le type de viande, les effets du chauffage se manifestent comme suit :

- Altération physique de la texture de la viande par solubilisation des protéines de collagène en gélatine.

- Altération physique de la forme et de l'homogénéité du produit carné par la gélification des protéines de viande solubles dans le sel.

Génération de saveurs et d'apparences uniques de viande cuite.

Stabilité accrue de la durée de conservation par inactivation des enzymes et destruction de lamicroflore de la viande (Kerry 2011)

##### **IV.1.2 Réfrigération et congélation :**

Le recours à la réfrigération et à la congélation de la viande a été utilisé pour augmenter la durée de conservation de la viande sans modifier radicalement son état. Les micro-organismes possèdent une plage de température optimale pour leur multiplication. Lorsque la température ambiante s'écarte de cette plage préférentielle, leur taux de croissance diminue progressivement jusqu'à ce qu'il cesse complètement (Lawrie et Ledward, 2006).

La congélation est un moyen très efficace de conserver la viande d'un point de vue microbiologique, car la croissance microbienne s'arrête généralement à -12 °C. De plus, pendant le processus de congélation, environ 60 % des populations microbiennes viables peuvent être détruites (**Ockerman et Basu, 2004; Correa et al., 2024**)

Bien que la détérioration due à la croissance microbienne soit bien contrôlée dans la viande congelée, des réactions physiques, chimiques et biochimiques peuvent toujours se produire dans les tissus, entraînant des changements enzymatiques, un rancissement oxydatif et une cristallisation de la glace (**Zhou et al., 2010**). Le stockage congelé à -55 °C a été proposé comme moyen d'empêcher complètement les altérations de qualité de la viande fraîche (**Hansen et al., 2004**).

#### **IV.1.3 Le séchage :**

Le séchage de la viande à des fins de conservation implique l'élimination de la majeure partie de l'eau présente dans la viande, soit par évaporation, soit par sublimation. En général, les produits à base de viande séchée peuvent être considérés comme stables à la conservation et peuvent être stockés à des conditions ambiantes pendant des périodes prolongées. De nos jours, le séchage des produits carnés est réalisé par des méthodes plus conventionnelles que le séchage à l'air ou au soleil et repose sur le séchage par convection incorporant de la chaleur sous forme de flux solaires, de micro-ondes ou d'air chaud (**Santchurn et al., 2012**).

#### **IV.2 Méthodes de conservation développées :**

Une tendance croissante dans les habitudes alimentaires des consommateurs au cours des 15 dernières années révèle qu'il existe une demande croissante de viande de meilleure qualité, plus sûre et à durée de conservation prolongée (**Aymerich et al., 2008; Frang et al., 2023**).

##### **IV.2.1 Le super-refroidissement :**

Il est également connu sous le nom de refroidissement profond, il gagne du terrain ces derniers temps en tant que pratique commerciale viable, car il a le potentiel d'augmenter la durée de conservation de la viande fraîche (**Magnussen et al., 2008**). La température de la viande est abaissée de 1 à 2 °C en dessous du point de congélation initial de la viande pour empêcher la formation de cristaux de glace et donc également pour empêcher les pertes potentielles par égouttement qui peuvent résulter des processus de congélation-décongélation pendant le transport et la distribution de la viande (**Bahuaud et al., 2008**).

#### IV.2.2 Utilisation des antimicrobiens naturels :

L'utilisation d'antimicrobiens pour inhiber ou inactiver les micro-organismes et les agents pathogènes de détérioration de la viande est une pratique courante.

Additifs chimiques est devenue indésirable pour les consommateurs ces derniers temps, créant une demande pour des moyens de conservation plus naturels. Ceci, combiné à la nécessité d'élargir le spectre d'activité antimicrobienne par rapport à celui des substances approuvées par la réglementation, a incité la communauté scientifique à explorer l'utilisation d'antimicrobiens d'origine naturelle ; qui peuvent être classés en fonction de la source dont ils sont dérivés, à savoir animale, végétale et microbienne (**Drosinos *et al.* 2009 ; Hayes et Brunton, 2011**).

❖ - Les antimicrobiens naturels d'origine animale :

**La chitosane** : est dérivé de la désacétylation alcaline de la chitine, un polysaccharide contenant de l'azote et le principal composant des exosquelettes des crustacés. Le chitosane inhibe la croissance des moisissures, des levures et des bactéries, (**Roller et Covill, 2000**).

**Lalactoferrine**: est une glycoprotéine globulaire dérivée principalement du lait et du colostrum bovins. a une efficacité limitée ; elle a démontré son efficacité contre *Bacillus subtilis*, *B. stearothermophilus*, *Listeriamonocytogenes* et *Micrococcus spp.* (**Naidu et Bidlack, 1998**).

**La lactoferrine B** : également connue sous le nom de lactoferrine hydrolysée, est produite par hydrolyse acide-pepsinade la lactoferrine et est considérée comme plus active que la lactoferrine (**Naidu, 2002**).

**La lactoperoxydase** : la lactoperoxydase est une enzyme dérivée du lait et du colostrum de vache. Le défi de la lactoperoxydase est qu'elle nécessite la présence de thiocyanate et de peroxydase d'hydrogène pour exercer une activité antimicrobienne ; elle nécessite donc l'ajout exogène de ces réactifs pour être considérée comme un conservateur viable.

**Le lysozyme** : le lysozyme est une enzyme dérivée du lait de mammifère et des œufs d'oiseaux. Il est particulièrement efficace contre les bactéries à Gram positif, il a été proposé comme traitement de surface sur de nombreuses viandes transformées pour inhiber la croissance *L. monocytogenes* (**Naidu, 2002**).

❖ - Les antimicrobiens naturels d'origine végétale :

Sont impliquées dans le cadre de la défense des plantes contre les micro-organismes et les insectes. (**Drosinos *et al.*, 2009**). Les composants qui ont montré le plus de potentiel pour la conservation des aliments sont les composés phénoliques et les huiles essentielles (**Davidson et Zivanovic, 2003**). Les huiles essentielles sont principalement constituées de terpènes, de terpénoïdes et d'autres composés aromatiques (par exemple, des phénols, tels que l'eugénol, le thymol, les aldéhydes, les esters et les alcools) (**Bakkali *et al.*, 2023**).

D'autres extraits de plantes comprennent des dérivés d'isothiocyanate (par exemple, présents dans le chou, le raifort, la moutarde, le brocoli) et des composés phénoliques tels que les di- ou triphénols, les acides phénoliques tels que l'acide hydroxycinnamique et les flavonoïdes (**Davidson et Zivanovic, 2003**). Divers mécanismes d'inhibition ont été proposés pour les huiles essentielles, le plus principalement, la perturbation des propriétés structurelles et fonctionnelles des membranes bactériennes. Plus précisément, il est proposé que les huiles essentielles pénètrent la membrane cellulaire, se dissolvent dans la couche lipidique des membranes cellulaires, se lient aux sites hydrophobes des protéines membranaires et, en augmentant la perméabilité de la membrane cellulaire, entraînent une perte de matériel intracellulaire vital ou inhibent l'apport de nutriments par dissipation du gradient de pH et du potentiel électrique (**Burt, 2004**).

❖ - **Biopréservation par les bactéries lactiques et leurs métabolites :**

Fait référence à l'utilisation de micro-organismes non pathogènes et/ou de leurs métabolites pour réduire la détérioration de la viande et/ou améliorer la sécurité alimentaire. Les bactéries lactiques (LAB) ont un potentiel important dans la conservation des aliments; elles constituent un groupe de cocci ou de bâtonnets Gram-positifs et catalase-négatifs ayant des caractéristiques similaires et la capacité de produire de l'acide lactique comme principal produit de la fermentation des glucides. (**Corsetti, 2008; Kaveh *et al.*, 2023**).

#### **IV.2.3 L'Irradiation :**

L'irradiation est une technologie efficace pour inactiver les micro-organismes présents dans la viande et les produits carnés (**Lim *et al.*, 2008**). Les produits sont exposés à des rayonnements ionisants (rayons gamma, électrons accélérés ou rayons X) dont la fonction est de détruire les micro-organismes, en endommageant l'ADN par les rayons gamma.

Contrairement à la chaleur, l'irradiation n'augmente pas significativement la température des aliments, ce qui contribue à préserver leur qualité sensorielle et nutritionnelle. (**Lim et al., 2008**).

L'irradiation de la viande à des fins de conservation présente un avantage par rapport aux autres méthodes de conservation: elle prolonge la durée de conservation tout en minimisant le risque de contamination microbienne et ne laisse pas de résidus potentiellement nocifs. (**Blackburn, 2011**).

L'irradiation est souvent **mal perçue par les consommateurs**, en raison d'une **méfiance liée au mot "irradiation"**, associé à tort à la radioactivité ou à des risques pour la santé, malgré son innocuité prouvée scientifiquement. Ce **rejet psychologique ou culturel** limite son acceptabilité et donc sa mise en œuvre à grande échelle (Farkas, 2006).

#### **IV.2.4 Pression hydrostatique élevée :**

L'application de la haute pression hydrostatique (HHP) dans la transformation de la viande offre une alternative innovante aux méthodes traditionnelles. Elle consiste à appliquer une pression intense (généralement comprise entre 100 et 600 MPa) sur des aliments conditionnés dans un liquide, afin d'inactiver les micro-organismes et enzymes responsables de la détérioration (**Soto-Caballero et al., 2021**).

Le traitement HHP affecte principalement les liaisons covalentes des macromolécules dans la viande, entraînant des changements nutritionnels et sensoriels minimes comparés au chauffage (**Pandurangi et Balasubramaniam, 2005; Soto-Caballero et al., 2021**).

#### **IV.2.5 L'Emballage :**

L'emballage est un support mécanique au produit et peut retarder les effets de détérioration biologiques et chimiques tels que la décoloration et le développement d'un mauvais goût et d'une mauvaise couleur (**Nychas et Skandamis 2005; Khodaei et al., 2023**). Les technologies d'emballage ont évolué ces dernières années pour améliorer la sécurité et la durée de conservation de la viande.

La conservation de la viande et de la volaille grâce à l'emballage peut être classée en trois domaines principaux :

- L'atmosphère gazeuse.
- L'emballage actif.

- L'emballage intelligent (Khodaei *et al.*, 2023).

La gestion de l'atmosphère gazeuse dans l'emballage consiste à remplacer l'air naturel (composé de 78 % de N<sub>2</sub>, 21 % d'O<sub>2</sub>, 0,94 % d'argon et 0,02–0,03 % de CO<sub>2</sub>) par des gaz spécifiques pour prolonger la conservation des produits carnés. Deux techniques courantes sont l'emballage sous vide et l'emballage sous atmosphère modifiée (Khodaei *et al.*, 2023). L'emballage sous vide élimine l'O<sub>2</sub>, ce qui réduit les réactions oxydatives et empêche la croissance de bactéries aérobies et de moisissures (Belcher, 2006).

L'emballage sous atmosphère modifiée, remplace l'air par un mélange précis de gaz, principalement O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>, pour contrôler la qualité microbiologique et la couleur de la viande (Belcher, 2006).

L'emballage sous atmosphère modifiée peut être utilisé à haute ou faible teneur en O<sub>2</sub>. Un environnement riche en O<sub>2</sub> favorise une couleur rouge vif (oxymyoglobine), mais n'empêche pas la croissance des organismes aérobies de détérioration (Khodaei *et al.*, 2023). L'ajout de CO<sub>2</sub> (généralement entre 20 et 40 %) permet d'inhiber la croissance microbienne et de préserver la couleur de la viande (Khodaei *et al.*, 2023). L'emballage sous atmosphère modifiée à faible teneur en O<sub>2</sub>, souvent combiné à des concentrations élevées de CO<sub>2</sub> (jusqu'à 65 %), est utilisé pour prolonger la durée de conservation, spécialement pour les viandes stockées pendant de longues périodes, ce traitement peut être complété par des stratégies comme le film double couche et l'emballage principal, qui permettent de maintenir la couleur et les qualités organoleptiques de la viande (Belcher, 2006).

Les gaz expérimentaux comme le CO, SO<sub>2</sub>, et N<sub>2</sub>O ont montré un potentiel antimicrobien, bien que leur utilisation commerciale soit limitée en raison de problèmes de sécurité et organoleptiques. Les technologies combinant méthodes traditionnelles et nouvelles de conservation ont un grand potentiel pour améliorer la sécurité, la qualité et la durée de conservation des viandes (Eyamkondan *et al.*, 2000; Belcher, 2006; (Khodaei *et al.*, 2023).

## V. Risques sanitaires associés à la viande de volaille

La viande de poulet est une source essentielle de protéines, mais elle présente plusieurs risques pour la santé publique si elle est mal manipulée ou insuffisamment cuite. Ces dangers sont principalement d'origine microbiologique, chimique et physique.

### V.1 Risques chimiques :

Les résidus de pesticides, d'antibiotiques et de métaux lourds dans la viande de poulet représentent une préoccupation majeure. L'utilisation excessive d'antibiotiques dans l'élevage favorise la résistance bactérienne, ce qui réduit l'efficacité des traitements médicaux en cas d'infection humaine (Swayne, 2019).

### V.2 Risques physiques :

La présence de fragments d'os ou de particules étrangères peut causer des blessures buccales ou digestives. Ces contaminants peuvent provenir d'erreurs de transformation industrielle ou de mauvaises pratiques de découpe.

### V.3 Risques microbiologiques :

#### V.3.1 La flore autochtone:

La flore autochtone ou la microflore naturelle de la viande de poulet comprend un ensemble de micro-organismes naturellement présents sur la carcasse après l'abattage. Elle dépend de nombreux facteurs (hygiène d'abattage, conditions de stockage, température, atmosphère, etc.) (Fernandes, 2009), mais en général, les groupes microbiens dominants sont les suivants :

- **Bactéries Gram-négatives** : *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Moraxella spp.*, et *Psychrobacter spp.*
- **Bactéries Gram-positives** : *Brochothrix thermosphacta*, *Micrococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* (bactéries lactiques) peuvent devenir dominantes en condition anaérobie (Cartier, 2007; Fernandes, 2009).

Le poulet cru est fréquemment contaminé par des bactéries pathogènes telles que *Campylobacter* et *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* et *Staphylococcus aureus* qui sont responsables d'infections ou intoxication d'origine alimentaire. De plus, la prévalence de *Campylobacter* qui est saisonnière, avec un pic en été et en automne, et elle est généralement plus élevée dans les élevages biologiques que conventionnels (Van Overbeke et al., 2006; Voidarou et al., 2011). La contamination par *Listeria monocytogenes* résulte souvent d'une contamination croisée dans les abattoirs (Schäfer et al., 2017).

L'augmentation des infections à *Salmonella* depuis 2014, malgré des baisses antérieures grâce aux améliorations des politiques d'élevage, souligne la nécessité d'un contrôle renforcé (EFSA Panel on Biological Hazards, 2019). Parmi les principaux facteurs de risque figurent le stress, la densité de peuplement et une gestion inadéquate des élevages (Alali *et al.*, 2010; Wierup *et al.*, 2017).

Les virus de la grippe aviaire (*H5N1*, *H7N9*) constituent un risque zoonotique majeur, la transmission se faisant principalement par contact direct avec des oiseaux infectés (Swayne, 2019). De plus, la psittacose (*Chlamydia psittaci*) peut être transmise par l'exposition aux volailles (Vorimore *et al.*, 2015).

### V.3.2 Origine de contamination de la viande :

La contamination débute dès l'abattage et se poursuit tout au long des étapes de désossage et de préparation de la viande en boucherie (Oumokhtar *et al.*, 2008; Benaissa, 2016.) où 80 à 90 % des micro-organismes présents sur la viande proviennent de l'abattoir (Cartier, 2007). Cette contamination résulte des nombreux contacts directs lors des différentes opérations.

Lors de l'éviscération, le contenu du tube digestif peut souiller la carcasse à travers ses orifices naturels (rectum et œsophage) ou par des blessures accidentelles causées par les instruments de découpe (Fosse *et al.*, 2006).

Les sources de contamination de la viande sont variées et d'importance inégale, résultant de divers facteurs. Selon leur origine, les micro-organismes contaminants peuvent être classés en deux catégories : endogènes ou exogènes (Corry, 2007).

#### a. Contamination exogène:

- Personnel : Lors des opérations d'abattage, le personnel peut contaminer les carcasses et les surfaces de contact par des mains souillées, des vêtements mal entretenus, un matériel inapproprié, l'eau et le sol. Le risque de contamination est particulièrement élevé sur la chaîne d'abattage, notamment si le personnel présente des infections des voies respiratoires, augmentant ainsi la probabilité d'un contact avec la carcasse (Cartier, 2007 ; Benaissa, 2016).
- Infrastructures et équipements : Un nettoyage insuffisant des outils et des surfaces de travail constitue une source majeure de contamination (Cartier, 2007). Les sols, murs et plafonds des locaux, ainsi que les équipements de lavage, crochets et matériels de

découpe (haches, couteaux, bacs, seaux, etc.), s'ils sont mal entretenus ou mal conçus, peuvent favoriser la prolifération microbienne (**Hamad, 2009**).

- Eau : L'eau, largement utilisée dans les abattoirs, peut être un vecteur de contamination, notamment si elle stagne dans des zones humides non nettoyées régulièrement (**Corry, 2007**). L'eau non potable constitue un risque accru en raison de la présence potentielle de parasites et de bactéries pathogènes (**Andjongo, 2006**).
- Air : L'atmosphère peut contenir des micro-organismes responsables d'altération. Les particules en suspension, incluant poussières et spores de moisissures, sont susceptibles de contaminer les surfaces de travail et les carcasses (**Andjongo, 2006**). La contamination microbienne de l'air est essentiellement composée de bactéries et de moisissures, tandis que la présence de levures et de germes pathogènes reste plus rare. De plus, les grandes pièces de viande sont moins exposées aux contaminations atmosphériques que les morceaux découpés (**Cuq, 2007**).

#### b. Contamination endogène:

Les micro-organismes endogènes proviennent directement de l'animal et sont principalement issus de son appareil digestif, respiratoire et de sa peau, qui constituent des réservoirs microbiens (**Cartier, 2004**).

- Flore du tube digestif : La contamination par la flore intestinale est causée par des bactéries anaérobies (*Clostridium*), aéro-anaérobies ou microaérophiles (*Enterococcus*, *Campylobacter*). Ces bactéries peuvent atteindre les muscles lors de l'éviscération et de la découpe de la carcasse. Par ailleurs, le passage de bactéries intestinales dans la circulation sanguine est un phénomène fréquemment observé chez les animaux de boucherie (**Cuq, 2007**).
- Flore cutanée et muqueuses : La peau des animaux est largement contaminée par le sol et la poussière (**Loubamba, 2012**). Elle abrite divers germes tels qu'*Escherichia coli* et d'autres coliformes (*Aerobacter*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Klebsiella*) (**Cartier, 2007**). Les moisissures, principalement saprophytes, telles que *Penicillium*, *Sporotrichum*, *Cladosporium*, et *Thamnidium*, sont également fréquentes. La présence de levures y est rapportée (**Cuq, 2007**).

### V.3.3 Effet de la transformation sur la flore microbiologique

Comme mentionné précédemment, les volailles vivantes transportent divers micro-organismes sur leurs plumes, pattes et dans leurs intestins. Le plumage mécanique et l'éviscération, peuvent entraîner une contamination croissante par transfert fécal et aérosols, favorisant la propagation des agents pathogènes entre les carcasses (**Swatland, 1999; Swayne, 2019**).

#### ➤ Altération de la viande de poulet réfrigérée

Lors du stockage réfrigéré, la flore microbienne se développe principalement sur la peau et la paroi de la cavité viscérale. En quelques jours, la concentration bactérienne atteint des niveaux élevés  $10^7$  à  $10^8$ , favorisant l'apparition d'odeurs nauséabondes de mucus. Les espèces dominantes incluent *Pseudomonas spp.*, *Acinetobacter spp.* et *shewanella putrefaciens*, cette dernière proliférant davantage sur les cuisses en raison d'un pH plus élevé que celui de la poitrine (**Swatland, 1999; Swayne, 2019**).

La flore Gram-positif comprend des microcoques, des bactéries lactiques et *Brochothrix thermosphacta*. Certaines bactéries pathogènes, comme *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* et *Clostridium spp.*, proviennent des intestins des animaux ou d'une contamination croisée (**Dervilly et al., 2022**).

L'évolution de la flore dépend des conditions de stockage et de transformation. À proximité de 0°C, les psychrotrophes dominent en raison de leur croissance rapide. Toutefois, les Gram-positives sont plus résistantes aux conditions défavorables (pH bas, réduction de l'activité de l'eau), leur permettant de persister plus longtemps sur la viande (**Dervilly et al., 2022**). Cela souligne l'importance des mesures d'hygiène tout au long de la chaîne de transformation et de conservation.

### V.3.4 Mesures de contrôle et prévention:

Afin de limiter ces risques, il est essentiel d'adopter de bonnes pratiques d'hygiène et de manipulation des aliments :

- Assurer une cuisson interne du poulet à une température d'au moins 75°C pour éliminer les bactéries.
- Séparer les aliments crus des aliments cuits afin d'éviter la contamination croisée.
- Maintenir une bonne hygiène dans les abattoirs, en particulier lors de l'éviscération et du refroidissement des carcasses.
- Stocker la viande à des températures appropriées pour ralentir la prolifération bactérienne.
- Réduire l'usage abusif d'antibiotiques et privilégier des alternatives naturelles pour limiter la contamination chimique (**Dubois-Brissonnet, et Guillier, 2020**).

L'application stricte de ces mesures permet de minimiser efficacement les dangers associés à la consommation de viande de poulet (**Dubois-Brissonnet, et Guillier, 2020**).

#### V.4 Paramètres réglementaires applicables à la viande en Algérie :

##### V.4.1 Critères microbiologiques:

Les critères microbiologiques réglementaires en Algérie pour les produits issus de volaille, selon l'arrêté interministériel du 4 octobre 2016, publié au Journal Officiel n°39 du 2 juillet 2017 :

Viandes crues de volaille (y compris hachées)

- *Salmonella spp.* : absence dans 25 g (*Critère de sécurité*).
- *Campylobacter spp.* : absence dans 10 g.
- *Escherichia coli* :  $\leq 5,0 \times 10^3$  (*Critère d'hygiène*).
- *Staphylococcus aureus* (coagulase positive) :  $\leq 10^3$  UFC/g.
- **Germes aérobies mésophiles** :  $\leq 5,0 \times 10^5$  UFC/g.
- **Anaérobies sulfito-réducteurs** :  $\leq 10$  UFC/g.

Produits de volaille cuits (ex. : saucisses, charcuteries de volaille, blancs cuits)

- *Listeria monocytogenes* : absence dans 25 g si le produit est prêt à consommer.
- *Salmonella spp.* : absence dans 25 g.
- *Staphylococcus aureus* :  $\leq 10^2$  UFC/g.
- *Campylobacter* : absence dans 10 g.
- Nombre total de germes mésophiles : variable selon le produit (ex. :  $\leq 10^5$  ou  $10^6$  UFC/g).

Présence de *Salmonella* ou *Campylobacter* indique que le lot est impropre à la consommation.

#### V.4.2 Paramètres physicochimiques :

Les paramètres physico-chimiques réglementaires des viandes (y compris la viande blanche) :

##### ➤ Mesurage du pH

C'est un indicateur important de la fraîcheur et des conditions de conservation. Mesurage à l'aide d'un pH-mètre avec électrode en verre et électrode de référence.

La valeur normale du pH pour la viande fraîche se situe entre 5,4 et 6,0. Un pH supérieur à 6,2 peut indiquer une viande altérée (viande DFD), tandis qu'un pH inférieur à 5,3 peut signaler une viande stressée (viande PSE) **Arrêté du 15 janvier 2006 (JO n°23 - 2006).**

##### ➤ Teneur en humidité

L'humidité représente la teneur en eau de la viande, exprimée en pourcentage de masse. Elle est déterminée par séchage de l'échantillon à  $103 \pm 2$  °C jusqu'à obtention d'une masse constante. La viande fraîche contient généralement entre 65 % et 75 % d'eau. Une humidité anormalement élevée peut être le signe d'un ajout d'eau ou d'une altération de la qualité. **Arrêté du 19 octobre 2005 (JO n°01 - 2006).**

##### ➤ Teneur en matière grasse totale

Ce paramètre évalue la quantité totale de lipides présents dans la viande, exprimée en pourcentage. Elle est mesurée après hydrolyse acide (avec de l'acide chlorhydrique) et extraction avec un solvant organique comme le n-hexane, selon la méthode de Soxhlet. La viande blanche (comme le poulet) est considérée comme maigre si la teneur est inférieure à 5 %. Une teneur plus élevée peut refléter l'ajout de gras ou une mauvaise classification du produit. **Arrêté du 26 avril 2006 (JO n°33 - 2006).**

##### ➤ Teneur en Azote total (Kjeldahl)

L'azote total correspond à la quantité d'azote organique contenue dans la viande, ce qui permet de calculer la teneur en protéines. La méthode consiste à transformer l'azote en ammoniac, puis à le distiller et le titrer. Le résultat est exprimé en grammes d'azote pour

100 g de viande. Par exemple, 2,2 g d'azote correspondent à environ 13,75 % de protéines. Un taux faible peut indiquer une viande diluée ou de mauvaise qualité. **Arrêté du 26 avril 2006 (JO n°37 - 2006).**

➤ **Teneur en Phosphore total**

Ce paramètre indique la quantité de phosphore présente dans la viande, qu'elle soit d'origine naturelle ou issue d'additifs (comme les polyphosphates). Il est mesuré après minéralisation acide et précipitation sous forme de phosphomolybdate de quinoléine. Le résultat est exprimé en pourcentage de pentoxyde de phosphore ( $P_2O_5$ ). Un taux anormalement élevé peut révéler un ajout frauduleux de phosphates. **Arrêté du 21 février 2006 (JO n°27 - 2006).**

➤ **Teneur en Nitrates ( $NO_3^-$ )**

Les nitrates peuvent être naturellement présents ou ajoutés comme conservateurs. Leur présence est évaluée par une méthode colorimétrique après réduction des nitrates en nitrites à l'aide d'une colonne de cadmium. Le résultat est exprimé en mg de nitrate de potassium par kg de viande. Bien que les seuils ne soient pas indiqués par la réglementation, une surveillance est obligatoire, notamment dans les produits transformés. **Arrêté du 29 mars 2006 (JO n°43 - 2006).**

➤ **Teneur en Nitrites ( $NO_2^-$ )**

Les nitrites sont utilisés comme additifs conservateurs et stabilisants de couleur dans les viandes. Leur détermination se fait par réaction colorimétrique (réaction de Griess). Le résultat est exprimé en mg de nitrite de sodium par kg de viande. Un dépassement des limites autorisées représente un danger pour la santé (ex. formation de nitrosamines cancérigènes). **Arrêté du 29 mars 2006 (JO n°43 - 2006).**

➤ **Teneur en Hydroxyproline**

L'hydroxyproline est un acide aminé spécifique du collagène, utilisé comme indicateur de la teneur en tissu conjonctif dans les produits carnés. Elle est dosée après hydrolyse acide, par oxydation et réaction colorimétrique. Le seuil réglementaire est fixé à 0,5 % maximum en masse pour les viandes et produits à base de viande. Une teneur élevée peut

indiquer l'ajout de sous-produits comme les tendons, peaux ou cartilages. **Arrêté du 12 novembre 2014 (JO n°69 - 2014).**

## **VI. Processus d'abattage des volailles :**

Le processus d'abattage des volailles suit des étapes similaires pour toutes les espèces, bien que la technologie la plus avancée soit principalement appliquée aux poulets de chair. Ce processus comprend plusieurs étapes : la capture, le transport, l'étourdissement et la saignée (Löhren, 2012).

### **VI.1 Capture et transport :**

Deux méthodes de capture sont utilisées :

- Capture manuelle
- Récolte automatisée, qui réduit les blessures mais nécessite des installations spécifiques et pose des défis en matière d'hygiène, augmentant ainsi le risque de contamination croisée.

Les systèmes de transport varient en fonction de l'espèce et de l'équipement disponible :

- Conteneurs : méthode la plus courante pour les poulets de chair, mais également utilisée pour les dindes, les canards et les poules de réforme.
- Caisses : employées pour les espèces de volaille mineures, mais elles augmentent le risque de blessures.
- Doublures : cages fixes sur les camions, principalement utilisées pour le transport des dindes.

Le transport des volailles doit garantir une ventilation adéquate et une protection contre les conditions climatiques extrêmes afin de réduire le stress et les pertes avant abattage (Löhren, 2012).

### **VI.2 Arrivée à l'abattoir :**

À leur arrivée, les oiseaux sont maintenus dans des salles climatisées pendant une période d'attente de **1 à 3 heures**, une durée de **2 heures étant optimale** pour préserver la qualité de la viande. Une **inspection ante-mortem** est réalisée pour évaluer l'état de santé du troupeau et identifier d'éventuelles anomalies ou maladies transmissibles.

Le déchargement peut être effectué **manuellement ou automatiquement**, en fonction du système utilisé (Löhren, 2012).

### **VI.3 Étourdissement et saignée :**

L'étourdissement est une étape essentielle qui vise à **réduire la douleur et le stress des animaux** avant la saignée (Sabow *et al.*, 2017). Deux principales méthodes sont utilisées :

- Étourdissement électrique :
  - Les oiseaux traversent un bain d'eau électrifié.
  - Peut être **réversible** (conforme aux exigences Halal) ou **irréversible**.
  - Risques associés : fractures osseuses et hémorragies musculaires.
- Étourdissement sous atmosphère contrôlée:
  - Utilise du CO<sub>2</sub> pour induire une perte de conscience avant l'accrochage.
  - Considéré comme **plus respectueux du bien-être animal**.
  - Ne convient pas aux **canards, oies et cailles** en raison de leurs particularités physiologiques (Ali *et al.*, 2011; Löhren, 2012).

#### VI.4 La saignée :

La saignée doit être effectuée dans les **secondes suivant l'étourdissement** afin d'assurer une exsanguination efficace et d'éviter un retour à la conscience.

- Peut être réalisée de manière **automatisée ou manuelle**.
- Différentes **techniques de coupe** influencent l'efficacité de l'exsanguination et les risques de contamination microbologique :
  - **Incision latérale**
  - **Section de la gorge**
  - **Décapitation**

L'efficacité de la saignée impacte directement la qualité de la viande et sa conservation (Löhren, 2012).

#### VI.5 Échaudage et plumage :

L'échaudage consiste à immerger les volailles dans de l'eau chauffée entre **50 et 65°C** afin de faciliter le retrait des plumes. La température et la durée d'immersion varient selon que la volaille est destinée à la vente fraîche ou congelée.

- Températures trop élevées : peuvent provoquer une dégradation de la peau (brûlures, déchirures).
- Températures trop basses : rendent le plumage plus difficile et incomplet.

Les systèmes d'échaudage influencent la charge bactérienne des carcasses. Les systèmes à plusieurs bains en contre-courant sont plus efficaces pour réduire la contamination croisée en limitant la recirculation des bactéries présentes sur les plumes et la peau.

Le plumage est réalisé à l'aide de tambours rotatifs équipés de doigts en caoutchouc, qui retirent mécaniquement les plumes. La température de l'échaudage affecte directement l'efficacité du plumage.

- Pour les canards, une méthode spécifique est utilisée : l'application de cire chaude, qui permet d'éliminer les plumes et le duvet résiduel plus efficacement.
- L'électrostimulation peut être appliquée pour diminuer l'énergie musculaire post-mortem et accélérer la rigidité cadavérique, facilitant ainsi les étapes ultérieures de transformation.

**Tableau 4:** Programmes d'échaudage typiques pour le plumage (Barbut, 2016).

Technique	Température de l'eau (°C)	Temps (sec.)	Utilisation
<b>Échaudage intensif</b> (fort)	59–61	45–90	<b>Sauvagine</b>
<b>Échaudage modéré</b> (moyen) ou <b>sub-échaudage</b>	54–58	60–120	Oiseaux matures
<b>Échaudage doux</b> (semi-échaudage)	50–53	60–180	Poulets de chair, dindes à rôtir, jeunes dindes

Un défi majeur du plumage est la contamination croisée bactérienne, notamment due à l'exposition aux matières fécales libérées lors du processus (Löhren, 2012).

#### VI.6 Égorgement et ablation des pattes :

L'égorgement est réalisé en fonction des normes de chaque marché :

- Dans certains pays, le cou est laissé attaché à la volaille pour répondre aux préférences des consommateurs.
- L'ablation des pattes est généralement automatisée, mais elles peuvent être conservées sur la carcasse dans certaines régions où elles sont consommées.

#### VI.7 Ligne d'éviscération :

L'éviscération comprend plusieurs étapes :

- **Ablation de la tête**
- **Aération** (incision pour extraire les intestins)
- **Extraction des viscères**

Les usines modernes automatisent ces processus pour standardiser la qualité et améliorer l'hygiène (**Löhren, 2012**).

Les carcasses éviscérées sont inspectées avec leurs abats pour détecter d'éventuelles anomalies, cette inspection post-mortem évalue la qualité des carcasses en recherchant des défauts de peau, des ecchymoses, des anomalies de couleur ou des lésions indicatrices de pathologies (**Ninčáková et al., 2022**).

#### **VI.8 Vitesse des lignes d'abattage :**

La vitesse de la chaîne varie selon les niveaux d'automatisation et la réglementation sanitaire du pays. Une automatisation accrue tend à réduire la contamination microbiologique, (comparant les usines manuelles et automatisées). La vitesse d'éviscération doit cependant être optimisée pour éviter les déchirures d'organes internes, qui peuvent provoquer une contamination fécale de la carcasse (**Löhren, 2012**).

# **Chapitre II:**

## **Plantes aromatiques et techniques d'extraction**

## I. Les extraits des plantes aromatiques :

### I.1 Généralité sur les huiles essentielles et les extraits de plantes :

#### I.1.1 Historique :

Au début du XXe siècle, le terme « aromathérapie » a été inventé par René-Maurice Gattefossé, qui a découvert les bienfaits médicaux de l'huile essentielle de lavande après l'avoir utilisée pour soigner une brûlure, marquant ainsi un tournant dans l'histoire des huiles essentielles (Puri, 1994). Aujourd'hui, les huiles essentielles sont utilisées dans une grande variété d'applications, de la santé et du bien-être aux cosmétiques et aux arômes alimentaires (Hassan *et al.*, 2020). Les avancées récentes dans le domaine scientifique ont renforcé l'intérêt pour les propriétés médicinales et aromatiques des plantes, notamment en raison de leurs effets pharmacologiques bénéfiques et de leur coût relativement faible. Les composés phytochimiques et les huiles essentielles et extraits de ces plantes ont montré un potentiel important dans diverses applications, telles que la conservation des aliments (Fernandes *et al.*, 2024; Bibow et Oleszek 2024). Ces composés, en particulier les antioxydants présents dans les HE, jouent un rôle crucial dans la protection contre les radicaux libres, contribuant ainsi à inhiber l'oxydation des lipides et d'autres composants alimentaires sensibles à l'oxygène, prolongeant la durée de conservation des produits alimentaires (Cavanagh et Wilkinson, 2002; Burt, 2004; Fernandes *et al.*, 2024).

De plus, les propriétés antimicrobiennes des extraits de plantes et HE ont été largement documentées, notamment contre des agents pathogènes alimentaires courants tels que *Escherichia coli*, *Salmonella* et *Listeria monocytogenes* (Amin *et al.*, 2014). En raison de cette activité antimicrobienne, elles offrent une alternative naturelle aux conservateurs chimiques. (Lambert *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 2024). En outre, l'usage excessif d'antibiotiques a favorisé l'émergence de résistances antimicrobiennes, augmentant ainsi la demande d'alternatives naturelles, telles que les plantes médicinales aux propriétés antimicrobiennes.

Les huiles essentielles possèdent une gamme variée d'activités biologiques, notamment des effets antibactériens, antifongiques, antiviraux, antioxydants et insecticides (Chouhan *et al.*, 2017; Bibow et Oleszek 2024). Extraites de différentes parties des plantes, comme les feuilles, les fleurs et les racines, ces HE peuvent perturber les structures cellulaires bactériennes en interagissant avec les membranes lipidiques, entraînant la destruction des

cellules. Elles jouent également un rôle essentiel dans la défense des plantes, les protégeant contre les champignons, les bactéries et les herbivores (Cavanagh et Wilkinson, 2002).

### **I.1.2 Définition des huiles essentielles :**

Les huiles essentielles sont des liquides de composés organiques volatils naturellement présents dans les plantes aromatiques, largement étudiés pour leurs propriétés médicinales et aromatiques. Elles sont extraites par des différentes méthodes telles que l'hydrodistillation, distillation à la vapeur d'eau, l'expression à froid (Kant et Kumar, 2022; Bibow et Oleszek 2024). Les HE contiennent divers composés bioactifs, notamment des alcaloïdes, des terpénoides et des terpènes, qui contribuent à leur arôme, leur saveur et leurs propriétés antimicrobiennes. Elles ont des applications diverses, notamment dans la médecine, l'industrie alimentaire et la cosmétique et l'esthétique (Burt, 2004; Chakravarty *et al.*, 2023; Fernandes *et al.*, 2024).

#### **a. Définition des huiles essentielles selon ISO:**

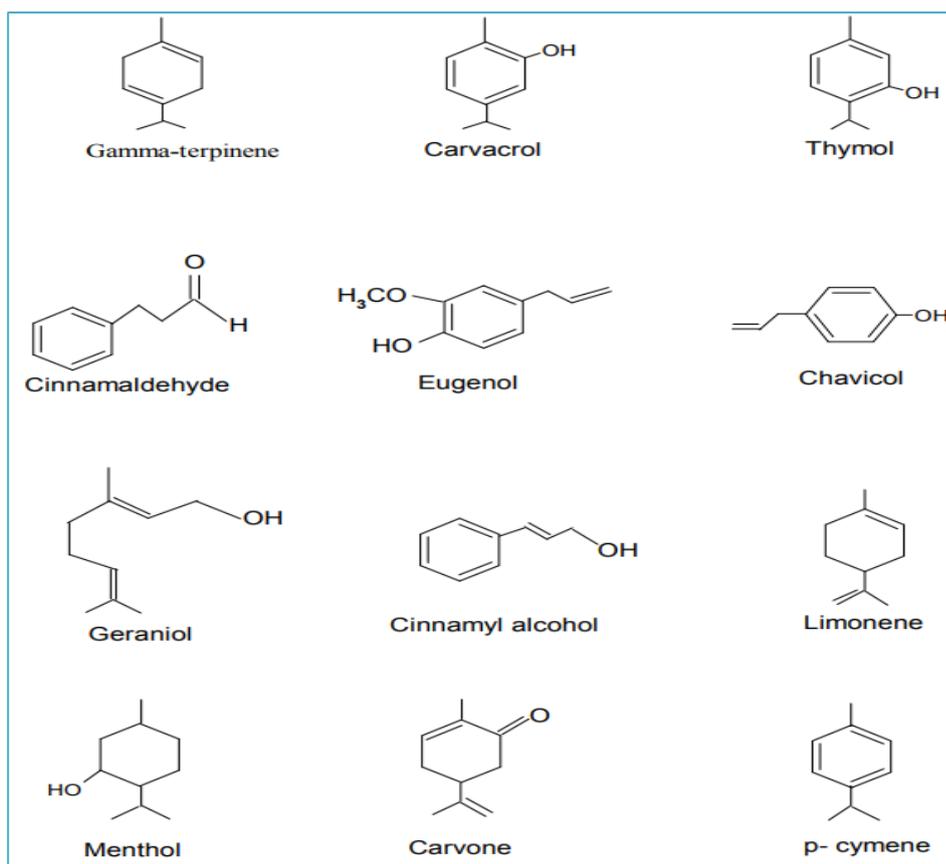
L'ISO 9235: 2021 définit les huiles essentielles comme étant: "Les produits volatils, obtenus à partir de matières premières végétales par distillation à la vapeur d'eau, par distillation sèche ou par un processus mécanique approprié sans chauffage."

#### **b. Définition des extraits de plantes :**

Un extrait de plante est une substance obtenue par l'extraction de composés bioactifs à partir de parties spécifiques d'une plante, comme les feuilles, les racines, les fleurs ou les graines, à l'aide de solvants (eau, alcool, etc.) ou par d'autres méthodes d'extraction. Ces extraits contiennent généralement les principes actifs de la plante, qui peuvent avoir des propriétés médicinales, aromatiques ou nutraceutiques (Zengin, 2019; Smith *et al.*, 2020).

**Tableau 5:** Comparaison des huiles essentielles et des extraits de plantes (Burt, 2004; Turek et Stintzing, 2013; Zengin, 2019)

Aspect	Extraits de plante	Huiles essentielles
<b>Définition</b>	Une préparation contenant des composés bioactifs extraits de matières végétales (feuilles, racines, graines, fleurs, etc.) à l'aide de solvants ou d'autres méthodes d'extraction.	Un liquide concentré, volatil et hydrophobe composé de molécules aromatiques extraites de plantes, principalement par distillation à la vapeur d'eau ou hydrodistillation.
<b>Méthode Extraction</b>	Extraction par solvant (eau, éthanol, méthanol, acétone), macération, infusion, percolation ou extraction par fluide supercritique.	Distillation à la vapeur, hydrodistillation, pression à froid (pour les huiles d'agrumes) ou extraction au CO <sub>2</sub> supercritique.
<b>Composition</b>	Contient un large spectre de composés phytochimiques, notamment des composés phénoliques, des alcaloïdes, des flavonoïdes, des tanins, des glycosides et des polysaccharides.	Il se compose principalement de composés aromatiques volatils tels que les terpènes, les terpénoïdes, les phénylpropanoïdes. Les aldéhydes, de cétones, les esters.
<b>Volatilité</b>	Non volatil; contient des composés hydrosolubles et liposolubles.	Très volatil, principalement des composés liposolubles.
<b>Solubilité</b>	Peut être soluble dans l'eau ou dans les lipides, selon le processus d'extraction.	Lipophile (liposoluble), non soluble dans l'eau mais miscible dans les huiles et les alcools.
<b>Application</b>	Utilisé dans les produits pharmaceutiques, les compléments alimentaires et les cosmétiques pour leurs propriétés médicinales et fonctionnelles. On le trouve couramment dans les thés, les teintures ou les poudres.	Utilisé en aromathérapie, en parfumerie, en arômes alimentaires et en conservateurs naturels en raison de leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydants et aromatiques.
<b>Mécanisme d'action</b>	Agit grâce à une combinaison de différents composés bioactifs interagissant de manière synergique.	Exerce principalement ses effets par l'action de composés volatils sur des cibles biologiques, notamment à travers des activités antimicrobiennes, antioxydantes ou thérapeutiques
<b>Rendement</b>	Peut être obtenu en plus grandes quantités, selon la méthode d'extraction et le matériel végétal utilisé.	Généralement obtenu en petites quantités, car le rendement en huile essentielle est faible (par exemple, de grandes quantités de matière végétale sont nécessaires pour extraire un petit volume d'huile).



**Figure 6:** Quelques composés bioactifs représentatifs présents dans les huiles essentielles (Zengin, 2019)

## I. 2 Composition chimique des huiles essentielles :

Généralement, les huiles essentielles constituées de terpènes, de phénols, d'aldéhydes, de cétones, d'esters et d'alcools. Ces composés sont responsables des arômes distincts et des propriétés thérapeutiques des huiles essentielles. La composition chimique d'une huile essentielle varie en fonction des facteurs tels que l'espèce de la plante, la situation géographique et la méthode d'extraction (Burt, 2004).

Les principaux composants chimiques présents dans les huiles essentielles comprennent les monoterpènes, les sesquiterpènes, les composés phénoliques, les aldéhydes, les cétones et les esters (Burt, 2004; Pereira *et al.*, 2022).

- Les monoterpènes (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>), tels que le limonène (présent dans les huiles d'agrumes) et le pinène (présent dans les huiles de pin), sont des hydrocarbures volatils au parfum doux et frais.
- Les sesquiterpènes (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>), comme le caryophyllène (présent dans le poivre noir), sont moins volatils mais contribuent aux notes terreuses et boisées des huiles.

- Les composés phénoliques, comme le thymol et le carvacrol (présents dans les huiles de thym et d'origan), contribuent aux propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des huiles.
- Les aldéhydes et les cétones, comme le citral (présent dans la citronnelle), sont responsables des parfums doux et citronnés, tandis que les esters comme l'acétate de linalyle (présent dans la lavande) donnent un arôme fruité ou floral (**Cavanagh et Wilkinson, 2002; Pereira et al., 2022**).

### **I. 3 Mécanismes d'action des huiles essentielles :**

Les huiles essentielles sont précieuses non seulement pour leurs propriétés aromatiques mais aussi pour leurs effets bioactifs, tels que leurs actions antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et analgésiques. Ces propriétés les rendent importantes dans une variété d'applications, de l'aromathérapie et de la médecine à la conservation des aliments (**Saïd et al., 2023 ; Rita et al., 2023**).

Les activités biologiques des huiles essentielles sont attribuées à l'interaction de ces composés avec les systèmes biologiques. Les principaux mécanismes comprennent les activités antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et analgésiques (**Pereira et al., 2022**).

#### **I.3.1 Activité antimicrobienne :**

Les huiles essentielles présentent de fortes propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales, principalement par la perturbation des membranes cellulaires microbiennes (**Lambert et al., 2001; Bibow et Oleszek, 2024**). Il a été démontré que des composés phénoliques tels que le thymol et le carvacrol provoquent une perméabilité membranaire et une fuite du contenu cellulaire, entraînant la mort des micro-organismes (**Amin et al., 2014**). Des études récentes continuent de mettre en évidence les mécanismes par lesquels les huiles essentielles agissent contre les bactéries, notamment leur capacité à inhiber les enzymes du métabolisme énergétique du micro-organisme (**Chouhan et al., 2017; Bibow et Oleszek, 2024**).

#### **I.3.2 Activité antioxydante :**

Les huiles essentielles riches en composés phénoliques sont d'excellents antioxydants qui éliminent les radicaux libres, protégeant ainsi les cellules des dommages oxydatifs. Ce mécanisme est particulièrement important pour la conservation des aliments et la prévention

des maladies chroniques (**Bibow et Oleszek, 2024**). Par exemple, il a été démontré que l'eugénol (issu de l'huile de clou de girofle) présente une activité antioxydante importante, empêchant ainsi l'oxydation des lipides dans les produits alimentaires (**Bakkali et al., 2023**).

### **I.3.3. Effets anti-inflammatoires :**

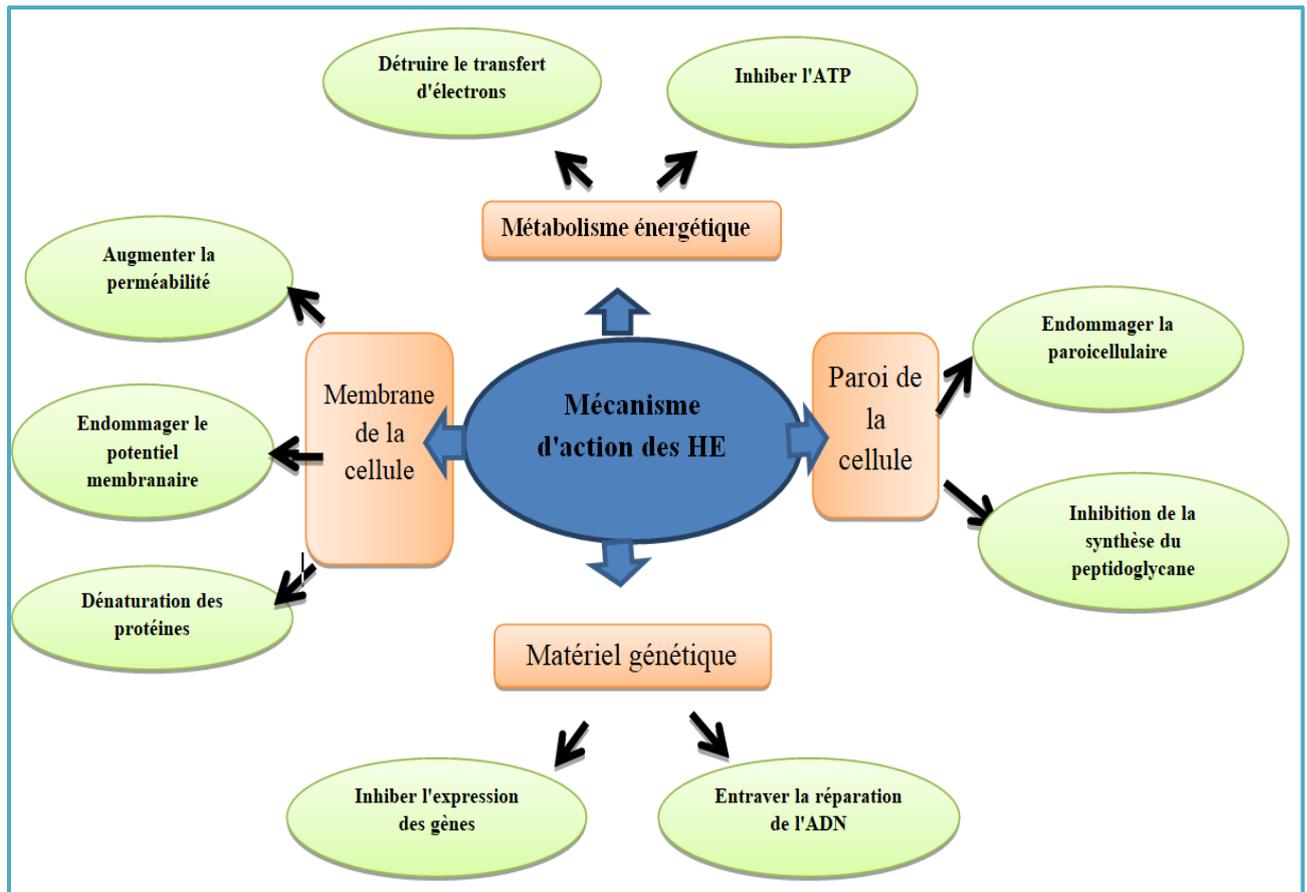
Les huiles essentielles comme la lavande et la menthe poivrée possèdent de puissantes propriétés anti-inflammatoires. Elles peuvent réduire la production de cytokines pro-inflammatoires et inhiber des enzymes comme la COX-2 qui régulent l'inflammation (**Nguyen et Lee, 2023**). Ce mécanisme est particulièrement bénéfique pour des affections comme l'arthrite et d'autres maladies inflammatoires.

### **I.3.4 Effets analgésiques :**

Certaines huiles essentielles, dont la menthe poivrée et le clou de girofle, sont connues pour leurs propriétés analgésiques. Le menthol contenu dans l'huile de menthe poivrée, par exemple, interagit avec les récepteurs TRPM8, procurant une sensation de fraîcheur et un effet analgésique (**Dodd et Goodwin, 2024**).

### **I.3.5 Effets neurologiques :**

Certaines huiles essentielles, comme la lavande et la rose, ont des effets calmants et anxiolytiques. Elles agissent sur le système nerveux en augmentant la production de neurotransmetteurs tels que la sérotonine et le GABA (**López et al., 2023**), qui contribuent à réduire l'anxiété et à améliorer l'humeur.



**Figure 7:** Mécanisme d'action des huiles essentielles sur les cellules bactériennes (Ni et al., 2021).

#### I.4 Facteurs affectant la qualité des huiles essentielles :

La qualité des huiles essentielles est influencée par plusieurs facteurs, notamment les méthodes d'extraction, les variations géographiques, les cycles de croissance des plantes et les techniques de séchage. Ces facteurs jouent un rôle crucial dans la détermination de la composition chimique, du rendement et de la qualité globale du produit final à base d'HE (Ni et al., 2021).

##### I.4.1 Techniques d'extraction classiques et innovantes:

Les HE peuvent être extraites à l'aide de diverses méthodes, chacune ayant un impact sur la qualité du produit final. Les méthodes traditionnelles comprennent l'hydrodistillation, la distillation à la vapeur et l'extraction par solvant, qui sont rentables mais présentent des limites. La distillation à la vapeur, par exemple, peut provoquer une dégradation thermique des composés sensibles à la chaleur, tandis que l'extraction par solvant peut entraîner une diminution de la pureté en raison de la présence d'impuretés telles que les résines et les cires (Ni et al., 2021). En revanche, les techniques modernes telles que l'extraction par fluide

supercritique, l'extraction assistée par ultrasons, l'extraction assistée par micro-ondes et l'hydrodiffusion offrent des avantages tels que des temps d'extraction plus courts, des rendements plus élevés, une meilleure qualité et un impact environnemental moindre. Des études ont montré que ces méthodes innovantes améliorent les propriétés antibactériennes et antioxydantes des huiles essentielles (**Bousbia *et al.*, 2009; Tongnuanchan et Benjakul, 2014**).

#### **I.4.2 Variations géographiques :**

Les facteurs géographiques influencent considérablement la composition chimique des huiles essentielles. Les variations d'altitude, de climat et de sol peuvent affecter la croissance de la plante et, par conséquent, les constituants des huiles essentielles. Par exemple, les plantes cultivées à différentes altitudes peuvent présenter différents niveaux de terpénoïdes et de monoterpénoïdes. Dans une étude, les huiles essentielles d'une même espèce végétale ont montré des profils chimiques différents lorsqu'elles étaient cultivées dans diverses régions, avec des différences dans la concentration de composants comme le zingibérène et le citral (**Raina *et al.*, 2013**).

#### **I.4.3 Cycle de croissance des plantes :**

Le cycle de croissance d'une plante joue également un rôle dans la composition de ses huiles essentielles. Au fur et à mesure que les plantes se développent, la concentration de composés spécifiques dans les huiles essentielles change. Par exemple, les hydrocarbures monoterpéniques dominent pendant les stades du bourgeon et de la floraison, tandis que les phénylpropanoïdes sont plus répandus au stade de la fructification. Cette variation peut affecter considérablement le rendement et la composition des huiles essentielles, comme observé dans les études sur *Daucus sahariensis* et Ajowan (**Flamini *et al.*, 2013; Ni *et al.*, 2021**).

#### **I.4.4 Temps et technique de séchage :**

Les techniques et la durée du séchage sont essentielles pour déterminer la qualité des huiles essentielles. Les méthodes de séchage, telles que la lyophilisation, le séchage par ventilation et le séchage à chaud, peuvent influencer à la fois la quantité et la qualité des composés volatils extraits. Par exemple, un temps de séchage prolongé peut entraîner une diminution de la teneur en composants aromatiques clés, comme le montre une étude sur *Citrus hystrix* (**Wulandari *et al.*, 2019**). De même, un séchage inapproprié des fleurs de

lavande a entraîné la perte de composés volatils, ce qui a affecté l'arôme et la composition de l'huile essentielle (**Dong et al., 2020**).

### **I.5 Application des huiles essentielles dans la conservation des aliments :**

Malgré les diverses propriétés biologiques des huiles essentielles, leur application est limitée en raison de leur volatilité, hydrophobicité et sensibilité à l'oxydation. Les avancées en biotechnologie, notamment la micro- et nanotechnologie, ont permis d'élargir leur utilisation dans la conservation des aliments, la biomédecine et l'agriculture (**Ni et al., 2021**).

#### **I.5.1 Emballage et conservation des aliments**

Les consommateurs exigent toujours des aliments de qualité sans conservateurs synthétiques, ce qui a encouragé le développement d'emballages actifs intelligents. Ce type d'emballage intègre des HE dans des matériaux biodégradables, améliorant leurs propriétés antibactériennes et antioxydantes pour prolonger la durée de conservation des aliments (**Sharma et al., 2021**). Les HE sont utilisés sous forme de films et de revêtements, influençant la structure et la fonctionnalité des emballages. Toutefois, la libération contrôlée des composés antimicrobiens reste un défi majeur (**Jugre et al., 2020**).

#### **I.5.2 Films et emballage comestibles à base d'HE :**

Les films d'emballage comestibles contenant des HE protègent les aliments contre la détérioration microbienne et l'oxydation. Ils sont généralement composés de polysaccharides, protéines ou lipides, ce qui permet une meilleure préservation tout en étant respectueux de l'environnement (**Doost et al., 2020**). Des études ont montré que les films composites, tels que ceux à base d'HE de gingembre et de chitosane ou d'HE de citron et de méthylcellulose, inhibent efficacement la croissance bactérienne et prolongent la durée de conservation des aliments périssables comme la volaille et les fraises (**Ni et al., 2021**).

#### **I.5.3 Microencapsulation des huiles essentielles:**

La microencapsulation est une nouvelle technologie qui consiste à enfermer des substances bioactives des HE dans des polymères naturels afin de créer des microparticules. Cette méthode permet de pallier certains inconvénients des HE, tels que leur volatilité et leur dégradation rapide, tout en assurant une libération progressive des composés bioactifs. Toutefois, la compatibilité entre les HE et les polymères reste un défi majeur. Les techniques les plus utilisées incluent le séchage par atomisation, l'encapsulation moléculaire et la séparation en phase aqueuse (**Alehosseini et Jafari, 2019**). Un aspect important de cette

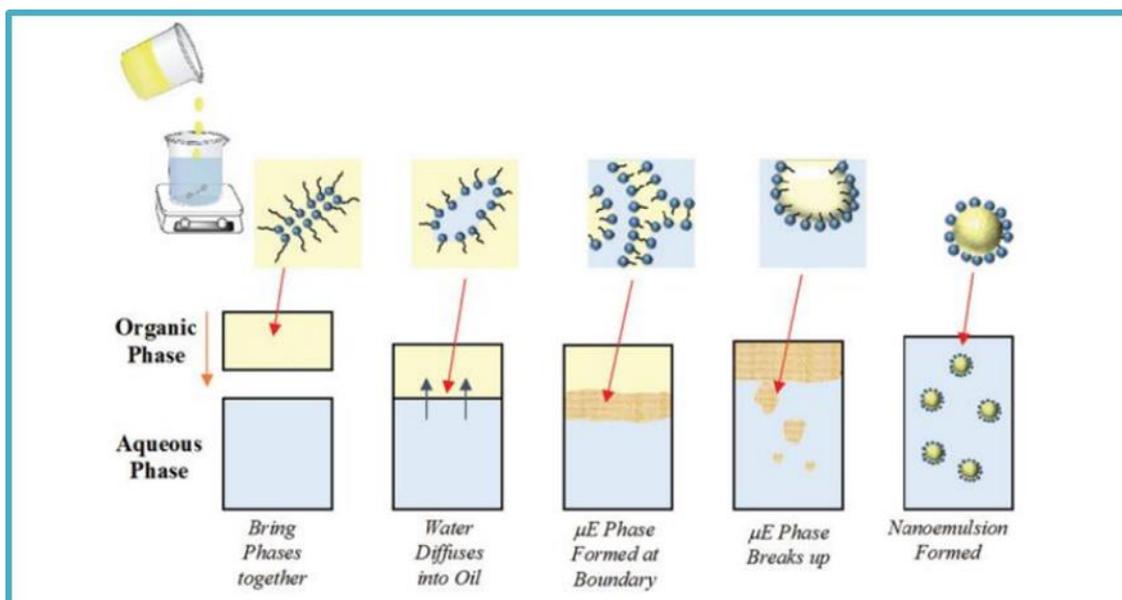
approche est la sélection des matériaux d'encapsulation afin de préserver les propriétés des HE et d'optimiser leur efficacité.

Des études ont démontré que les nanocapsules combinant du chitosane et des HE de cannelle, thym et gingembre présentaient une activité antibactérienne significative contre *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus* (Hu *et al.*, 2018; Ni *et al.*, 2021). De même, la microencapsulation de l'HE de lime avec de la gélatine et de la gomme arabique a montré une forte inhibition de *S. aureus* (Raksa *et al.*, 2017). L'encapsulation d'HE d'orange douce dans de la maltodextrine et de la gélatine a également amélioré ses effets antimicrobiens et antioxydants, soulignant l'intérêt de cette technologie pour l'industrie agroalimentaire (De Araújo *et al.*, 2020).

#### I.5.4 Nanoémulsions à base d'huile essentielle :

Les nanoémulsions sont une alternative prometteuse aux microcapsules pour améliorer la stabilité des HE. Elles permettent de réduire leur impact sensoriel sur les aliments et d'accroître leur biodisponibilité grâce à la petite taille de leurs gouttelettes. Ces formulations sont obtenues par émulsification avec des tensioactifs alimentaires, ce qui génère des émulsions transparentes de taille nanométrique, stables sur le long terme (Garavand *et al.*, 2019).

Des recherches ont montré que les nanoémulsions d'HE d'agrumes appliquées sur des filets de truite arc-en-ciel stockés au froid limitaient efficacement la prolifération bactérienne (Ni *et al.*, 2021). D'autres études ont révélé que les émulsions Pickering enrichies en HE de marjolaine et en isolat de protéines de lactosérum possédaient des propriétés antioxydantes et de conservation remarquable, offrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'emballage actif (Almasi *et al.*, 2020).



**Figure 8:** Représentation schématique du mécanisme de base de la formation des nanoémulsions. (Komaiko et McClements, 2016).

## II. Méthodes d'extraction des huiles essentielles :

Différentes parties de diverses plantes aromatiques peuvent être extraites pour former des huiles essentielles, qui peuvent ensuite être utilisées en cosmétique, en pharmacie et en sécurité alimentaire. Le principal facteur pour garantir la qualité des huiles essentielles est la méthode d'extraction utilisée, car des procédures d'extraction inappropriées peuvent provoquer une modification de la composition phytochimiques des huiles. C'est à cause de la perte des constituants bioactifs, le changement physique des huiles essentielles (Tongnuanchan *et al.*, 2014).

Ces techniques d'extraction peuvent être classées en deux catégories : les méthodes classiques et les méthodes innovantes. (Aziz *et al.*, 2018).

### II.1 Les méthodes classiques :

#### II.1.1 L'Hydrodistillation :

L'hydrodistillation est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus simples d'extraction des huiles essentielles. Cette technique consiste à immerger des matières végétales, dans de l'eau. Le mélange est ensuite porté à ébullition. La vapeur est condensée en liquide, qui est recueilli dans une carafe. Les huiles essentielles sont séparées de l'eau, avec l'avantage d'être extraites à des températures inférieures à 100 °C, ce qui permet d'éviter la surchauffe et de préserver les propriétés des huiles (Okoh *et al.*, 2010).

L'hydrodistillation est une variante de la distillation à la vapeur, qui est spécifiquement recommandée par la Pharmacopée européenne pour l'extraction des huiles essentielles à partir de plantes séchées et le contrôle de la qualité des huiles essentielles en laboratoire (Okoh *et al.*, 2010).

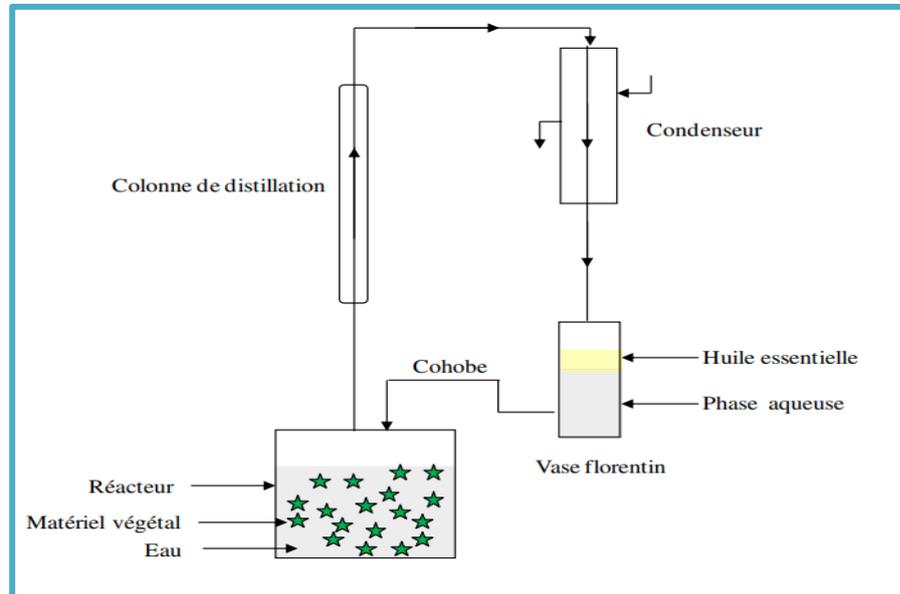
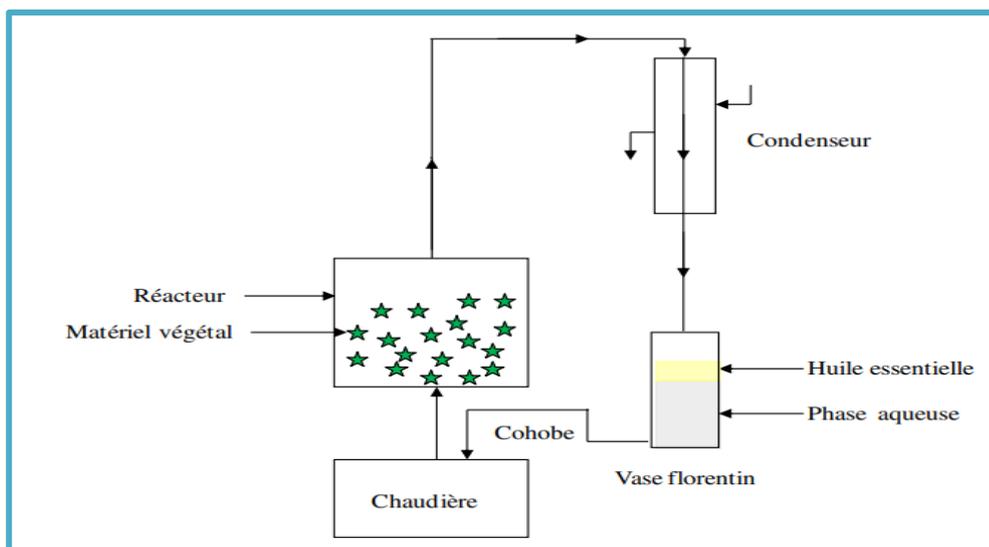


Figure 9: Extraction par hydrodistillation (Ferhat, 2010).

### II.1.2 Distillation par entrainement à la vapeur :

La distillation à la vapeur est la méthode la plus utilisée pour extraire les huiles essentielles. Elle permet d'extraire environ 93 % des huiles essentielles. Dans la distillation à la vapeur, la matière végétale est chauffée à l'aide de la vapeur fournie par un générateur de vapeur. La chaleur aide à décomposer la matière végétale, ce qui lui permet de libérer les HE.

Pour améliorer l'efficacité et réduire les eaux usées lors de la distillation à la vapeur, une technique innovante est utilisée, consiste à placer la matière végétale dans un lit garni au-dessus de la source de vapeur, ne laissant passer que la vapeur à travers les plantes, tandis que l'eau bouillante ne se mélange pas à la matière botanique. Par conséquent, ce processus utilise moins de vapeur et produit un distillat à plus faible teneur en eau, ce qui améliore le rendement global. Dans une étude précédente, il a été observé que les huiles extraites par distillation à la vapeur produisaient des quantités plus élevées de composés antioxydants par rapport à celles extraites par hydrodistillation (Aziz *et al.*, 2018).



**Figure 10:** Extraction par entraînement à la vapeur (Ferhat, 2010)

### II.1.3 L'extraction par solvant :

L'extraction par solvant est couramment utilisée pour extraire les huiles essentielles des matières florales délicates ou fragiles qui ne supportent pas la chaleur ou la vapeur. Cette méthode consiste à mélanger la matière végétale avec des solvants comme l'acétone, l'éther de pétrole, l'hexane, le méthanol ou l'éthanol, et à chauffer doucement le mélange. Ensuite, le mélange est filtré et les solvants sont évaporés. Le filtrat obtenu contient un résinoïde, ou un mélange de cire, de parfum et d'huiles essentielles. De l'alcool est ensuite ajouté pour dissoudre l'huile essentielle, et le mélange est distillé à basse température, ce qui permet à l'alcool de s'évaporer et de laisser l'huile essentielle.

Bien qu'elle soit efficace, l'extraction par solvant est plus complexe, plus longue et plus coûteuse que les autres méthodes (Tomi *et al.*, 2011).

## II.2 Les méthodes innovantes :

L'application de techniques innovantes, telles que les procédés par ultrasons et micro-ondes, a amélioré l'efficacité du processus d'extraction en réduisant le temps nécessaire à l'isolement de l'huile essentielle, en optimisant la dissipation d'énergie, et en augmentant à la fois le rendement de production et la qualité des huiles essentielles. (Aziz *et al.*, 2018).

### II.2.1 L'extraction par fluide supercritique :

L'extraction par fluide supercritique EFS est une technique moderne qui surpasse les méthodes traditionnelles, telles que l'extraction par solvant et la distillation à la vapeur, souvent longues et nécessitant de grandes quantités de solvants. L'EFS utilise du dioxyde de carbone supercritique ( $CO_2$ ), sûr, non toxique et efficace pour extraire les huiles essentielles

sans résidus. Le  $CO_2$  est comprimé et chauffé jusqu'à atteindre un état supercritique, puis passe à travers la matière végétale pour extraire les composés volatils. Une fois l'extraction terminée, le  $CO_2$  est séparé des extraits, recyclé et réutilisé (Aziz et al., 2018).

Cette méthode est non seulement plus efficace, mais aussi plus respectueuse de l'environnement. Elle présente des avantages tels que la préservation des composés sensibles à la chaleur et la production d'huiles essentielles de meilleure qualité. L'EFS a été utilisée avec succès pour extraire des huiles de plantes comme le géranium rosat et les boutons de girofle, révélant des propriétés chimiques et pharmacologiques supérieures à celles des huiles extraites par hydrodistillation. Par exemple, l'huile essentielle de carotte obtenue par EFS a montré des propriétés antibactériennes et antifongiques plus puissantes que celle extraite par hydrodistillation (Glišić et al., 2007; Aziz et al., 2018).

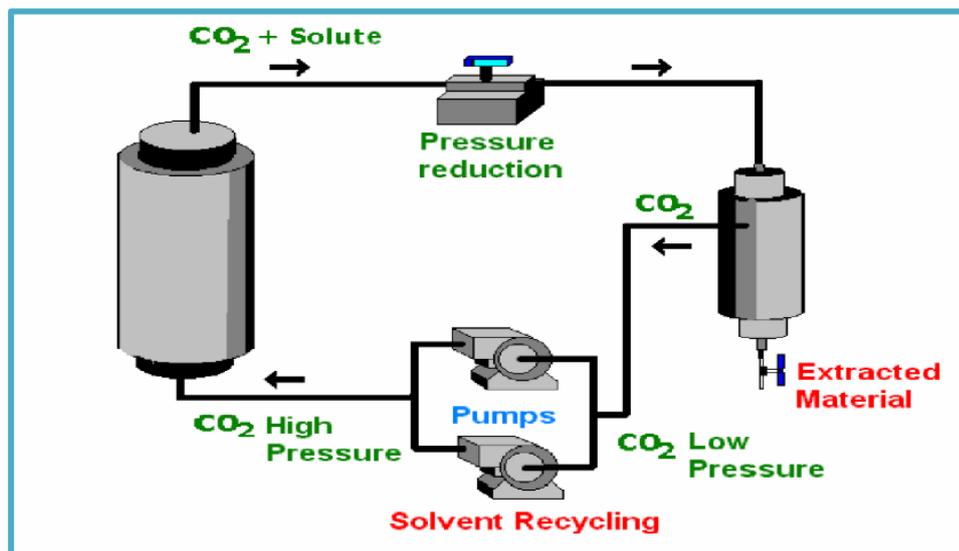


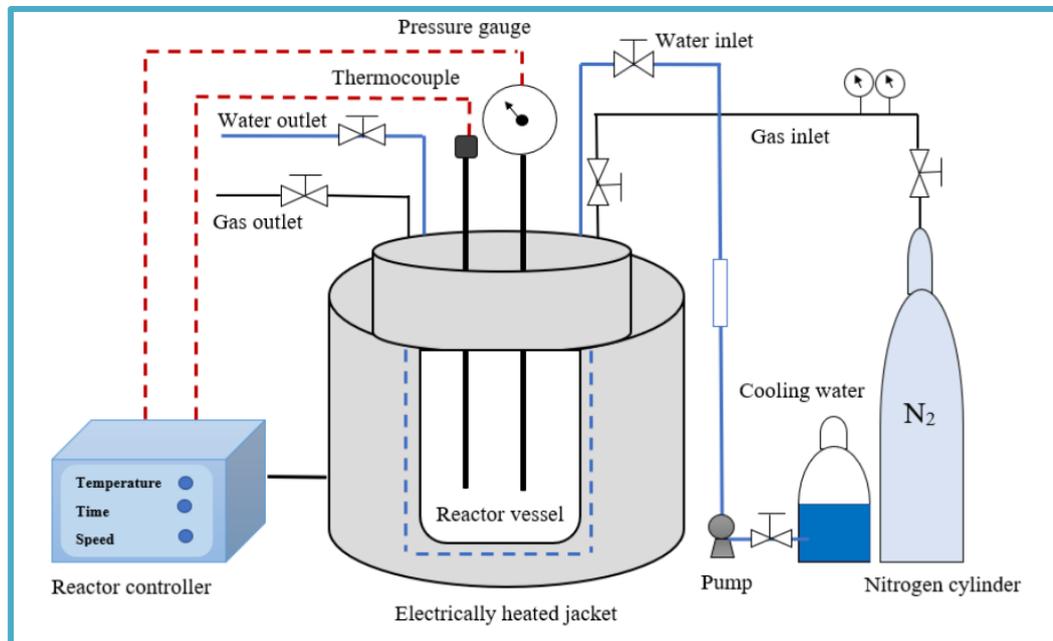
Figure 11: L'extraction par fluide supercritique (Sapkale et al., 2010).

### II.2.2 L'extraction à l'eau subcritique:

L'extraction à l'eau subcritique est devenue une alternative très efficace et respectueuse de l'environnement pour l'extraction des huiles essentielles. Dans cette méthode, de l'eau ou du  $CO_2$  est utilisé comme solvant, en état subcritique, ce qui signifie que la pression est supérieure à la pression critique mais que la température est inférieure à la température critique, ou inversement. Les fluides subcritiques possèdent des propriétés telles qu'une viscosité et une densité plus faibles, ainsi qu'une meilleure diffusivité, ce qui les rend particulièrement adaptés pour des extractions efficaces (Wang, 2020).

Cette technique présente plusieurs avantages: elle nécessite beaucoup moins de temps (seulement 15 minutes pour l'extraction, contre 3 heures avec les méthodes conventionnelles),

fonctionne à basse température et est rentable. De plus, elle produit des huiles essentielles ayant une teneur plus élevée en composés oxygénés et une moindre proportion de terpènes (Tongnuanchan *et al.*, 2014).



**Figure 12:** L'extraction à l'eau subcritique (Hobbi *et al.*, 2022).

### II.2.3 L'extraction par micro-ondes sans solvant (EMSS):

Est une technique avancée utilisée pour extraire les huiles essentielles et présente plusieurs avantages par rapport aux méthodes traditionnelles telles que l'extraction par solvant et l'hydrodistillation. Cette technique combine le chauffage par micro-ondes avec la distillation sèche à pression atmosphérique et ne nécessite aucun solvant. Cela rend le processus plus rapide, plus respectueux de l'environnement et permet d'obtenir des huiles avec un rendement et une sélectivité plus élevés (Conde-Hernández *et al.*, 2021).

Une étude a démontré l'efficacité de EMSS pour extraire l'huile d'origan, avec des rendements maximaux obtenus à des puissances de micro-ondes plus élevées (622 W, 498 W, 373 W), surpassant l'hydrodistillation, qui a produit un peu moins d'huile. L'EMSS extrait les huiles essentielles en beaucoup moins de temps (30 minutes) par rapport à l'hydrodistillation (3 heures) et à la pression à froid (1 heure), tout en produisant des rendements plus élevés.

De plus, l'EMSS est plus propre car elle ne nécessite ni eau ni solvants, ce qui en fait une méthode plus durable. Les huiles extraites à l'aide de l'EMSS ont également montré une forte activité antimicrobienne. Dans l'ensemble, l'EMSS offre une alternative efficace, plus

rapide et plus respectueuse de l'environnement pour l'extraction des huiles essentielles (**Aziz et al., 2018; Conde-Hernández et al., 2021**).

### **III. Plantes médicinales et aromatiques :**

#### **III.1 Définition, Historique et importance:**

Les plantes médicinales et aromatiques regroupent des espèces végétales utilisées depuis l'Antiquité pour leurs propriétés médicinales et leur arôme, le plus souvent agréable. Ces plantes sont souvent étudiées conjointement en ethnobotanique en raison de leur importance dans divers domaines (**Pandey et al., 2020**).

Les plantes aromatiques se distinguent par leur teneur en composés volatils, notamment les huiles essentielles, qui leur confèrent des propriétés olfactives et gustatives particulières. Elles sont largement exploitées dans l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique (dans la production de parfums). Certaines espèces sont spécifiquement utilisées en aromathérapie et dans divers systèmes de la médecine traditionnelle. Les composés aromatiques sont présents dans différentes parties des plantes, notamment les racines, l'écorce, les feuilles, les fleurs, les fruits et les graines (**Maiti, 2007**).

Les plantes médicinales et aromatiques sont largement répandues à travers le monde, avec une forte diversité en Asie du Sud et du Sud-Est, en Amérique, en Europe, en Afrique et en Australie. L'Afrique possède plus de 5 000 espèces médicinales répertoriées (**Pandey et al., 2020**).

Selon un rapport sur l'état des plantes du monde (2017), environ 390 900 espèces de plantes sont connues de la science. Parmi elles, environ 369 040 (94 %) sont à fleurs, et au moins 28 187 (7,21 %) espèces sont actuellement répertoriées pour leurs usages médicaux (**Pandey et al., 2020**).

L'efficacité pharmacologique de ces plantes repose sur la présence de métabolites secondaires, tels que les alcaloïdes, les glycosides, les huiles essentielles et d'autres substances bioactives. Ces composés sont influencés par des facteurs environnementaux tels que la lumière, la température, les précipitations et les propriétés du sol, entraînant des variations chimiques au sein d'une même espèce selon son habitat (**Jeljzkov et Cantrell, 2016**).

#### **III.2 Usage traditionnel et développements modernes :**

L'utilisation des plantes aromatiques est une pratique ancrée dans plusieurs civilisations, notamment l'Égypte ancienne, la Chine, l'Inde et la Grèce, où elles étaient intégrées aux pratiques médicales traditionnelles. Durant le Moyen Âge, les connaissances sur ces plantes ont été préservées et développées par les moines et les herboristes à travers l'étude et l'expérimentation de leurs propriétés. (Pandey *et al.*, 2020).

Aujourd'hui, l'intérêt scientifique pour les plantes aromatiques s'accroît, avec de nombreuses recherches visant à identifier et à caractériser leurs composés bioactifs.

Cette demande mondiale en composés végétaux, huiles essentielles et extraits aromatiques connaît une croissance soutenue depuis deux décennies, favorisant l'essor de la recherche sur ces ressources naturelles. Selon l'Organisation internationale de normalisation (ISO, 1997), une huile essentielle est un produit obtenu par distillation à l'eau ou à la vapeur, par extraction mécanique (notamment pour les agrumes) ou par distillation sèche. Ces huiles essentielles possèdent des propriétés biologiques variées, notamment des activités antimicrobiennes, antivirales, antifongiques, insecticides et antioxydantes. (Jeljazkov et Cantrell, 2016).

#### **IV. Les plantes aromatiques étudiées :**

##### **IV.1 Rosmarinus officinalis :**

###### **IV.1.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques :**

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*), appartenant à la famille des Lamiacées, est un arbuste vivace, ramifié et à feuilles persistantes, pouvant atteindre un mètre de hauteur. Il produit des feuilles parfumées, en forme d'aiguilles, de couleur vert foncé, avec des bords légèrement incurvés et fleurs blanches, roses, violettes ou bleues (Begum *et al.*, 2013)

Il a été démontré que cette plante médicinale, très prisée, contient divers composés bioactifs naturels qui induisent plusieurs effets pharmacologiques, notamment des activités antioxydantes, (anti-inflammatoires, antidiabétiques, antibactériennes. De plus, les extraits de romarin ont montré des effets anticancéreux prometteurs dans plusieurs études *in vitro* (Lešnik *et al.*, 2021).



Figure 13: la plante *Rosmarinus officinalis* (Pantly, 2025).

#### IV.1.2 Classification *Rosmarinus officinalis*

D'après **Andrade et al. (2018)**, la classification scientifique de *Rosmarinus officinalis* est la suivante:

**Royaume :** *Plantae*

**Division :** *Trachéophyte*

**Sous-division :** *Spremathophytina*

**Classe :** *Magnoliopsida*

**Sous-classe :** *Asteridae*

**Ordre :** *Lamiales*

**Famille :** *Lamiacées*

**Genre :** *Rosmarinus L*

**Espèce :** *Rosmarinus officinalis L.*

#### IV.1.3 Répartition géographique :

##### a. Repartition mondial :

Etant cultivé depuis l'antiquité, on le retrouve dans de nombreux pays d'Europe et d'Asie notamment l'Inde et le Philippines, l'Australie, les Etats-Unis, le Mexique, l'Afrique du nord et au sud de l'Espagne ou il est considéré comme endémique (**González-Minero et al., 2020**).

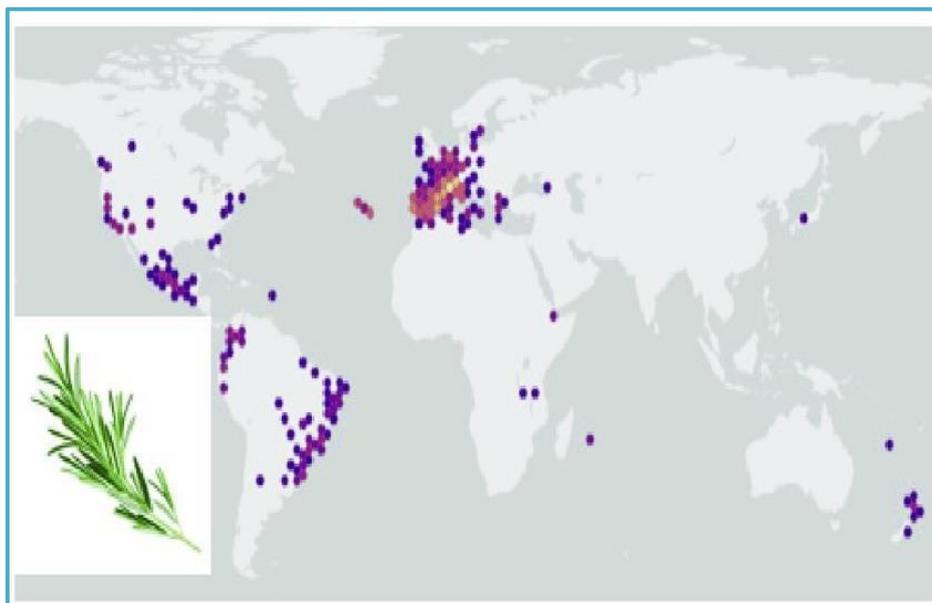


Figure 14: Répartition géographique de *Rosmarinus officinalis* (González-Minero *et al.*, 2020).

#### b. Répartition En Algérie :

En Algérie, le *R. officinalis* fait partie des plantes aromatiques qui se présentent à l'état sauvage dans les zones littorales, les coteaux secs et arides jusqu'aux confins sahariens (Helal, 2010).

#### IV.1.4 Composés bioactifs de HE du romarin :

L'huile essentielle de romarin obtenue par distillation à la vapeur des feuilles (jusqu'à 2,5%) est incolore à jaune clair, insoluble dans l'eau et possède un arôme caractéristique de camphore. Les principaux constituants de l'huile essentielle de romarin sont le camphore (5,0–21 %), le 1,8-cinéole (15–55%), l' $\alpha$ -pinène (9,0–26%), le bornéol (1,5–5,0%), le camphène (2,5–12%), le  $\beta$ -pinène (2,0–9,0%) et le limonène (1,5–5,0%) dans des proportions qui varient selon le stade végétatif et les conditions bioclimatiques (Andrade *et al.*, 2018).

#### IV.1.5 Activité biologique de l'huile essentielle de *R. officinalis* :

D'après les études antérieures, il ressort qu'au cours des 20 dernières années, Le romarin est la plante la plus étudiée en raison de ses propriétés anticancéreuses, antioxydantes et anti-infectieuses, englobant 55 % des études. Les activités liées au SNC (effets antidépresseurs, neuroprotecteurs, cholinergiques, etc.), anti-inflammatoires et analgésiques ont représenté près de 25 % des études (Andrade *et al.*, 2018). Ainsi que des activités contre des pathologies telles que la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson et la COVID-19,

- **Activité antimicrobienne** : Les huiles essentielles de romarin présentent une large spectre d'effets antimicrobiens contre les bactéries à Gram positif (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus cereus*), les bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*) et contre les champignons (*Saccharomyces cerevisiae* et *Candida albicans*). (Lešnik et al., 2021). Les huiles essentielles de romarin possèdent donc une forte activité antibactérienne, et il a été découvert que les monoterpènes oxygénés sont les principaux composés responsables de l'activité antibactérienne. Le mécanisme d'action par lequel ces composés inhibent les microorganismes, consiste à affecter le fonctionnement et la composition de la membrane cellulaire, la synthèse de l'ADN, de l'ARN, et la perturbation de métabolisme des protéines et des lipides (Akshay et al., 2019)

Parmi les monoterpènes oxygénés, les alcools (par exemple, le bornéol) possèdent la plus forte activité antibactérienne, tandis que les éthers (1,8-cinéol) et les cétones (par exemple, le camphore et la verbénone) ont montré une activité modérée (Lešnik et al., 2021).

- **Activité antioxydante** : Une forte activité antioxydante est souvent attribuée aux HE riches en monoterpènes phénoliques, les HE de romarin, qui sont principalement riches en composés non phénoliques, possèdent également une forte activité antioxydante. Cependant, aucun des principaux constituants des HE de romarin ne possède de cycle phényle ou de double liaison conjuguée.

Néanmoins, il a été constaté que les HE de romarin possèdent une certaine activité anti-radicalaire, comme cela a été démontré dans de nombreuses études. La raison derrière cela pourrait être que des composants mineurs, tels que le thymol et le myrcène, contenus dans les HE de romarin (Andrade et al., 2018).

## IV.2 *Thymus vulgaris* :

### IV.2.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques :

Le nom « *Thymus* » provient du mot grec « thymon », signifiant « parfum », en référence à l'odeur agréable dégagée naturellement par la plante ou lorsqu'elle est brûlée. L'espèce la plus célèbre de la famille des lamiacées est sans doute *Thymus vulgaris*. réputée pour ses qualités aromatiques et ses nombreuses vertus bénéfiques. En français et en anglais, le nom du genre (« thym » et « thyme ») est fréquemment utilisé pour désigner cette espèce (Kuete, 2017).

*T. vulgaris* est une plante aromatique utilisée à des fins culinaires et médicinales presque dans le monde entier. La plante fleurit et pousse jusqu'à 15-30 cm de haut. Le thym est un petit arbuste vivace dont les tiges deviennent ligneuses avec l'âge (**Hosseinzadeh et al., 2015**). Les fleurs sont violet clair, à deux lèvres, 5 mm de long avec un calice glandulaire poilu. La plante peut être multipliée par graines, par boutures ou par division de sections enracinées. Elle peut résister à des gelées profondes et pousse à l'état sauvage sur les hauts plateaux de montagne. Le long de la Riviera, on la trouve du niveau de la mer à 800 m. Le thym est cultivé dans la plupart des pays européens, mais il est également bien cultivé dans plusieurs pays africains (**Hosseinzadeh et al., 2015**). Les feuilles de *T. vulgaris* sont de forme ovale à rectangulaire et les parties aériennes, plus ou moins charnues, sont utilisées pour la production d'huile volatile, principalement par distillation à la vapeur. Le thym est cultivé commercialement dans de nombreux pays pour la production de feuilles séchées, d'huile de thym, d'extraits de thym et d'oléorésines (**Kuete, 2017**).

Parmi les huit genres les plus importants de la famille des Lamiacées, le genre *Thymus* se distingue par le plus grand nombre d'espèces, bien que le nombre puisse varier selon les classifications taxonomiques (**Kuete, 2017**).



**Figure 15:** La plante *Thymus vulgaris* (**Wirtu et al., 2024**).

#### IV.2.2 Classification de *Thymus vulgaris*

La classification botanique de *Thymus vulgaris* est la suivante :

**Règne :** *Plantae*

**Sous-règne :** Tracheobionta ;

**Embranchement :** Magnoliophyta ;

**Sous-embranchement :** Magnoliophytina

**Classe** : Magnoliopsida

**Sous-classe** : Astéridées ;

**Ordre** : *Lamiales*

**Famille** : Lamiaceae

**genre** : *Thymus* ;

**Espèce** : *Thymus vulgaris* (Zeghad, 2009).

#### IV.2.3 Répartition géographique du thym

##### a. Dans le monde :

Le thym est présent en Europe, en Asie de l'Ouest et dans la région Méditerranéenne. Il est particulièrement répandu en Afrique du Nord-Ouest, dans les montagnes d'Éthiopie et d'Arabie du Sud-Ouest, ainsi que dans la péninsule du Sinaï en Égypte. On le retrouve également dans la région Macaronésienne et en Himalaya (Morales, 1997 ; Mabberley, 1997) .

Le thym peut même croître jusqu'aux limites de la région tropicale et au Japon. Au nord, il se développe en Sibérie, dans les pays nordiques européens et jusqu'aux bords du Groenland. La région de l'Ouest Méditerranéen est considérée comme le centre d'origine du genre *Thymus*, l'espèce *T. vulgaris* étant particulièrement originaire du sud de l'Europe, de l'Espagne à l'Italie. Aujourd'hui, Le thym est largement cultivé dans plusieurs pays à travers le monde, notamment en Europe, en Afrique du Nord , en Asie (Turquie, Chine), en Russie et aux États-Unis (Peter, 2004).

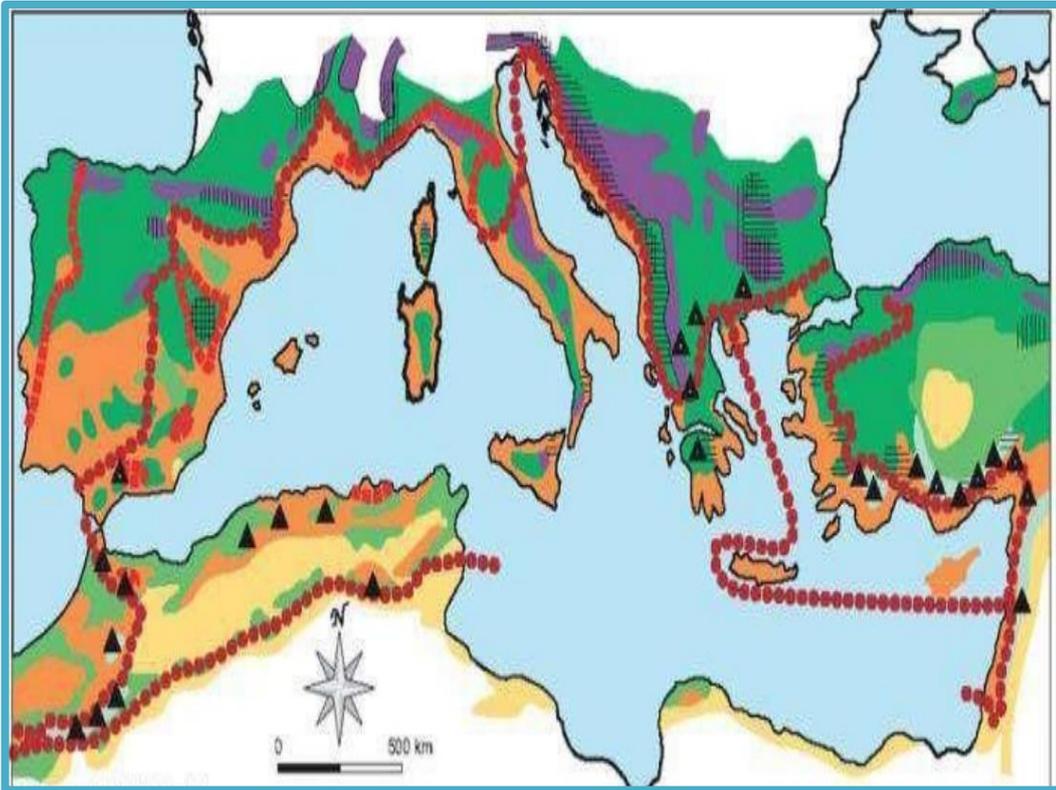
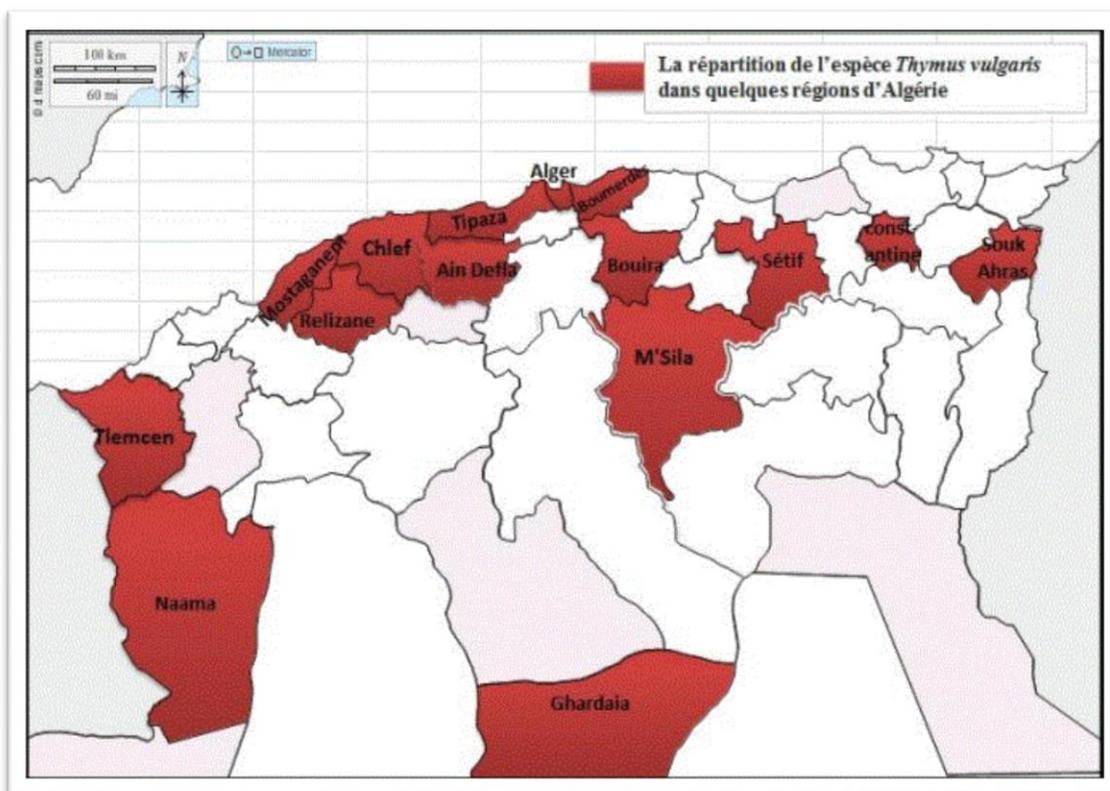


Figure 16: Répartition géographique mondiale du thym (Peter, 2004).

**b. En Algérie :**

L'Algérie, reconnue pour la richesse de sa flore aromatique grâce à sa grande superficie et sa diversité bioclimatique, abrite plusieurs espèces du genre *Thymus*, réparties sur tout le littoral et même dans les zones arides internes (Hammaz et Nafa, 2017). 12 espèces de *Thymus* sont présentes en Algérie, dont neuf sont endémiques (. Le thym est donc une plante largement répandue à travers le pays, du nord algérois à l'Atlas saharien, et du Constantinois à l'Oranais. *Thymus vulgaris*, caractéristique des pharmacopées méditerranéennes, se distingue par une grande diversité de chémotypes, offrant ainsi une variété de constituants médicinaux. Il est connu sous plusieurs noms vernaculaires : en Algérie, « zaater », « zaitra » (Dob et al., 2006).



**Figure 17:** Répartition géographique du *T. vulgaris* en Algérie (Benbouali, 2006)

#### IV.2.4 Composés bioactifs de *T. vulgaris* :

Les constituants phytochimiques du thym comprennent des composés phénoliques, des terpénoïdes et surtout du thymol, de l'eugénol et des saponines (Reddy et al., 2014).

**Tableau 6:** Profil chimique de l'huile essentielle de thym (Reddy et al., 2014)

Composant	Teneur (%)
Monoterpènes oxygénés	56,53
Monoterpéniques hydrocarbures	28,69
Sesquiterpéniques hydrocarbures	5,04
Sesquiterpènes oxygénés	1,84

L'huile essentielle de *Thymus vulgaris* est composée d'une quantité très variable en phénols dont le thymol et le carvacrol en sont les majeurs constituants. Elle contient également d'autres composants minoritaires comme présentés dans le tableau 4 (Abdelli, 2017).

**Tableau 7: Composition chimique de l'huile essentielle de *T. vulgaris* (Abdelli, 2017)**

Espèce	Familles	Composition
<i>Thymus vulgaris</i>	<b>Phénols (20 – 80%)</b>	Thymol (30 – 70%)
		Carvacrol (3 – 15%)
	<b>Alcools</b>	Linalool (4 - 6.5%)
		$\alpha$ -terpinéol (7.8 – 8.9%)
		p-cymène (15 – 20%)
		$\gamma$ -terpinène (5 – 10%)
	<b>Monoterpènes hydrocarbonés</b>	Bornéole, camphre, limonène, myrcène, $\beta$ -pinène, trans sabinène hydrate, terpinène-4-ol(0.5 – 1.5%)
	<b>Sesquiterpènes Hydrocarbonés</b>	$\beta$ -caryophyllène(1 – 3%)

#### IV.2.5 Activité biologique de l'huile essentielle de *T. vulgaris* :

- **Activité antibactérienne :** Cette activité de l'HE de thym a été démontrée contre un panel de 14 isolats cliniques de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline et d'autres souches bactériennes standard, telles que *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*. D'autres études ont également signalé une forte activité antibactérienne des huiles essentielles contre 120 souches appartenant aux genres *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Escherichia* et *Pseudomonas*. L'activité antibactérienne des huiles essentielles de thym a également été signalée contre les bactéries Gram-positives *Streptococcus pyogenes*, ainsi que contre *Helicobacter pylori* (Esmaeili et al., 2012; Sfeir et al., 2013).
- **Activités antioxydantes :** Les composés phénoliques du thym présentent une activité antioxydante remarquable, qui peut surpasser celle d'antioxydants bien connus tels que l'hydroxy-toluène butylé (BHT) et l' $\alpha$ -tocophérol. Ils ont été signalés pour leur capacité efficace à piéger les radicaux libres, agissant ainsi comme des agents antioxydants naturels. Ces composés agissent comme des piègeurs de radicaux libres lors de l'oxydation des lipides, avec une valeur IC50 de 18,6  $\mu\text{g/mL}$ , et protègent les

lipides de l'oxydation pendant le stockage au congélateur et au réfrigérateur. (Kuete, 2017).

- **Activités antifongiques :** L'HE de thym a été signalée pour ses effets antifongiques contre les champignons responsables de la détérioration des aliments, notamment les espèces d'*Aspergillus*, telles que *A. oryzae*, *A. brasiliensis* et *A. flavus* *A. ochraceus* (Mandal et DebMandal, 2016).
- **Activités anti-inflammatoires :** Les extraits de thym ont été signalés pour leurs activités anti-inflammatoires. Ils réduisent la production et l'expression génétique des médiateurs pro-inflammatoires, tels que le facteur de nécrose tumorale alpha (TNF- $\alpha$ ), l'interleukine-1 bêta (IL-1 $\beta$ ) et l'interleukine 6 (IL-6), et augmentent l'expression de la cytokine anti-inflammatoire, l'interleukine-10 (IL-10) (Kuete, 2017).

### IV.3 La plante *Laurus nobilis* :

#### IV.3.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques :

*Laurus nobilis* signifie "toujours vert" en latin, ce qui fait référence au feuillage persistant de la plante, est un arbuste aromatique et médicinal de la famille des Lauracées, comprenant entre 2 500 et 3 500 espèces. Ce genre inclut deux espèces : *Laurus azorica* et *Laurus nobilis*. Originaire des régions méditerranéennes, il est largement cultivé pour ses feuilles utilisées en cuisine comme épice et pour ses propriétés médicinales. En plus de ses applications culinaires, *L. nobilis* possède diverses propriétés thérapeutiques, antimicrobiennes et insecticides, son HE est employée dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique (Paparella *et al.*, 2022).

Cette plante peut atteindre jusqu'à 20 m de hauteur dans la nature. Elle présente des feuilles coriaces, lancéolées, d'un vert olive brillant sur la face supérieure, et une odeur caractéristique lorsqu'elles sont écrasées. Ses fleurs sont petites, jaunes, et parfumées. (Sharma *et al.*, 2012; Paparella *et al.*, 2022)



**Figure 18:** la plante *Laurus nobilis* (Khodja et al., 2023)

#### IV.3.2 Classification botaniques de *Laurus nobilis*

La position systématique de *Laurus nobilis* est la suivante (Khodja et al., 2023).

**Règne :** Plantes

**Sous règne :** Plantes vasculaires

**Embranchement :** Spermaphytes

**Sous –embranchement :** Angiospermes

**Classe :** Dicotylédones

**Sous classe :** Dialypétales

**Ordre :** Laurales

**Famille :** Lauracées

**Genre :** *Laurus*

**Espèce:** *Laurus nobilis*

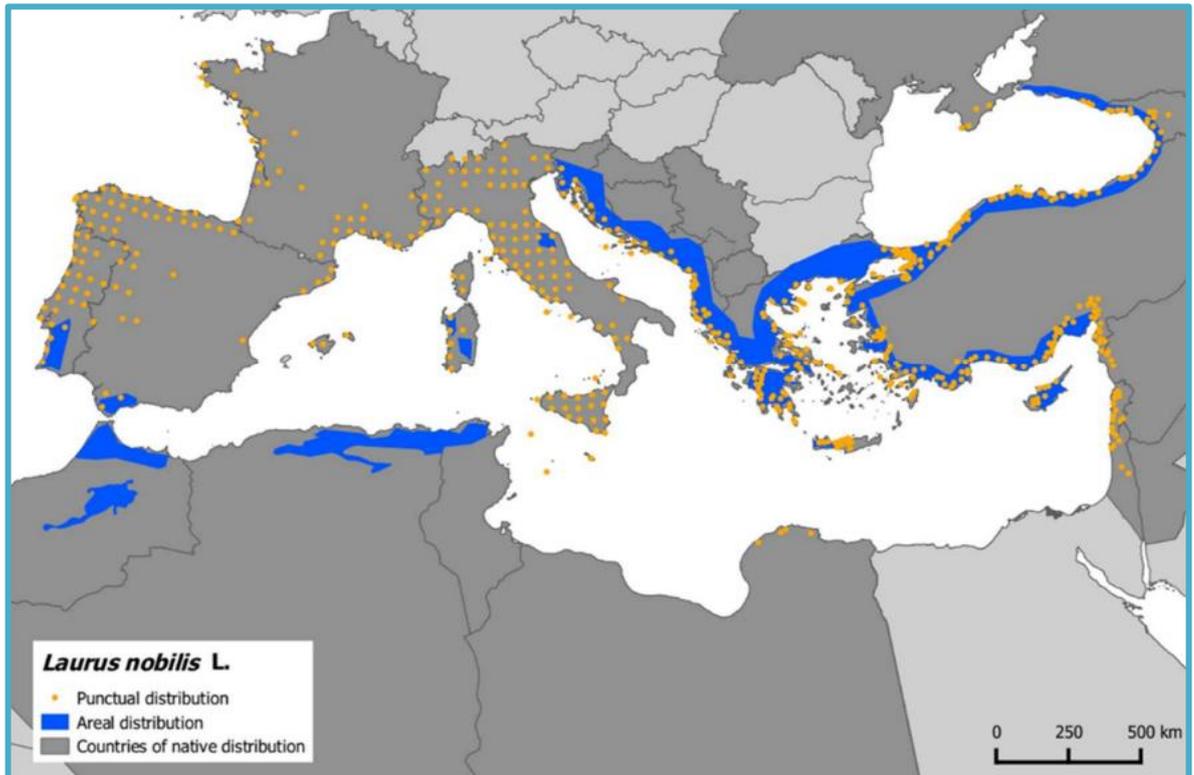
#### IV.3.3 Répartition géographique *Laurus nobilis*

##### a. Dans le monde ;

*L. nobilis* est cultivée dans les pays méditerranéens, mais aussi dans les régions tempérées et chaudes du monde entier, notamment en Turquie, Espagne, Italie, Algérie, Maroc et aux États-Unis. Elle est également présente en Asie tropicale, en Australie et dans le Pacifique.

Aujourd'hui, la culture du laurier s'étend à la fois à des fins commerciales et ornementales, notamment en Europe et aux États-Unis. Les principaux pays producteurs sont

la Turquie, qui génère deux tiers du commerce mondial (20 millions de dollars par an), l'Albanie et la Grèce. (Paparella *et al.*, 2022)



**Figure 19:** Distribution des Lauracées à travers le monde (Paparella *et al.*, 2022)

**b. En Algérie :**

En Algérie, on peut trouver des arbustes de laurier dans les forêts d'aune situées dans les zones humides d'Annaba, El Kala et Guerbère Senhadja. Malgré l'ancienneté de la phytothérapie, seul le domaine botanique de cette biomasse a été largement documenté jusqu'à présent. Il n'a que peu de propriétés biologiques. On le trouve dans les forêts et les ravins humides. Espèce commune du tell algérois et du constantinois (Beloud, 2001; Ben Djamaa *et al.*, 2012).

**IV.3.4 Composés bioactifs de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* :**

Les analyses par GC-MS ont révélé la présence de plus de 150 composants dans l'huile essentielle de feuille de laurier, le 1,8-cinéol étant généralement le composant principal (26 à 51 %). Les autres principaux composés sont l'eugénol, l' $\alpha$ -pinène, le  $\beta$ -pinène, le sabinène, le limonène et le linalol (Chahal *et al.*, 2017).

**IV.3.5 Activité biologique et utilisation médicale de *Laurus nobilis* :**

Traditionnellement, les feuilles de laurier sont utilisées en phytothérapie, ayant une activité antidiarrhéique, analgésiques, anticancéreuse, anti-inflammatoire et antidiabétique ainsi elles sont utilisées pour améliorer la réponse du système immunitaire (**Khodja et al., 2023**).

- **L'activité antibactérienne:** *L. nobilis* est depuis longtemps reconnue pour ses propriétés antimicrobiennes, largement utilisées en médecine traditionnelle. Les feuilles de laurier ont montré de bonnes activités antimicrobiennes qui ont été liées à la présence de nombreuses classes de composés bioactifs. En effet, l'extrait méthanolique d'huile essentielle de laurier a montré une activité antibactérienne significative contre les souches de *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus gallinarum*, *Haemophilus influenzae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* et *Klebsiella pneumonia*, (**Ozcan et al., 2010**). Ainsi que, le pouvoir d'inhibition du biofilm de plus de 70 % obtenu par une faible concentration sous-inhibitrice (1/16 CMI) (**Paparella et al., 2022; Khodja et al., 2023**).
- **L'activité antioxydante :** L'activité antioxydante de l'HE de *L. nobilis* a été examinée dans la littérature, compte tenu de l'importance de cette plante aromatique dans le domaine alimentaires et la médecine traditionnelle. Les feuilles de *L. nobilis* ont montré de fortes propriétés antioxydantes. Ainsi que, les extraits lyophilisés de feuilles de laurier présentaient une forte activité antioxydante totale dans l'émulsion d'acide linoléique. L'extrait alcaloïde obtenu à partir de feuilles de laurier a exprimé une activité antioxydante élevée avec une CI50 de 63,28 µg/ml. L'extrait phénolique a montré un pouvoir antioxydant avec une CI50 de 317,57 µg/ml, (**Khaled Khodja et al., 2021 ; Paparella et al., 2022**).
- **L'activité antifongique:** L'HE de *L. nobilis* démontre également une forte activité antifongique, avec des applications dans l'agriculture et l'industrie alimentaire. ont découvert que l'huile essentielle inhibait la croissance d'agents pathogènes végétaux comme: *Alternaria solani* et *Sclerotinia sclerotiorum*. De plus, ont signalé une inhibition in vivo de *Alternaria alternata* dans les tomates cerises, et ont démontré son efficacité pour réduire la production d'aflatoxine B1 dans les grains de blé. (**Bayar et al., 2021; Belasli et al., 2021; Paparella et al., 2022**).

#### IV.4. La plante de *Mentha spicata* :

##### IV.4.1 Nomenclature et caractéristiques botaniques :

La *Mentha spicata*, communément appelée menthe verte ou menthe en épi, est une plante vivace de la famille des Lamiacées. Des données récentes, basées sur des caractéristiques morphologiques, cytologiques et génétiques, ont montré que le genre *Mentha* peut être classé en 42 espèces, dont 15 hybrides. En effet, la taxonomie de la menthe est très complexe et il n'y a pas toujours de consensus. La plante se distingue par ses feuilles allongées et dentelées de couleur verte, qui libèrent un parfum agréable et rafraîchissant lorsqu'elles sont froissées. Ses tiges carrées, caractéristiques des Lamiacées, peuvent atteindre entre 30 et 90 cm de hauteur. La plante fleurit en été, produisant de petites fleurs discrètes disposées en épis. Son nom scientifique, *Mentha spicata*, fait référence à la forme en épi de son inflorescence. Cette plante fait partie du genre *Mentha*, qui regroupe plusieurs espèces de menthes, utilisées depuis l'Antiquité pour leurs vertus médicinales et culinaires (Salehi *et al.*, 2018; Tanuja *et al.*, 2024).



**Figure 20:** la plante *Mentha spicata* (Lowe's 2025)

##### IV.4.2 Répartition géographique de *Mentha spicata* :

La *M. spicata*, largement cultivée dans le monde entier, se trouve notamment en Europe, en Asie, en Afrique du Nord et en Amérique du Nord. Elle prospère particulièrement dans les régions tempérées au climat doux et humide, propice à son développement. Cette plante est cultivée pour ses propriétés aromatiques et médicinales, ainsi que pour son utilisation en cuisine. La menthe verte préfère les sols bien drainés et légèrement acides, mais

elle peut également se développer à l'état sauvage dans des milieux humides tels que les prairies et les bords de ruisseaux. Les espèces du genre *Mentha*, appartenant à la famille des Lamiacées, sont répandues en Europe, en Asie, en Afrique, en Australie et en Amérique du Nord.

En Algérie, *M. spicata* est cultivée dans diverses régions, principalement dans les zones de plaine et de montagnes. On la retrouve fréquemment dans les régions du nord, où le climat méditerranéen et les sols fertiles créent des conditions idéales pour sa croissance (Petersen et Simmond, 2002 ; Salehi *et al.*, 2018).

#### IV.4.3 Composés bioactifs de *Mentha spicata* :

La *Mentha spicata* présente une composition chimique variée qui contribue à ses propriétés aromatiques et médicinales. Parmi les principales substances actives, on retrouve : le **menthol, l'acide rosmarinique, les flavonoïdes**: Composé clé responsable de l'odeur et du goût distinctifs de la menthe, il possède des propriétés anti-inflammatoires, analgésiques et antispasmodique. L'huile essentielle de *Mentha spicata* renferme plusieurs composés, tels que

(-)-carvone (40,8 à 67,8 %) l'oxyde de pipéritone (35,7 à 94,8 %), la pipéritone (81,2 %) ou la pulégone (53,9 %) limonene,  $\beta$ -caryophyllene,  $\alpha$ - pinene,  $\beta$ -pinene, 1,8-cineole (eucalyptol), linalool, le menthone et l'iso-menthone, qui renforcent ses propriétés antiseptiques et antispasmodiques (Petersen et Simmond 2002; Salehi *et al.*, 2018).

#### IV.4.4 Activité biologique de *Mentha spicata*:

- **L'activité antibactérienne:** Les huiles essentielles et les extraits de la menthe se sont révélés efficaces contre une série de bactéries Gram négative: *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *klebsiella pneumonia*, *Vibrio spp* et *Pseudomonas aeruginosa.*, ainsi que les Gram positive : *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes* et *Staphylococcus aureus* et offrent une option plus saine et plus naturelle pour la conservation des aliments, réduisant ainsi la dépendance aux produits chimiques synthétiques (Shahbazi, 2015; Salehi *et al.*, 2018).
- **L'activité antioxydante:** Des études ont montré des niveaux variables d'activité antioxydante dans différentes huiles essentielles. Dans une étude, une activité antioxydante a été observée avec une CI50 de 65,13  $\mu\text{g/mL}$ , tandis que dans une autre, la CI50 était de 13,3  $\mu\text{g/mL}$ . Les différences d'activité antioxydante entre les échantillons peuvent être attribuées à leur composition chimique, influencée par des

facteurs tels que la région de culture de la plante et les méthodes de récolte et d'extraction utilisées (**Adli et al., 2022**).

- **L'activité antifongique:** Plusieurs études antérieures ont indiqué que l'huile essentielle de *Mentha spicata* présente un fort potentiel antifongique contre différentes espèces fongiques notamment: *Aspergillus niger*, *Fusarium solani*, *Alternaria alternata*, *Alternaria solani*, *Aspergillus flavus* et *Rhizopus solani* (**Salehi et al., 2018; Adli et al., 2022**).

# **Partie Experimentale**

# **Chapitre I**

## **Materiel et Methode**

La durée de conservation de la viande de poulet est relativement courte. La détérioration de cette viande représente donc un problème économique majeur, impactant simultanément les producteurs et les consommateurs.

Notre objectif est d'améliorer la qualité microbiologique et sensorielle de la viande de poulet grâce à l'utilisation d'huiles essentielles (HE) comme additifs naturels de conservation, combinée à la réfrigération. Cette étude est composée de deux parties: la première s'intéresse à l'effet antimicrobien de deux HE (le laurier et le thym) contre les bactéries pathogènes pouvant contaminer la viande de poulet cuite, tandis que la deuxième partie aborde l'effet antimicrobien de deux autres HE (la menthe et le romarin) contre la flore d'altération de la viande de poulet crue, afin d'en prolonger la durée de conservation grâce à un emballage sous vide. Nous avons choisi la viande de poulet car c'est la viande blanche la plus produite et la plus consommée, comme mentionné précédemment.

Les travaux expérimentaux ont été réalisés au cours de la période de mars 2021 à avril 2022 au sein du laboratoire de recherche de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ziane Achour Djelfa ainsi qu'au sein de laboratoire de Recherche sur les Systèmes Biologiques et la Géomatique LRSBG, la Faculté SNV université de Mascara.

## **I. La première partie :**

### **I.1. Matériel végétal :**

Les plantes fraîches ont été récoltées durant la période mars à avril 2021, *Laurus nobilis* et *Thymus vulgaris* originaires de la région Nord-Est de l'Algérie (Skikda-Annaba-Souk Ahras) puis elles ont été identifiées botaniquement au département d'agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université.



**Figure 21:** Site de récolte des plantes de *Laurus nobilis* et *Thymus vulgaris*.

### I.1.1 Extraction des huiles essentielles :

Les plantes ont été séchées à l'air libre, à température ambiante et dans l'obscurité. Cent grammes (100 g) de chaque plante ont été homogénéisés avec de l'eau distillée, puis hydrodistillés pendant 3 heures à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Après séparation de l'eau, les huiles essentielles obtenues ont été conservées dans des flacons en verre hermétiques et stockées à 4°C jusqu'à leur utilisation (**Pharmacopée européenne 6.0, 2008**).



**Figure 22:** *Laurus nobilis*.



**Figure 23:** Photo, extraction des huiles essentielles par hydrodistillation

### I.1.2 Détermination des rendements d'extraction et l'activité antioxydante :

- **Le rendement:** Le rendement est déterminé par le calcul du poids de l'HE sur le poids de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction, multiplié par 100% (Zheljazkovet *al.* , 2013).

$$\text{Rd \%} = (\text{P1} \times 100) / \text{P0}$$

Où: Rd : rendement.

P1 : Poids de l'huile essentielle finale en gramme;

P0 : Poids de la matière végétale sèche en gramme.

- **L'activité antioxydante :**

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre stable qui absorbe à 517 nm. En présence de composés antiradicalaires, le DPPH, de couleur violette, se réduit en 2,2-diphényl-1-picrylhydrazine, de couleur jaune. Les absorbances mesurées servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH, qui est proportionnel au pouvoir antiradicalaire de l'échantillon (Parejo et al., 2003).

La capacité de piégeage du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) des huiles essentielles (HE) de thym et de laurier a été évaluée. Dix (10) µl de chaque échantillon d'HE, à différentes concentrations, ont été ajoutés à 1990 µl de solution de DPPH (Sigma-Aldrich, France) (0,025 mg/ml de méthanol). Après 30 minutes d'incubation dans l'obscurité à

température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 517 nm contre un blanc de méthanol absolu. L'acide ascorbique a été utilisé comme témoin positif. (Dongmo *et al.*, 2010). Les résultats ont été exprimés en tenant compte de la moyenne de trois mesures obtenues pour chaque HE, dont le pourcentage de réduction du DPPH est calculé selon la formule suivante:

$$\% \text{ de l'activité antioxydante } [\text{Abscontrôle} - \text{Abséchantillon} / \text{Abscontrôle}]$$

Où: PR: Pouvoir de la réduction exprimé en pourcentage (%)

Abs contrôle : Absorbance du control (Blanc), la solution de DPPH en absence de l'huile essentielle et de l'acide ascorbique.

Abs échantillon: Absorbance de la solution de DPPH en présence de l'huile essentielle ou de l'acide ascorbique.

### I.1.3. Analyse de la composition chimique des huiles essentielles par (GC-MS) :

L'analyse des HE a été réalisée au sein du Plateau Technique d'Analyses Physico-Chimiques (PTAPC-CRAPC)-Laghout-Algérie, à l'aide d'un instrument SHIMADZU GCMSQP2020, équipé d'une colonne capillaire Rxi®-5ms fusionnée (30 m × 0,25 mm et 0,25 µm d'épaisseur de film). Un volume de 0,5 µL d'échantillon a été injecté en mode split (1:10). Les températures de l'injecteur et du détecteur ont été maintenues respectivement à 250°C et 310 °C, la température de la colonne a été programmée à : 50 °C fixe pendant 2 min puis augmentée à 310 °C à un débit de 3 °C/min, puis maintenue à 310 °C pendant 2 min. L'hélium a été appliqué comme gaz vecteur à un débit de 1,5 mL/min. Les conditions du spectromètre de masse étaient les suivantes : tension d'ionisation de 70 eV, température de la source d'ions de 200 °C et spectres de masse d'ionisation électronique acquis sur la gamme de masse de 45 à 600 m/z.

Les composants des (HE) ont été identifiés par comparaison de leurs indices de rétention linéaire calculés avec ceux de la littérature (livre de Robert P. Adams, 2017, éd. 4.1)(Adams, 2017), ainsi que de leurs spectres de masse avec ceux enregistrés dans NIST (National Institute of Standards and TechnoLogy : Institut national de normalisation et de technoLogie) et bibliothèques Wiley « NIST17.lib, W11N17MAI et FFNSC1.2.lib »

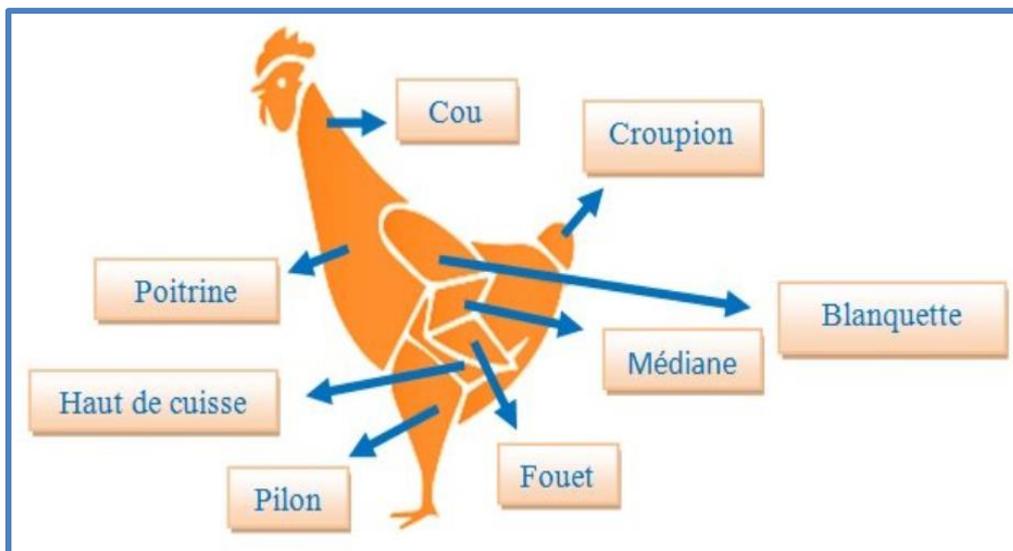
### I. 1.4 Préparation d'émulsion des huiles essentielles :

Chaque émulsion d'huiles essentielles de thym et de laurier a été préparée en ajoutant 0,6 ml HE à 100 ml d'eau distillée stérile et 0,2 ml de polysorbate 80 (Tween 80) utilisé comme émulsifiant pour garantir la miscibilité des huiles essentielles dans l'eau. Les solutions ont été émulsifiées séparément avec un homogénéisateur mécanique (Homogenizer 850, Thermo Fisher Scientific, USA) pendant 3 min jusqu'à l'obtention des emulions homogènes.

Ces émulsions ont été utilisées immédiatement après préparation pour la pulvérisation de la viande de poulet testée. Les concentrations des HE ont été choisies sur la base de tests préliminaires, en raison de garder l'apparence normale de la viande poulet cuite sans altérations sensorielles négatives.

### I.2 Préparation des échantillons :

- **La souche de poulet de chair étudiée:** les souches de poulets chair désignent des populations avicoles caractérisées par leur origine géographique, leur caractéristique morphologique ou certaines aptitudes spécifiques, et dont la traçabilité génétique est strictement contrôlée (**Tixier-Boichard *et al.*, 2011**). Nous avons étudié **la souche Cobb500**, Grâce à son succès mondial, Cobb a accumulé une vaste expérience dans divers contextes, qu'il s'agisse de climats chauds ou froids, d'environnements contrôlés ou de bâtiments lumineux.
- La récolte des poitrines de poulet a été effectuée au niveau de l'abattoir avicole privé YAICHE, situé à Rousse laayoune, Djelfa (avec une capacité d'abattage de plus de 500 kg par jour). Au total, 30 poitrines de poulet ont été prélevées immédiatement après l'éviscération et transportées au laboratoire dans une glacière. La peau de chaque poitrine poulet a été retirée de manière aseptique avant l'application du traitement. Ensuite, les poitrines de poulet ont été coupées aseptiquement en cubes de 10 g et cuites au micro-onde. (Condor CMW-M2307B) à 500 W pendant 4 minutes.



**Figure 24:** Les morceaux de poulet et leur dénomination  
(Hainaut Terre de Goûts 2025)

### I.3 Cultures bactériennes :

Les souches lyophilisées « EZ-Accu Shot » de *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 14579) et *Listeria innocua* (ATCC 33090) utilisées dans cette étude ont été obtenues auprès de MicroBiologics (St. Cloud, MN, 56303 USA). Chaque souche bactérienne a été mélangée séparément de manière aseptique avec le liquide d'hydratation (fourni avec les souches) et inoculée dans des milieux de culture sélectifs comme indiqué ci-dessous et incubée à  $37 \pm 1$  °C pendant  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ . Ensuite chaque suspension microbienne a été préparée à partir d'une culture fraîche; quelques colonies ont été inoculées individuellement dans des tubes d'eau peptonée à 0,1 % (CONDALAB, Espagne). À l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS (Shimadzu, France), la densité optique de chaque culture a été ajustée à 600 nm pour être équivalente à la norme McFarland de 0,5 et des dilutions décimales consécutives ont été réalisées pour obtenir  $10^6$  UFC/mL. Ensuite, chaque cube de poulet a été inoculé avec 0,1 mL de suspension bactérienne en fonction du lot. Les suspensions bactériennes ont été préparées immédiatement avant l'inoculation des cubes de poulet cuits et jetées après utilisation.

#### **I.4 Traitement des échantillons et procédure d'inoculation :**

Tous les cubes de poulet cuits ont été répartis au hasard en trois lots en fonction des souches bactériennes inoculées. Chaque lot a été divisé en trois groupes: le groupe témoin, le groupe traité avec l'émulsion d'huile essentielle de laurier (EHEL) et le groupe traité avec l'émulsion d'huile essentielle de thym (EHET). Ensuite, les échantillons du groupe témoin ont été inoculés uniquement avec des suspensions bactériennes (0,1 mL pour chaque cube de poulet). Les échantillons des groupes traités ont été pulvérisés individuellement avec EHEL ou EHET, égouttés sur du papier absorbant pendant 15 minutes à température ambiante, puis inoculés avec la suspension bactérienne comme décrit ci-dessus.

Ensuite, les échantillons de tous les groupes ont été placés séparément de manière aseptique dans des boîtes en polystyrène stériles équipées de couvercles. Enfin, les boîtes de chaque groupe ont été divisées au hasard en trois sous-groupes en fonction des températures de stockage :

- Un sous-groupe a été stocké à  $3 \pm 0,5$ °C (T3), simulant une température de stockage régulière.
- Un sous-groupe a été stocké à  $8 \pm 1$ °C (T8), simulant un stockage inadéquat qui peut se produire dans les réfrigérateurs domestiques.
- Les sous-groupes restants ont été stockés à (T3A):  $3 \pm 0,5$ °C pendant 24 heures, puis 12 heures à  $25 \pm 1$ °C, et enfin maintenus à  $3 \pm 0,5$ °C jusqu'à la fin du

stockage, simulant des conditions de température abusives qui peuvent se produire après la rupture de la chaîne du froid pendant l'entreposage.

Des analyses microbiologiques de *Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua* et *Bacillus cereus*, ainsi que des évaluations sensorielles, ont été réalisées à 0, 24, 36, 72 et 120 heures de période de stockage.



**Figure 25:** Photo, des cubes de poulet cuits pulvérisés et emballés dans des plateaux.

## I.5 Analyse microbiologique :

### I.5.1 Préparation des échantillons pour analyses microbiologiques :

10 g de chaque échantillon ont été mélangés de manière aseptique avec 90 mL d'eau peptonée (0,1 % p/v) (CONDALAB, Espagne) dans un sac Stomacher stérile, puis homogénéisés dans le Stomacher pendant 90 secondes. Des dilutions décimales ont été réalisées avec le même diluant. Ensuite, 0,1 mL de chaque dilution appropriée a été versé en triplicat dans des boîtes contenant un milieu sélectif.

### I.5.2 Dénombrement de *L. innocua*:

*L. innocua* (ATCC 33090) est un substitut microbiologique (surogat) de *Listeria monocytogenes* (Hu et Gurtler, 2017).

*Listeria monocytogenes* est un agent pathogène d'origine alimentaire de plus en plus préoccupant. Cette bactérie représente l'un des principaux risques microbiologiques associés au poulet cuit prêt à l'emploi en raison de sa capacité à se développer à basse température, de sa résistance thermique supérieure à celle de nombreux autres micro-organismes, de son omniprésence dans l'environnement et de la gravité de la listériose qu'elle peut déclencher

(Gouveia *et al.*, 2017). Le dénombrement de *L. innocua* est effectué sur Listeria PALCAM Agar (MERCK, Allemagne) selon la norme (ISO 11290-1, 2017).

### I.5.3 Dénombrement de *B. cereus*:

C'est une bactérie fréquemment impliquée dans les toxi-infections d'origine alimentaire. Elle se caractérise par sa capacité à produire des spores résistantes aux traitements thermiques, favorisant ainsi sa persistance dans les aliments (Ceuppens *et al.*, 2011; Brossier, 2021).

Le dénombrement de *Bacillus cereus* est effectué sur Bacillus cereus Agar selon Mossel (MERCK, Allemagne), conformément à la norme (ISO 7932:2004).

### I.5.4 Dénombrement de *S. aureus* :

C'est une bactérie pathogène opportuniste impliquée dans les intoxications alimentaires, elle peut contaminer les aliments lors de leur manipulation, en particulier en l'absence de bonnes pratiques d'hygiène. Cette bactérie produit des entérotoxines thermorésistantes aux traitements thermiques classiques, ce qui rend la prévention essentielle (Hennekinne *et al.* 2012 ; Odetokun *et al.*, 2023).

Le dénombrement de *S. aureus* est effectué sur Baird Parker Agar (CONDALAB, Espagne) supplémenté avec une émulsion de jaune d'œuf-tellurite de potassium, conformément à la norme (ISO 6888-1:2021).

### I.5.5 Incubation et expression des resultat:

Les boîtes ont été incubées pendant 24 h±2 à 37±1°C pour *S. aureus*, *L. innocua* et *B. cereus*. Les résultats ont été exprimés en Log UFC/g de viande de poulet selon l'équation suivante :

$$N = \frac{\sum C}{v(n_1 + 0,1n_2)d}$$

Où:

N: Nombre d'UFC/g de la viande;

C: Somme des colonies comptées sur les boîtes retenues de deux dilutions successives et contenant entre 30 et 300 colonies;

V : Volume de l'inoculum appliqué à chaque boite en mL;

n<sub>1</sub>: Nombre des boites retenues à la première dilution;

n<sub>2</sub>: Nombre de boites retenues à la deuxième dilution;

d: Taux de dilution correspondant à la première dilution retenue.



**Figure 26:** Photo, travail expérimental de la première partie au laboratoire.

## **I.6 Analyse physico-chimique :**

Les paramètres physico-chimiques analysés dans cette section sont mesurés sur les cubes de viande de poulet cuits, non inoculés (témoins et traités par les émulsions d'huiles essentielles), et conservés uniquement à la température T3.

### **I.6.1 Mesure de pH :**

Le pH est un paramètre essentiel influençant la qualité, la texture et la stabilité microbologique de viande. En général, la cuisson entraîne une légère augmentation du pH par rapport à la viande crue, due à la dénaturation des protéines et à la libération de certains composés basiques (Lhommeau *et al.*, 2021).

Le pH des échantillons de viande de poulet cuite a été déterminé selon la norme **AFNOR NF ISO 10390, 2022**. Un cube de viande de 10 g homogénéisé pendant 10 minutes dans 100 mL d'eau distillée. Le pH est mesuré directement en le lisant sur un pH-mètre. (OHAUS, ST3100, États-Unis) étalonné à pH 4,0 et 7,0.

### **I.6.2 Teneur en l'humidité :**

L'humidité est un paramètre important influençant la texture de la viande cuite. Elle correspond à la quantité d'eau retenue dans le produit après cuisson et joue un rôle clé dans la tendreté, la jutosité et l'acceptabilité sensorielle (Purslow, 2017). Pour déterminer l'humidité, 5 g de chaque échantillon sont placés dans une capsule et séchés dans une étuve à une température de  $103 \pm 2$  °C, pendant 3 heures (Norme Algérienne n° 10.96.25). Après refroidissement des croûtes dans un dissecteur, la matière sèche est pesée et la teneur en humidité est exprimée selon l'équation suivante :

$$T \text{ Humidite \%} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

Où :  $m_0$ : Masse en grammes de la capsule vide ;

$m_1$ : Masse en grammes de la capsule et de la prise d'essai avant dessiccation ;

$m_2$ : Masse en grammes de la capsule et de la prise d'essai après dessiccation (échantillon séché).

### I.6.3 Teneur en matière grasse :

La teneur en matière grasse de la viande cuite est un paramètre clé influençant la qualité sensorielle et technologique. Des transformations physico-chimiques surviennent dans les lipides après la cuisson, entraînant une redistribution des fractions lipidiques au sein de la chair cuite. Ce phénomène dépend de plusieurs facteurs, notamment la composition initiale de la viande, la température et le mode de cuisson (**Gandemer et Duchène, 2015**).

La teneur en matière grasse est déterminée en utilisant la méthode de Soxhlet selon (**NF EN ISO 734-1, 2000**), Deux prises d'essai de 1,5 g de viande broyée ont été placées dans des cartouches de cellulose, puis insérées dans l'appareil Soxhlet. Un solvant d'extraction, l'éther de pétrole, a été ajouté à raison de 50 ml par ballon de 100 ml préalablement séché et pesé. L'extraction a été réalisée par chauffage pendant 5 à 8 heures, jusqu'à l'épuisement de la matière grasse. Après évaporation du solvant et séchage des résidus lipidiques à 105 °C, la pesée est effectuée avec précision. La teneur en matière grasse est calculée selon l'équation suivante :

$$MG \% = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

Où :  $m_1$  : la masse en (g) du ballon vide ;

$m_2$  : la masse en (g) du ballon avec l'extrait lipidique après séchage ;

$m_0$ : la masse en (g) de la prise d'essai.

### I.6.4 Evaluation de l'indice de peroxyde :

L'indice de peroxyde (IP) est un paramètre clé pour évaluer l'oxydation lipidique dans la viande cuite. Il permet de mesurer la quantité de peroxydes et d'hydroperoxydes formés en début d'oxydation des lipides (oxydation primaire) (**Jeuge et al., 2012**). Pour évaluer l'indice peroxyde de la viande de poulet :

On commence par dissoudre une masse  $m$  de viande dans un mélange (chloroforme-méthanol, 2 :3 v/v) pour extraire les graisses.

On dissout ensuite 0,5 à 1 g de lipides dans un mélange chloroforme : acide acétique (2:3 v/v). (Manipulation dans l'obscurité, pour réduire les interférences dues à la photo-oxydation). L'ajout de 1 mL de solution de KI (10%) à l'échantillon et laisser réagir 1 minute.

Titration par ajout de 30 mL d'eau distillée au mélange. Puis titration immédiatement avec une solution de thiosulfate de sodium (0,01 N) jusqu'à l'apparition de la couleur jaune pâle. Quelques gouttes de solution d'amidon sont ajoutées (comme indicateur), ce qui rend la solution bleue ; le titrage est poursuivi jusqu'à disparition complète de la couleur bleue. (ISO 3960 :2001 ; IANOR)

L'indice de peroxyde est exprimé en mEq  $O_2$ /Kg de lipide selon l'équation :

$$IP = \frac{V \times N \times 1000}{m}$$

Où : V : Volume de thiosulfate (en litre) ;

N : Normalité de la solution de thiosulfate (0,01 N) ;

m : masse de l'échantillon (en gramme).

### I.7 L'évaluation sensorielle :

L'évaluation sensorielle des cubes de poulet cuits (traiter uniquement par les émulsions des huiles essentielles sans inoculation bactérienne) conservés à différentes températures de stockage ont été évaluées selon la même méthode que (Patsias *et al.*, 2006). Un panel de six à sept membres (professeurs et étudiants du département de biologie ; spécialité Hygiène et sécurité alimentaire. Université Ziane Achour Djelfa. Algérie) a été invité à évaluer neuf boîtes d'échantillons témoins et traités à chaque heure d'échantillonnage. L'acceptabilité en tant que composite de l'apparence, la texture et de l'odeur a été estimée à l'aide d'une échelle d'acceptabilité allant de 5 à 1. Le score 5 correspondant à l'échantillon le plus apprécié et 1 correspondant à l'échantillon le moins apprécié. Un score de 3 a été pris comme limite inférieure d'acceptabilité.

Chaque groupe d'échantillons a été étiqueté de manière aléatoire avec un numéro de code à deux chiffres et présenté dans un ordre aléatoire aux évaluateurs avec de l'eau pour nettoyer leur palais.

### I.8 Analyses statistiques :

Toutes les expériences microbiologiques et physicochimiques ont été dupliquées pour chaque échantillon. En utilisant une ANOVA (analyse de la variance) suivie de tests de portée multiple de Duncan pour évaluer les différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre les échantillons de poulet cuit inoculés avec ou sans HE et les heures de stockage pour chaque condition de stockage à température, T3, T8 et T3A. Toutes les analyses ont été réalisées avec (SPSS 19.0 pour Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, États-Unis).

## II. La deuxième partie :

L'activité microbienne, combinée aux processus métaboliques, entraîne la détérioration de la viande et réduit sa durée de conservation. L'objectif de cette partie est d'évaluer l'impact du trempage des pilons de poulet dans une émulsion HE de *Mentha spicata* et de *Rosmarinus officinalis* à 0,4 %, chauffée à la même température que le processus d'échaudage doux ( $53\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 3 min) en combinaison avec l'emballage sous vide, sur l'activité antimicrobienne des HEs contre les bactéries d'altération afin de prolonger la durée de conservation.

### II.1 Matériel végétal :

Les feuilles fraîches de de *Rosmarinus officinalis* et de *Mentha spicata* ont été récoltées durant la période avril à mai 2021 à la region Blida-Djelfa en Algérie. Elles ont été soumises à la même méthode d'extraction des HEs que celle décrite dans la partie précédente, suivie d'une analyse par (GC/MS) et de la préparation des émulsions. La principale différence réside dans la concentration des HE, fixée à 0,4 %, et dans le volume des émulsions, établi à 10 litres.

#### II.1.1 Extraction des huiles essentielles :

Nous avons utilisé la même méthode que celle utilisée dans la première partie de l'étude.

#### II.1.2 Détermination des rendements d'extraction et de l'activite antioxydante des HE :

Nous avons utilisé la même méthode que celle utilisée dans la première partie de l'étude.

#### II.1.3Analyse de la composition chimique des huiles essentieles par (GC–MS) :

Identique à la méthode utilisée dans la première partie de l'étude.



**Figure 27:** Le site de recolte des plants de *Rosmarinus officinalis* et de *Mentha spicata*

## II.2 Préparation des échantillons et conditions de stockage :

180 pilons de poulet, provenant de la même bande et abattus dans le même abattoir, ont été achetés auprès d'un marché de détail local (Centre de ville, Djelfa) afin d'assurer l'homogénéité de l'échantillonnage.

Les échantillons ont été transportés au laboratoire dans des glacières isothermes afin de préserver leur fraîcheur et d'éviter toute contamination ou altération durant le transport.

Puis les pilons de poulet ont été divisés en deux lots en fonction des conditions de stockage, les échantillons du premier lot (Conserver à l'air) ont été répartis au hasard en cinq groupes:

- Groupe témoin (control) immergé dans de l'eau distillée stérile.
- Groupe immergé dans une émulsion HE de *M. spicata* à 0,4 % à température ambiante (MNA). (Non chauffée et stocke à l'air).
- Groupe immergé dans une émulsion HE à 0,4 % de *M. spicata* chauffée à  $53^{\circ}\text{C}\pm 1$  (MCA).
- Groupe immergé dans une émulsion HE de *R. officinalis* à 0,4 % à température ambiante (RNA).



*Pseudomonas spp.*, bactéries productrices desulfure d'hydrogène  $H_2S$  et bactéries psychrotrophes à 0, 3, 6, 9, 12 et 16 jours.

Pour le deuxième lot (ESV), des analyses ont été effectuées pour dénombrement : *Enterobacteriaceae*, les bactéries lactiques (LAB) et les bactéries productrices de  $H_2S$  à 0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 24 et 28 jours. Toutes les analyses ont été réalisées en double.



**Figure30:** Travail expérimental au laboratoire de la deuxième partie.

### II.3 Analyse microbiologique et détermination du pH :

#### II.3.1 Préparation des échantillons pour analyse microbiologique :

La viande de poulet crue (10 g) de chaque échantillon a été mélangée de manière aseptique avec 90 ml d'eau peptonée (0,1 % p/v) (CONDALAB, Espagne) dans un sac Stomacher stérile, puis homogénéisée à l'aide d'un Stomacher à température ambiante. Des dilutions décimales ont été réalisées avec les mêmes diluants.

#### II.3.2 Les *Enterobacteriaceae* :

Constituent un indicateur essentiel de la qualité microbiologique et de l'hygiène de la viande de poulet. (Schwaiger *et al.*, 2012).

Pour compter les *Enterobacteriaceae*, selon (ISO 21528-2, 2017) 1 mL de dilution appropriée a été déposé dans des boîtes de Petri et recouvert de 15-20 mL Violet Red Bile Glucose (VRBG) (CONDALAB, Espagne) fondu et refroidi à 45°C, puis mélanger doucement en mouvements circulaires pour assurer une bonne répartition de l'inoculum. Les boîtes ont été incubées pendant 24 h à 37 °C, Les colonies sont de taille moyennede 2-3 mm rouges à pourpres ou incolores à translucides (voir annexe).

### II.3.3 Pseudomonas spp :

Des bactéries Gram-négatif courantes dans l'environnement. Pour la viande de poulet, ces bactéries sont particulièrement préoccupantes en raison de leur rôle majeur dans sa détérioration, même lorsqu'elle est réfrigérée. (Raposo *et al.*, 2016; Watson *et al.*, 2023). Pour son énumération par ensemencement en surface 0,1 ml de chaque dilution appropriée a été versé dans des bouites de petri contenant le milieu sélectif gélose Cetrimid, Fucidin, Cephaloridine (CFC) (MERCK, Allemagne) et étalé à l'aide d'un étaleur métallique. L'incubation a été effectuée à 25 °C pendant 48 heures (ISO 13720:2010). Les colonies sont lisses brillantes de taille moyenne (2-4 mm) de couleur crème, grisâtre ou jaunâtre. (Annexe)

### II.3.4 Les bactéries psychrotrophes :

Des micro-organismes capables de se développer à basse température, y compris sous réfrigération (0 à 7°C). Elles jouent un rôle important dans l'altération des denrées alimentaires, en particulier des produits d'origine animale comme la viande de poulet. (KARIB *et al.*, 2021). Les bactéries psychrotrophes ont été dénombrées sur la gélose PCA (Plate Count Agar) après ensemencement en surface de 0,1 ml des dilutions appropriées et incubation à 7 °C pendant 10 jours. Les colonies sont de taille moyenne à grande (1 à 5 mm) et généralement translucides, blanches ou crème (ISO 17410 :2019).

### II.3.5 Les bactéries productrices de $H_2S$ :

Sont des bactéries capables de réduire les composés soufrés (comme la cystéine ou le thiosulfate) présents dans les protéines pour produire du sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), un gaz toxique caractérisé par une odeur désagréable. Ces bactéries, représentées principalement par *Shewanella putrefaciens* ainsi que certaines entérobactéries (*Proteus spp.*, *Salmonella spp.*, *Citrobacter spp.*) contribuent à la détérioration de la qualité sensorielle de la chair du poisson ainsi que d'autres types de viande (Malle *et al.*, 1998; Bonilla *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2011)

Les bactéries productrices de  $H_2S$  ont été comptés après l'ensemencement en surface de 0,1 de dilution appropriée sur gélose fer-peptonée (MERCK, Allemagne) supplémenté après autoclavage par L-cystéine 0,6 g/ L (Malle *et al.*, 1998 ; Bonilla *et al.*, 2007). L'incubation a été réalisée à 25°C pendant 72 heures. Des colonies noires caractéristiques se forment en raison de la formation de sulfure ferreux (Voir annexe).

### II.3.6 Les bactéries lactiques (LAB) :

Considérés comme la flore caractéristique de la viande conservée sous vide (Jay *et al.*, 2005 ; Bièche-Terrier *et al.*, 2019). Pour compter les LAB (ISO 15214 :1998), 1 ml de

dilution appropriée a été ensemencé en profodeur selon la même méthode de dénombrement des *Entérobactériacea* et et recouvert par gélose Man, Rogosa, Sharpe (MRS) (MERCK, Allemagne) les boîtes ont été incubées en anaérobiose pendant 3 jours à 30 °C. Les colonies sont petites, rondes, translucides ou opaques. (Voir annexe)

### II.3.7 Expression des résultats :

Les resultats microbiologiques sont exprimées en log UFC/g de viande de poulet selon l'équation mentionnée précédemment.

Le pH de l'homogénat (échantillon et eau peptonée) de chaque groupe de pilon de poulet a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre (Alonso-Hernando *et al.*, 2015).

### II.4 L'Evaluation sensorielle :

Un panel de 6 à 7 membres du la departement de la Biologie, spécialité Qualité des produits et sécurité alimentaire de l'Université Zian Achour, Algérie, a été invité à évaluer les pilons de poulet crues et cuites.

Chaque groupe d'échantillons a été étiqueté, au hasard, avec un numéro de code à trois chiffres et présenté dans un ordre aléatoire.

#### II.4.1 Evaluation sensorielle de la viande de poulet crue :

Cette evaluation a été réalisée selon Kreyenschmidt *et al.* (2010) avec une légère modification. L'odeur (O), la couleur (C) et la texture (T) ont été évaluées à l'aide d'un système de notation allant de (1 à 4), 1 correspondant au score de qualité le plus élevé et score 2,5 correspondants au limite d'inacceptabilité. (Voir annexe 01).

L'indice sensoriel pondéré (IS) a été calculé à l'aide de l'équation :

$$IS = \frac{2 \times O + 1 \times C + 1 \times T}{4} \times 100$$

Où : IS ; Indice sensoriel ;

O : odeur

C : couleur

T : texture

#### II.4.2 L'évaluation sensorielle de la viande de poulet cuite :

L'évaluationa été effectuéeselon la methode de Patsias *et al.* (2006). Les pilons de poulet de chaque groupe ont été cuites à la micro-onde à 700 W pendant 6 min. Une échelle d'acceptabilité allant de 5 à 1 a été utilisée pour évaluer l'acceptabilité en tant que composite d'odeur, de texture et de la saveur. 5 correspondant à l'échantillon le plus apprécié et 1

correspondant à l'échantillon de poulet le moins apprécié. Un score de 3 a été pris comme limite inférieure d'acceptabilité.

## II.5 Analyse physicochimique :

Des analyses physico-chimiques ont été effectuées uniquement sur les pilons de poulet témoins au jour 0, afin d'établir une référence et de comparer les résultats aux données disponibles dans la littérature.

### II.5.1 Teneur en proteine totale :

La valeur nutritionnelle de la viande est en grande partie déterminée par sa teneur en protéines. Les acides aminés essentiels nécessaires à la croissance et au bon fonctionnement de l'organisme sont fournis par les protéines (Tesseraud, 1995 ; Fardet *et al.*, 2021). Par conséquent, le dosage des protéines est fondamental dans les études sur la viande. La teneur en protéines est calculée selon la méthode de Kjeldhal (AFNOR, 2002)

- Transformer l'azote protéique en azote ammoniacal : 1g de la viande de poulet est chauffé avec de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) concentré et un catalyseur ( $K_2SO_4$ ). L'acide sulfurique sert à oxyder la matière organique et à transformer l'azote protéique en ammoniac.
- Distillation de l'ammoniac : L'ammoniac est libéré par l'ajout d'une solution de NaOH en excès, puis distillé avec de la vapeur d'eau. L'ammoniac est piégé dans une solution d'acide borique, formant des sels borates d'ammonium.
- Titrage de l'ammoniac : pour quantifier la quantité d'azote total dans l'échantillon. Le distillat contenant l'ammoniac est titré avec une solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) standardisée (0,1 N), et le virage de l'indicateur coloré permet de déterminer la fin de la réaction.

Calcul de la T azote selon la formule :

$$T \text{ azote} = \frac{V \times T \times M}{PE \times 1000} \times 100$$

Où : T azote : teneur en azote total (g/100g)  
V : volume de la solution de d'acide sulfurique (ml)  
T : concentration de la solution d'acide sulfurique (mol/L)  
M : masse molaire de l'azote (14,007 g/mol)  
PE : prise d'essai (g)

La teneur en protéines totales est obtenue par multiplication du pourcentage de l'azote total par le coefficient de conversion (généralement 6,25 pour la viande) :

$$T \text{ protéines} = T \text{ azote} \times 6,25$$

T protéines : teneur en protéines (g/100g)

T azote : teneur en azote total (g/100g)

### **II.5.2. Taux en matiere grasse :**

Nous avons utilisé la même méthode que dans la partie une pour les cubes de poulet cuits cuits.

### **II.5.3. Détermination de Le taux en humidité et matière sèche :**

La détermination de la teneur en humidité a été réalisée selon la même méthode que celle utilisée dans la première partie. Alors que la teneur en matière sèche (MS) des échantillons est déterminée à partir de leur teneur en humidité, la formule suivante est utilisée

$$\text{Taux de MS (\%)} = 100 \% - H \%$$

MS : matière sèche (%).

H : taux en humidite (%).

### **II.6 Traitement statistiques :**

Toutes les analyses microbiologiques ont été réalisées en double pour chaque échantillon. Une ANOVA (analyse de la variance) suivie de tests de Duncan a été utilisée pour évaluer les différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre les pilons de poulet immergées selon différents types de traitement et le groupe témoin non traité. Toutes les analyses ont été réalisées à l'aide de SPSS 19.0 pour Windows, SPSS Inc. Chicago, IL, États-Unis.

# **Chapitre II**

## **Resultat et Discussion**

## Résultat de la premiere partie :

Cette partie décrit l'activité antibactérienne de TEOE et LEOE sur les agents pathogènes d'origine alimentaire dans viande de poulet cuite conservée à différentes températures de stockage.

### I.1. Résultat des analyses des huiles essentielles :

#### I.1.1 Le rendement et l'activité antioxydante des HE :

L'activité antioxydante des huiles essentielles de *T. vulgaris* et de *L. nobilis* ainsi que leurs rendements ont été évalués et présentés dans le **Tableau 08**.

La méthode de piégeage du radical libre DPPH est couramment employée pour déterminer le pouvoir antioxydant des huiles essentielles ainsi que d'autres extraits végétaux. Cette technique permet d'évaluer l'activité antioxydante en mesurant la réduction de l'absorbance du DPPH à 517 nm (**Krimat et al., 2019**).

Les résultats obtenus confirment que les deux HE possèdent un pouvoir antioxydant puissant L'HE *L. nobilis* est doté une CI 50 = 60,3 ± 1,2 µg/ml tandis que l'HE de *T. vulgaris* presente une CI 50 = 77,5 ± 1,33 µg/ml

**Tableau 8:** Evaluation de l'activité antioxydante et le rendement des HE de *T. vulgaris* et *L. nobilis*

	<i>T. vulgaris</i>	<i>L. nobilis</i>
<b>l'activité antioxydante</b>	CI 50 = 77,5 ± 1,33µg/ml	CI 50 = 60,3 ± 1, 2 µg/ml
<b>Le rendement</b>	0.81 %	0.65 %

CI50: la concentration nécessaire pour inhiber 50% des radicaux de DPPH.

Cela indique que l'HE de *L. nobilis* présente une activité antioxydante plus élevée, car des valeurs inférieures de CI 50 reflètent un effet de piégeage des radicaux DPPH élevé, comparativement à l'HE de *T. vulgaris*. Toutefois, la différence entre les deux restes peu significatifs. En ce qui concerne le rendement, l'HE de *T. vulgaris* a le rendement le plus élevé.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Yilmaz et al. (2013)**, qui ont observé le meme pouvoir antioxydant de l'huile essentielle *L. nobilis*, caractérisée par une teneur de 51,8 % en 1,8 cinéole. La capacité de réduction des radicaux est due principalement, au profil chimique des HE riche en monoterpènes oxygénés.

### I.1.2 Composition volatile des HE :

La composition chimique des composés des huiles essentielles a été identifiée par analyse GC/MS ; seuls les composés ayant plus de 0,2 % ont été choisis. 35 et 11 composés représentant respectivement 97,48 % et 99,99 % du total des HE de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis* ont été déterminés **Tableau 09**. Les deux HES étaient caractérisées par un pourcentage élevé de composés monoterpéniques oxygénés, 46,61 % et 53,37 % dans le TEO et le LEO, respectivement. *Thymus vulgaris* représentant le chimio-type carvacrol était caractérisé par un niveau élevé de carvacrol 31,97 % et son précurseur biosynthétique, le  $\gamma$  – terpinène 8,76 % ; les autres principaux composés étaient le caryophyllène 8,59 %, l'ocymène 8,50 % et le linalol 5,08 %.

Selon **Thompson et al. (2003)**, l'espèce de *Thymus vulgaris* de la région méditerranéenne est caractérisée par une variation polymorphe basée sur leur composition en monoterpène, il existe deux chimio-types phénoliques (thymol et carvacrol) et quatre chimio-types non phénoliques (géraniol,  $\alpha$ -terpinéol, terpinène-4-ol et linalol). Le même chimio-type a été trouvé par **Benbouali (2006)** dans l'ouest de l'Algérie et **Marzouk et al. (2009)** en Tunisie avec des taux de carvacrol de 42,76 % et 75,73 %, respectivement.

En ce qui concerne l'HE de laurier, les principaux constituants détectés étaient : l'eucalyptol 41,16 %, l' $\alpha$ -pinène 13,77 %, le sabinène 11,42 %, la carvone 10,88 % et le limonène 8,09 %.

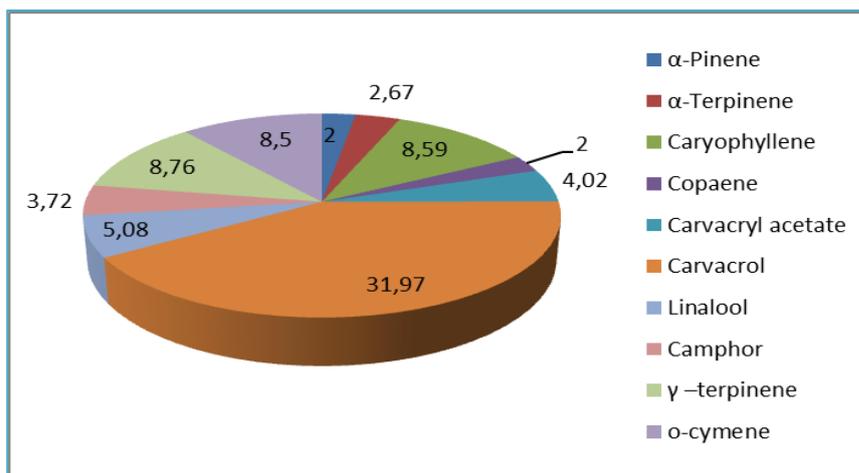
De même, des études antérieures ont rapporté que le 1,8-cinéole était le principal composé de l'HE de laurier, représentant 29,58 % (**Özogul et al., 2022**) et 31,9 % (**Caput et al., 2017**).

**Tableau 9:** Composition chimique des huiles essentielles de thym et de laurier par (GC-MS)

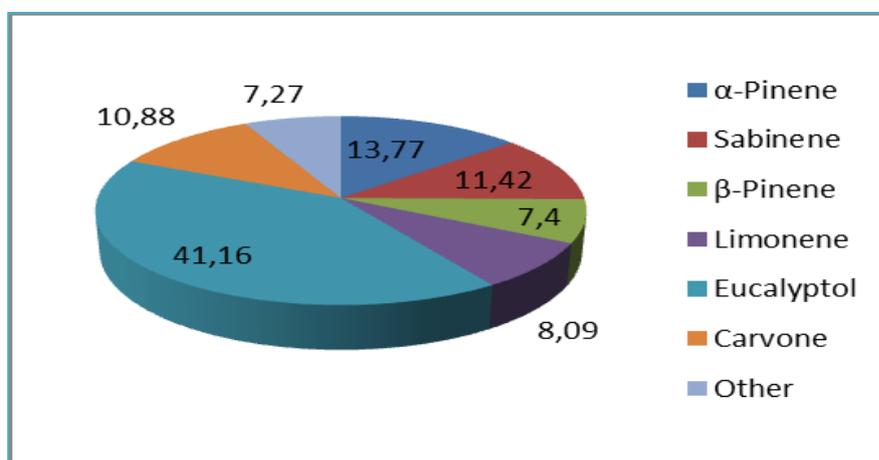
N°.	Composé	<i>Thymus vulgaris</i>		<i>Laurus nobilis</i>	
		T Ret	Valeur %	T Ret	Valeur %
1	$\alpha$ -Thujene	8.563	0.39	8.580	0.99
2	$\alpha$ -Pinene	8.827	2.00	8.825	13.77
3	Camphene	9.381	0.92	9.398	2.67
4	Sabinene	10.395	-	10.406	11.42
5	$\beta$ -Pinene	10.512	0.25	10.524	7.40
6	1-Octen-3-ol	10.643	0.39	-	-
7	Myrcene	11.166	1.93	-	-
8	$\alpha$ -Phellandrene	11.692	0.41	-	-
9	$\alpha$ -Terpinene	12.250	2.67	-	-
10	o-Cymene	12.671	8.50	-	-
11	Limonene	12.804	1.05	12.767	8.09
12	Eucalyptol	12.880	0.64	12.850	41.16
13	$\gamma$ -Terpinene	14.248	8.76	-	-
14	cis-Sabinene hydrate	14.504	0.80	-	-
15	Terpinolene	15.475	0.43	-	-
16	Linalool	16.129	5.08	16.036	1.33
17	Camphor	18.067	3.72	-	-
18	Borneol	19.083	1.90	-	-
19	Terpinen-4-ol	19.626	1.33	-	-
20	Dihydrocarveol	-	-	20.435	0.81
21	Carvone	-	-	22.657	10.88
22	Thymol	24.662	0.27	-	-
23	Carvacrol	25.785	31.97	-	-
24	Carvacrylacetate	26.397	4.02	-	-
25	2-Methyl-5-(propan-2-ylidene)cyclohexane-1,4-diol	26.512	1.26	-	-
26	Eugenol	27.979	0.44	-	-
27	Copaene	28.599	2.00	-	-
28	Caryophyllene	30.607	8.59	30.405	1.47
29	p-Cymene-2,5-dio	31.409	1.46	-	-
30	$\alpha$ -Humulene	31.895	0.56	-	-
31	$\gamma$ -Muuroolene	32.820	0.24	-	-

32	Viridiflorene	33.573	0.33	-	-
33	$\beta$ -Bisabolene	34.108	1.11	-	-
34	$\gamma$ - Cadinene	34.331	0.28	-	-
35	$\delta$ -Cadinene	34.697	0.70	-	-
36	$\alpha$ -Bisabolene	35.437	0.84	-	-
37	Caryophylleneoxide	37.044	1.62	-	-
38	Decalin,1-methoxymethyl	49.159	0.62	-	-
	Total	-	97.48	-	99.99
	Monoterpenehydrocarbons	-	28.50	-	45.15
	Monoterpènes oxygénés	-	46.61	-	53.37
	Sesquiterpenehydrocarbons	-	16.11	-	1.47
	Sesquiterpenesoxygénés	-	1.62	-	-
	Autre	-	4.64	-	-

T Ret : Temps de rétention.(-) : Non détecté.



**Figure 29:** Répartition des composants chimiques des huiles essentielles de *Thymus vulgaris* analysées par GC-MS



**Figure 30:** Répartition des composants chimiques des huiles essentielles de *Laurus nobilis* analysées par GC-MS

## I.2 Resultat des analyses microbiologiques :

**Tableaux 10-12** présente l'évolution des numérations microbiennes au cours de la période de stockage (120h), en fonction du traitement des émulsions HE et des conditions de stockage.

À T3 stockage régulier ( $3^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) (**Tableau 10**)

Le comportement de *B.cereus*, *S.aureus* et *L.innocua* dans les groupes témoins de cubes de poulet cuits stockés à T3 a augmenté avec le temps jusqu'à 6,15, 5,55 et 5,87 log UFC/g par rapport à 5,52, 4,94 et 4,98 log UFC/g respectivement.

Des différences significatives ( $p < 0,05$ ) ont été observées entre les groupes traités. Le groupe traité avec l'EHEL présente une charge bactérienne inférieure à celle du groupe traité avec l'émulsion EHET.

Concernant la population de *S. aureus* sur les cubes de poulet traités avec EHEL et EHET, elle a été réduite à 4,37 et 4,75 log UFC/g, respectivement, contre 5,55 log UFC/g pour le groupe non traité. Ces résultats indiquent que le traitement avec les émulsions HEL et HET à 0,6 ml (v/v) a réduit la population de *S. aureus* de 1,18 et 0,80 log UFC/g, respectivement

D'autre part, des différences significatives ( $p < 0,05$ ) ont été observées dans la charge de *L. innocua* entre les groupes traités. Le groupe EHEL a présenté des valeurs significativement plus faibles ( $p < 0,05$ ) que le groupe EHET.

**Tableau 10:** Effets des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier sur la croissance des bactéries inoculées (log UFC/g) dans des cubes de poulet cuits conservés à T3 (3±0,5°C)

Heure		0	24	36	72	120
<i>B. cereus</i>	C	5.52±0.21b.X	5.50±0.02b.X	5.68±0.03b.X	6.35±0.07a.X	6.15±0.31a.X
	L	5.52±0.21a.X	5.41±0.03a.X	4.23±0.12b.Y	4.12±0.03c.Y	5.50±0.14a.Y
	T	5.52±0.21a.X	5.16±0.01ab.X	3.83±0.14d.Z	4.20±0.20c.Y	5.32±0.03ab.Y
<i>S. aureus</i>	C	4.94±0.14c.X	5.26±0.06b.X	5.37±0.00ab.X	5.45±0.04ab.X	5.55±0.10a.X
	L	4.94±0.14a.X	4.88±0.03b.Y	4.37±0.07c.Z	4.66±0.06b.Y	4.37±0.01c.Z
	T	4.94±0.14a.X	4.70±0.0b.Y	4.79±0.08ab.Y	4.77±0.11ab.Y	4.75±0.05b.Y
<i>L. innocua</i>	C	4.98±0.14d.X	5.32±0.04c.X	5.39±0.03bc.X	5.64±0.20ab.X	5.87±0.04a.X
	L	4.98±0.14b.X	4.99±0.07b.Y	4.34±0.07c.Z	5.09±0.17a.Y	5.18±0.03a.Y
	T	4.98±0.14b.X	5.25±0.02ab.X	4.86±0.05b.Y	5.58±0.09a.X	5.47±0.25a.XY

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type (n = 3).

C : Contrôle. L : *Laurus nobilis*. T : *Thymus vulgaris*.

a.b.c. indique des différences significatives (p<0,05) entre différents temps d'échantillonnage dans le même traitement.

X.Y.Z. indique des différences significatives (p<0,05) entre les différents traitements au même temps d'échantillonnage.

#### À T8°C ±1°C (Tableau 11)

Des différences significatives (p<0,05) ont été observées dans les charges bactériennes entre les groupes témoins et traités d'échantillons pendant la période de stockage à 8±1°C. Les échantillons du groupe traité présentaient des charges bactériennes plus faibles.

De plus, le nombre de *B.cereus* et de *L. innocua* dans le groupe EHET est inférieur à celui du groupe EHEL (P< 0,05).

**Tableau 11:** Effets des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier sur la croissance des bactéries inoculées (log UFC/g) dans des cubes de poulet cuits conservés à T8 (8 °C±1 °C)

Heure		0	24	36	72	120
<i>B. cereus</i>	C	5.52±0.21b.X	5.46±0.03 b.X	5.57±0.01 b.X	6.19±0.11 a.X	6.46±0.08 a.X
	L	5.52±0.21b.X	5.21±0.17 b.X	5.19±0.03 b.Y	4.72±0.16c.Y	6.13±0.05 a.XY
	T	5.52±0.21a.X	5.31±0.04 ab.X	5.12±0.16 b.Y	4.27±0.01c.Z	5.47±0.07a.Z
<i>S. aureus</i>	C	4.94±0.14d.X	5.26±0.06c.X	5.37±0.00bc.X	5.49±0.03 ab.X	5.64±0.10 a.X
	L	4.94±0.14b.X	5.09±0.14a.XY	5.10±0.29a.X	4.74±0.06 c.Y	4.80±0.12 bc.Y
	T	4.94±0.14a.X	4.89±0.10ab.Y	4.56±0.27bc.Y	4.78±0.22ab.Y	4.74±0.22ab.Y
<i>L. innocua</i>	C	4.98±0.14c.X	5.46±0.10bc.X	5.64±0.23 b.X	6.38±0.14 a.X	6.30±0.23 a.X
	L	4.98±0.14d.X	5.18±0.11cd.X	5.42±0.05bc.X	5.94±0.01 a.Y	5.87±0.10 a.Y
	T	4.98±0.14c.X	5.06±0.11bc.XY	5.30±0.01bc.X	5.52±0.06 a.Z	5.39±0.07 ab.Z

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type (n = 2).

C : Contrôle. L : *Laurus nobilis*. T : *Thymus vulgaris* L.

a.b.c. indique des différences significatives (p<0,05) entre différents temps d'échantillonnage dans le même traitement.

X.Y.Z. indique des différences significatives (p<0,05) entre les différents traitements au même temps d'échantillonnage.

**Tableau 12:** Effets des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier sur la croissance des bactéries inoculées (log UFC/g) dans des cubes de poulet cuits conservés à T3A (avec simulation de température abusive à 24 h : pendant 12 h à 25 ± 1 °C)

Heure		0	24	36	72	120
<i>B. cereus</i>	C	5.52±0.21c.X	5.44±0.02c.X	5.89±0.02b.X	6.63±0.10a.X	6.88±0.11a.X
	L	5.52±0.21b.X	5.32±0.14b.X	5.54±0.07b.XY	6.18±0.11a.Y	6.17±0.13a.Y
	T	5.52±0.21b.X	5.02±0.12c.XY	5.49±0.18b.Y	6.02±0.03a.Y	6.02±0.03a.Y
<i>S. aureus</i>	C	4.94±0.14d.X	5.18±0.02c.X	5.89±0.01b.X	6.21±0.01 a.X	6.46±0.06 a.X
	L	4.94±0.14c.X	4.84±0.26c.y	5.45±0.11b.Y	5.99±0.08a.X	5.99±0.08a.Y
	T	4.94±0.14c.X	5.07±0.08c.X	5.43±0.10b.Y	5.92±0.08a.X	5.92±0.08a.Y
<i>L. innocua</i>	C	4.98±0.14d.X	5.70±0.12c.X	6.07±0.14 b.X	6.82±0.07 a.X	6.93±0.15 a.X
	L	4.98±0.14c.X	5.06±0.14c.Y	5.57±0.01 b.Y	6.50±0.10 a.X	6.24±0.07 a.Y
	T	4.98±0.14c.X	5.54±0.22bc.X	5.52±0.05 b.Y	6.57±0.04 a.X	6.31±0.08 a.Y

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type (n = 2).

C : Contrôle. L : *Laurus nobilis*. T : *Thymus vulgaris* L.

a.b.c. indique des différences significatives (p<0,05) entre différents temps d'échantillonnage dans le même traitement.

X.Y.Z. indique des différences significatives (p<0,05) entre les différents traitements au même temps d'échantillonnage.

En ce qui concerne le stockage sous T8 ( $8^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) du **Tableau 11**, Tout au long de la période de stockage, toutes les charges bactériennes inoculées dans les groupes échantillons témoins étaient significativement plus élevées ( $p < 0,05$ ) que celles dans les groupes des échantillons traités par les émulsions de HE.

L'EHET s'est avéré être l'émulsion la plus efficace, les échantillons traités par cette émulsion présentant des numérations bactériennes significativement plus faibles ( $p < 0,05$ ) par rapport à celles traitées avec EHEL, réduisant les numérations bactériennes d'environ 1 log UFC/g par rapport aux groupes témoins. De plus, l'effet antilistérien de l'émulsion d'HE de thym a été augmenté par rapport à son effet à T3. Ces résultats soutiennent les conclusions de **Solomakos et al. (2008)**, qui ont constaté que l'effet inhibiteur d'HE de thym à 0,6 % contre les souches de *L. monocytogenes* inoculées dans la viande de bœuf était plus élevé à  $10^{\circ}\text{C}$  qu'à  $4^{\circ}\text{C}$ .

Comme l'ont rapporté **Tongnuanchan et Benjakul (2014)**, l'huile essentielle de thym à 20  $\mu\text{l}$  a montré une capacité à inhiber *L. monocytogenes* et *L. innocua*. Cependant, pour obtenir le même effet dans les produits carnés, une concentration plus élevée est nécessaire (**Singh et al., 2003**). Concernant la sensibilité des cellules de *B. cereus* à l'huile essentielle de thym, **Ultee et al. (1998)** ont rapporté que le carvacrol à une concentration de 0.75  $\text{mmol l}^{-1}$  inhibait la croissance cellulaire et qu'à faible concentration, il prolongeait la phase de latence de *B. cereus*.

L'effet antibactérien de l'émulsion HE du thym peut être attribué à sa composition chimique caractérisée par (45,61%) monoterpènes oxygénés avec un niveau élevé de carvacrol, ce dernier est capable de modifier la perméabilité de la membrane cellulaire aux ions, de migrer à travers le milieu extracellulaire aqueux et d'influencer les systèmes de production d'énergie en affectant les enzymes impliquées dans la synthèse de l'ATP. (**Cristani et al., 2007**).

L'activité du HE de thym a été diminuée contre les bactéries inoculées à une température réduite à T3 ; cela est peut-être dû à la réduction de la fluidité de la membrane cellulaire à basse température, ainsi les phospholipides à l'intérieur de la membrane se densifient et se rigidifient, réduisant la perméabilité cellulaire bactérienne (**Denich et al., 2003**). Une autre hypothèse pour expliquer la réduction de l'efficacité de l'HE de thym à T3 pourrait être sa tendance à cristalliser à basse température (**Baudoux, 2017**).

L'effet antimicrobien de l'HE de Laurier peut être attribué au niveau élevé d'eucalyptol 41,16 %. Une étude précédente a rapporté que l'eucalyptol peut endommager la structure de la membrane cellulaire même à une faible concentration (**De sousa et al., 2015**).

En plus de nos résultats, **Erkmen, (2008)** a révélé in vitro l'effet inhibiteur plus élevé HE de laurier noble, caractérisée par 60 % de 1,8-cinéole à seulement 0,2 % (v/v) contre *S. aureus* et *L. monocytogenes* ; cependant, une concentration plus élevée de 1 % (v/v) est nécessaire pour obtenir la même efficacité inhibitrice contre *B. cereus*.

En revanche, dans une autre étude in vitro menée par **Mourey et Canillac, (2002)**, le 1,8-cinéole a le plus faible effet antilistérien par rapport aux autres terpènes ; et l'effet antilistérien de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* peut être attribué au taux de carvone, d' $\alpha$  et  $\beta$ -pinène.

En ce qui concerne le stockage à T3A ( $3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  avec une température abuse  $25 \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dans le **Tableau 12**, toutes les charges bactériennes ont montré une augmentation plus significative avec le temps dans tous les groupes de cubes de poulet cuits. Dans les groupes témoins, la population de *B.cereus*, *S.aureus* et *L.innocua* a augmenté par 1,36, 1,42 et 1,75 log UFC/g, respectivement à la fin de la période de stockage.

Au cours des premières heures de stockage, des différences significatives ( $p < 0,05$ ) ont été observées entre les groupes traités, le groupe EHEL présentant des niveaux inférieurs de *S. aureus* et de *L. innocua*. En revanche, après une exposition à une température abusive, les groupes EHEL et EHET ont montré une efficacité très similaire contre les bactéries inoculées.

De plus, les propriétés antimicrobiennes des deux emulsions HE sont significativement diminuées après exposition à une température abusive, contrairement à leur efficacité plus élevée observée à T3 et T8.

Il est à noter que les activités antimicrobiennes des deux emulsions ont été influencées par une température abuse simulée à  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant 12 heures; la légère diminution de l'efficacité peut être attribuée à la volatilité des composés d'huiles essentielles et à leur méthode d'application sur la viande de poulet cuite, en particulier par pulvérisation.

À l'inverse, **Djokhdem et al. (2022)** ont rapporté que l'effet antimicrobien de l'application d'huile essentielle de *Juniperus phoenicea* par immersion sur du fromage frais à pâte molle n'était pas influencé par la simulation de température abusive à  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### I.3 Resultat des analyses physicochimiques :

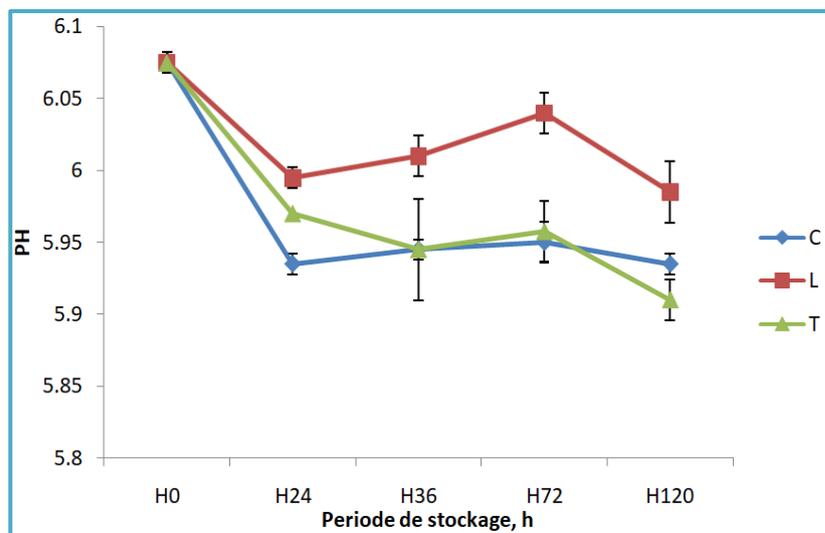
L'investigation des paramètres physico-chimiques a révélé des données sur le pH, l'humidité, l'indice de peroxyde et la teneur en matière grasse de la poitrine de poulet cuite stockée à  $3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### I.3.1 Valeur du pH :

L'évolution du pH des cubes de poulet pour les groupes traités et témoins est illustrée sur la **Figure 33**. Une diminution du pH de tous les échantillons au cours du stockage.

Pour le groupe témoin, le pH diminue régulièrement de 6,07 à 5,93 après 120 heures. Cela indique une augmentation de l'acidité due à une dégradation accrue des composés, notamment des lipides (oxydation), conduit à la formation de composés acides tels que les peroxydes et les acides gras libres (**Dave et Ghaly, 2011**)

En ce qui concerne les échantillons des groupes traités, le pH reste généralement plus stable (6,07 à 5,98) pour les échantillons traités par EHEL, et diminuer légèrement dans les échantillons traités par EHET (6,07 à 5,91), ceci pourrait être lié aux propriétés antioxydantes des huiles essentielles, limitant la dégradation lipidique et la formation d'acide (**Kaban 2009**).



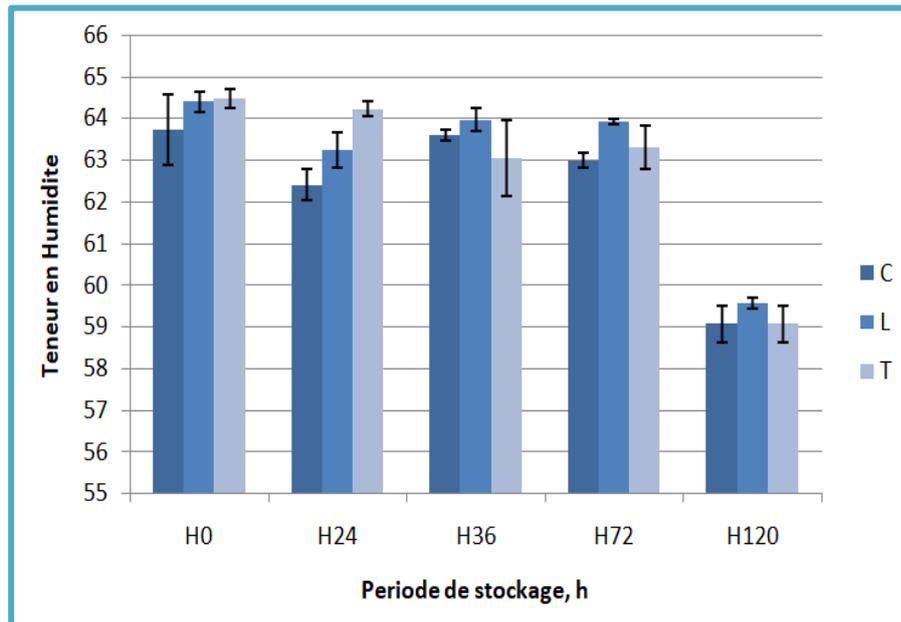
**Figure 31:** Variation du pH des cubes de poulet cuits témoins et traités avec des émulsions d'huiles essentielles de thym et de laurier à 0,6 % et conservés à  $3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

C= contro : témoin ; L= HE de laurier ; T= HE de thym. Les écarts types sont indiqués par des barres (n=3).

### I.3.2 La teneur en humidité :

La variation de l'humidité des poitrines de poulet au fil du temps entre les échantillons traités et le témoin est présentée dans la **Figure 34**. Une diminution progressive de l'humidité est attendue dans tous les groupes en raison de la perte d'eau pendant le stockage au réfrigérateur. Dans les échantillons du groupe témoin, l'humidité diminue de 63,73 % à 59,07

%, suggérant une perte d'eau modérée pendant le stockage. En revanche, les émulsions HE semblent ralentir cette perte, montrant une meilleure rétention d'humidité dans les échantillons traités, pendant le stockage notamment pour ceux traités avec HE de laurier. Pour les échantillons EHET, l'humidité finale observée est similaire à celle du témoin. Il est possible que ces valeurs soient liées au processus de pulvérisation des cubes de poulet et que les HE n'aient pas d'effet significatif sur la teneur en humidité. Plusieurs facteurs influencent cette teneur en eau, notamment la teneur initiale de la viande et la méthode et la durée de cuisson.



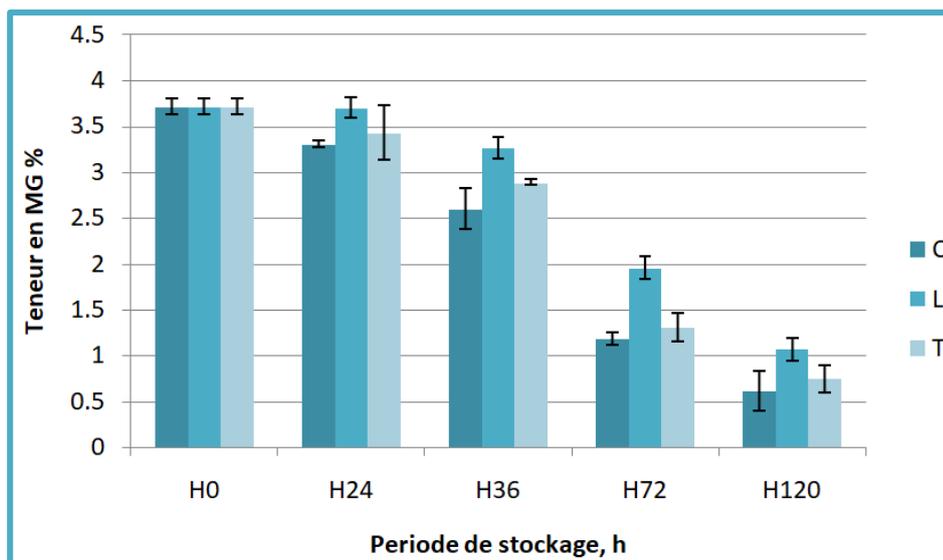
**Figure 32:** Teneur en humidité % des cubes de poulet cuits témoins et traités avec des émulsions d'HE de thym et de laurier à 0,6 % et conservés à 3°C. ± 1°C.

C= control :témoin ; L= emulsion HE de laurier ; T= emulsion HE de thym. Les écarts types sont indiqués par des barres (n=2).

### I.3.3 La teneur en matières grasses :

La teneur en MG **Figure.35.** des cubes de poulet du groupe témoin diminue fortement (3,72 à 0,615), ce qui traduit l'oxydation des lipides en l'absence de protection.

Tandis que pour les échantillons des groupes traités : la perte est modérée (3,72 à 1,065) pour le groupe traité à l'EHEL, montrant un certain contrôle sur l'oxydation des lipides. Pour EHET, une diminution est également marquée de (3,72 à 0,745).



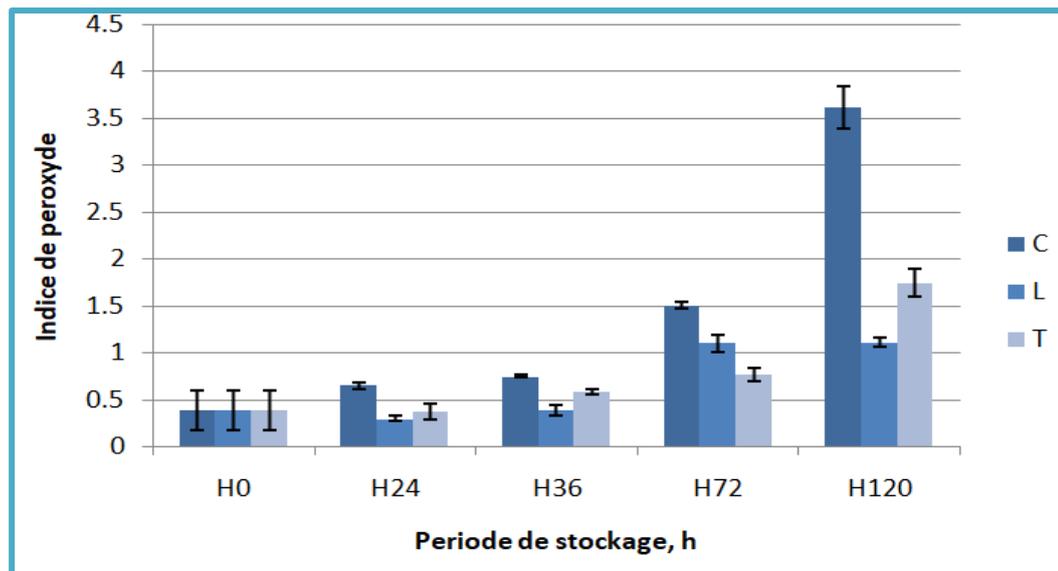
**Figure 33:** Teneurs en matière grasse des cubes de poulet cuits temoin et traités par des emulsions des HE de thym et de laurier a 0,6 % et stocké à 3 °C. ± 1 °C.

C= control :temoin ; L= emulsion HE laurier ; T= emulsion HE du thym. Les écarts types sont indiqués par des barres (n=2).

Ces résultats montrent que l'émulsion d'HEde *L. nobilis* présente une meilleure protection contre l'oxydation des lipides et mentre une bonne conservation des cubes de poulet cuites refrigerées à T3, confirmant ainsi les résultats microbiologiques. Selon **Bousbia, (2011)**, Les HE n'agissent pas directement sur la teneur en matière grasse, mais les différences peuvent être dues à une modification de la répartition ou de l'extraction des lipides lors du traitement ou du stockage. Les huiles essentielles, en particulier celle de laurier, retardent l'oxydation des lipides, ce qui corrobore les résultats de la détermination de leur activité antioxydante supérieure à celle de HE du thym.

#### I.3.4 Indice de peroxyde :

Les valeurs d'indice de peroxyde des cubes de poulet cuits temoins et traités avec des HE de thym et de laurier sont montrées dans la **Figure 36**. Pendant un stockage à 3 ± 1 °C, une augmentation de l'indice de peroxyde au fil du temps indique l'oxydation lipidique. L'indice de peroxyde des échantillons temoins, augmente considérablement (0.39 à 3.615), signe d'une oxydation lipidique avancée (**Hassanin et al., 2017**). Alors que, pour les échantillons traités par EHET et EHEL, les valeurs IP présentent une augmentation modérée (0.39 à 1.115).

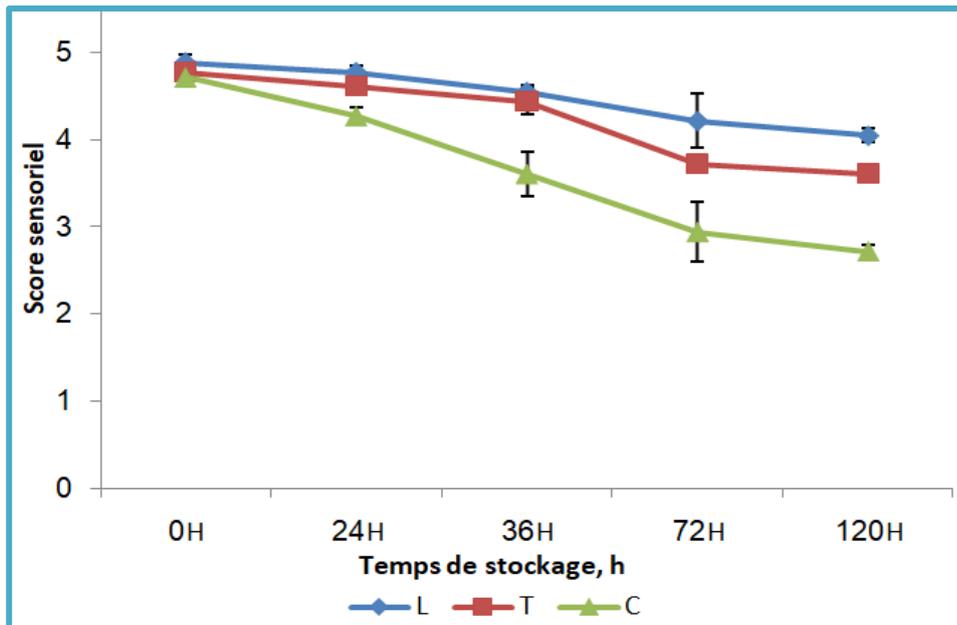


**Figure 34:** les valeurs d'indice de peroxyde des cubes de poulet cuits traites par des emulsions des HE de thym et de laurier à 0,6 % et stocké à 3 °C. ± 1 °C.

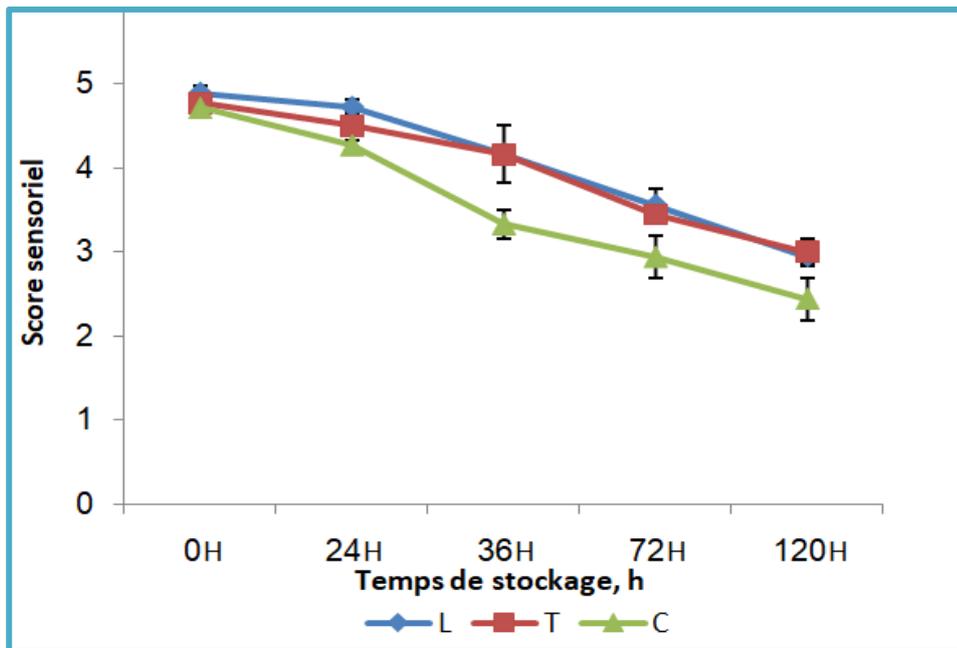
C= control temoin ; L= HE laurier ; T= HE du thym. Les écarts types sont indiqués par des barres (n=2).

Les cubes de poulet cuits traités avec des HEs ont des valeurs d'indice de peroxyde inférieures à celles du témoin C, indiquant un ralentissement de l'oxydation. Les HEs du thym et de laurier avaient des effets plus marqués en raison des propriétés antioxydantes connues, offre une excellente protection contre l'oxydation primaire des lipides de la viande de poulet. À la fin de l'expérience les échantillons traités par l'HE de laurier avait les valeurs d'indice de peroxyde les plus basses, ce qui se traduit par une certaine stabilité oxydative, ces résultats confirment ceux trouvés par **Ferhat et Yessad, (2018)**.

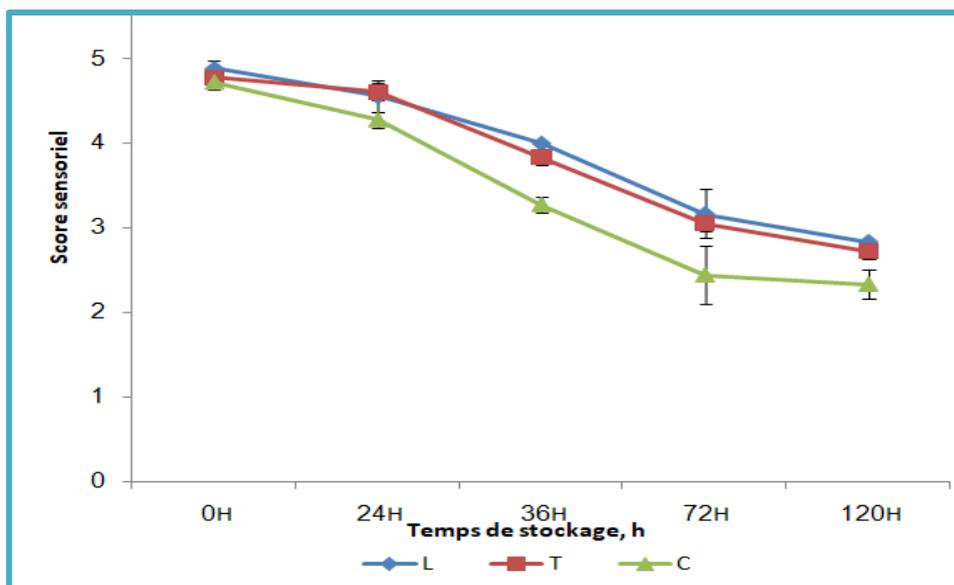
#### I.4 Résultat de l'évaluation sensorielle :



(a)



(b)



(c)

**Figure 35:** Évolution du score d'acceptabilité globale des cubes de poulet cuits traités avec des émulsions d'HE de thym et de laurier entreposés dans les conditions suivantes :

a : Stockage régulier à T3 ( $3\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ )

b : stockage à T8 ( $8\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ )

c : à T3A ( $3\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$  avec simulation de température abusive à 24 h  $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  pendant 12h)

(C : control : témoin), (T : *Thymus vulgaris*) (L : *Laurus nobilis*). Les écarts types sont indiqués par des barres. Un score de 3 = limite inférieure d'acceptabilité.

Les scores d'acceptabilité globale **Figure 35** représentent les résultats de l'évaluation sensorielle (caractéristiques d'apparence, d'odeur et de texture) de poitrine de poulet cuite conservée à différentes températures de stockage avec et sans EOE.

L'évaluation a révélé que les échantillons traités avec des émulsions d'HE étaient fortement préférés par les panélistes à chaque heure, et quelle que soit la température de stockage ( $P < 0,05$ ), ce qui peut être lié aux composés phénoliques bioactifs des HE de thym et de laurier qui améliorent le goût de la viande de poulet cuite (**Hyldgaard et al., 2012**).

À la température de stockage régulière T3 **Fig. 35-a**, les groupes traités ont montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ), les échantillons du groupe EHEL ayant reçu des scores d'acceptabilité plus élevés que ceux du groupe EHET.

Considérant le score sensoriel de 3 comme limite d'acceptabilité, les groupes témoins n'étaient plus acceptables à 72 h. Tandis que les groupes traités n'ont jamais atteint cette limite pendant la période expérimentale. Concernant l'acceptabilité des groupes témoins restants, ils étaient acceptables jusqu'à 36h à température T3A (avec abus de température) **Fig. 35-c**, et jusqu'à 72h à T8 **Fig. 35-b**. De plus, des différences non significatives ( $p > 0,05$ ) ont été observées entre le groupe LEOE et les groupes TEOE stockés à T8 et T3A. Cependant, la

limite d'acceptabilité dans les groupes traités a été atteinte à la fin de la durée de stockage à T8, et après 72 h de stockage à T3A.

En conclusion, dans cette partie de l'étude, il a été constaté que la poitrine de poulet cuite conservée au réfrigérateur était mieux conservée avec les émulsions d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis*, conservant une saveur acceptable même après les dernières heures de stockage. Ainsi que ces émulsions montrent un effet conservateur en ralentissant l'oxydation des lipides et maintenir le pH et l'humidité, notamment pour l'émulsion HE du laurier protège davantage contre l'oxydation lipidique grâce à ses propriétés antioxydantes. En outre, les émulsions d'HE de thym et de laurier ont montré une activité antimicrobienne notable contre les bactéries pathogènes étudiées.

Comme prévu, la combinaison idéale pour la conservation des plats de poulet réfrigérés était émulsion d'HE de thym à T8 ou émulsion d'HE laurier à T3.

## II. Resultat de la deuxième partie :

### II.1 Composition volatile des HE :

Les compositions chimiques des HE ont été identifiées par analyse GC-MS. Le **tableau 09**. 35 et 18 composés représentent respectivement 91,82 et 98,39 % du total des HE de *M. spicata* et *R. officinalis*.

Pour l'HE de romarin, les principaux constituants détectés étaient : eucalyptol 52,09 %, camphore 11,71 %,  $\alpha$ -pinène 10,31 %, bornéol 4,26 % et  $\alpha$ -terpinéol 3,96 %.

**Tableau 13:** Composition chimique des huiles essentielles de *R. officinalis* et de *M. spicata*

N°	Composés	<i>Rosmarinus officinalis</i>		<i>Mentha spicata</i>	
		T Ret	Valeur %	T Ret	Valeur %
1	$\alpha$ -Pinene	8.826	10.31	8.830	1.16
2	Camphene	9.389	3.25	9.387	tr
3	Sabinene	-	-	10.427	1.10
4	$\beta$ -Pinene	10.512	2.62	10.555	1.81
5	Myrcene	11.143	1.07	11.178	1.36
6	3-Octanol	-	-	11.416	0.94
7	$\delta$ -3-Carene	11.945	0.14	-	-
8	$\alpha$ -Terpinene	12.229	0.43	12.266	0.62
9	o-Cymene	12.565	1.77	12.600	tr
10	Limonene	-	-	13.103	23.93
11	Eucalyptol	12.896	52.09	-	-
12	(Z)- $\beta$ -Ocimene	-	-	13.272	0.64
13	$\gamma$ -Terpinene	14.105	0.46	14.167	0.90
14	Sabinene hydrate	-	-	14.554	1.55
15	Linalool	15.968	0.76	16.032	tr

16	Camphor	17.985	11.71	-	-
17	Borneol	18.991	4.26	19.125	1.31
18	Terpinen-4-ol	19.536	0.85	19.645	1.58
19	$\alpha$ -Terpineol	20.165	3.96	20.270	0.32
20	Trans-Dihydrocarvone	-	-	20.576	4.20
21	Pulegone	-	-	22.452	0.95
22	Carvone	22.594	tr	23.168	25.36
23	Trans-Carvone oxide	-	-	23.569	2.05
24	Carvacrol	24.812	0.64	25.073	tr
25	Dihydrocarvyl acetate	-	-	26.554	0.58
26	$\beta$ -Bourbonene	-	-	29.080	4.00
27	$\beta$ -Elemene	-	-	29.339	1.69
28	(Z)Jasmone	-	-	29.569	0.77
29	Carvacrylacetate	30.350	3.60	30.571	5.09
30	$\alpha$ -Humulene	31.750	0.47	31.861	0.43
31	Cis-Muurolo-4(15),5-diene	-	-	32.257	1.12
32	Germacrene D	-	-	33.082	3.96
33	Bicyclogermacrene	-	-	33.648	1.28
34	Trans- $\beta$ -Guaiene	-	-	33.982	0.48
35	$\delta$ -Cadinene	-	-	34.663	0.76
36	Spathulenol	-	-	36.791	0.51
37	Caryophyllene oxide	-	-	37.003	0.51
38	epi- $\alpha$ -Muurolol	-	-	39.185	0.86
	Total		98.39		91.82

T Ret : Temps de rétention. (-) : Non détecté. Tr : Trace (moins de 0,2).

Selon **González Minero et al. (2020)**, les HE de *R. officinalis* marocaines et tunisiennes sont caractérisées par un taux élevé de 1,8 cinéole (eucalyptol) variant entre 38 et 55 % tandis que l'HE de *R. officinalis* espagnole contient 16 à 20 % de 1,8 cinéole.

En ce qui concerne l'HE de menthe verte, les 5 principaux composés étaient : carvone 25,36 %, limonène 23,93 %, carvacrylacetate 5,09 %, Trans-Dihydrocarvone 4,20 % et  $\beta$ -Bourbonene 4,00 %. Similairement aux résultats de **Bardaweel et al. (2018)**, l'HE de *M. spicata* de la welaya de Laghouat-Algérie était caractérisée par une teneur élevée en carvone 49,5 % et en limonène 16,1 %.

## II.2 rendement et l'activité antioxydante des HE:

L'activité antioxydante des HE de *R. officinalis* et de *M. spicata* ainsi que leurs rendements ont été évalués et présentés dans le **Tableau 14**.

Les résultats obtenus confirment que les deux HE possèdent un bon potentiel antioxydant, notamment, HE de *M. spicata* CI 50 est de 47,5 $\mu$ g/ml.

**Tableau 14:** Evaluation de l'activité antioxydante et le rendement des HE de *R. officinalis* et de *M. spicata*

	<i>R. officinalis</i>	<i>M. spicata</i>
<b>l'activité antioxydante</b>	CI 50=73,2 ± 0,26 µg/ml =	CI 50 = 47,5 ± 1,44 µg/ml
<b>Le rendement</b>	0.53± 0,10%	0.77± 0,15 %

CI 50: la concentration nécessaire pour inhiber 50% des radicaux de DPPH

Ainsi que, HE de *M. spicata* avait le rendement le plus élevé et comparativement à HE de *R. officinalis*. De nombreuses études ont mis en évidence l'activité antioxydante des huiles essentielles, notamment celle du romarin (Nieto *et al.*, 2018). Ce pendant, Il existe une très grande variation des résultats des études sur le pouvoir antioxydant des HEs évaluée par le test au DPPH, avec des valeurs CI 50 variant de 7 µg/ml (Zaouali *et al.*, 2010) jusqu'à 24500µg/ml (Benyoucef *et al.*, 2018) pour HE de *R. officinalis* et de 3µg/ml (Snoussi *et al.*, 2015) jusqu'à 3450µg/ml (Bardaweel *et al.*, 2018) pour HE de *M. spicata*.

Selon Nieto *et al.* (2018) les huiles essentielles, en particulier celles riches en composés phénoliques, présentent une activité antioxydante qui ne dépend pas uniquement de leur composé principal, mais plutôt d'effets synergiques entre leurs constituents.

### II.3 Les resultats des analyses microbiologiques :

Les évaluations de la croissance des bactéries de détérioration dans les pilons de poulet emballées à l'air et sous vide sont présentées dans le **Tableau 15** et **16**, respectivement.

La croissance la flore d'altération provoque une détérioration de la viande de poulet et contribue principalement à une réduction de sa durée de conservation, en particulier dans le groupe témoin.

Au début du stockage, le nombre initial des *Enterobacteriaceae*, LAB, et bacterie productrice de H<sub>2</sub>S, était d'environ 3 log<sub>10</sub>UFCg<sup>-1</sup>, ce qui indique une qualité microbienne acceptable de la viande de poulet. Cependant, le nombre initial de *Pseudomonas spp* et de bactéries psychrotrophes était d'environ 4 log<sub>10</sub>UFCg<sup>-1</sup>, Pendant le stockage réfrigéré à 4 °C±1 °C, la charge microbienne dans tous les groupes de pilon de poulet a augmentée, atteignant des niveaux de 6-7 log<sub>10</sub>UFCg<sup>-1</sup>, à la fin de la période de stockage, selon le groupe. À chaque jour d'échantillonnage, toutes les charges microbiennes des pilons de poulet traitées étaient significativement inférieures à ceux des groupes témoins pendant toute la période de stockage (p < 0,05).

Sous conditionnement en air, les taux de bactéries d'*Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas spp* et bacterie productrice de  $H_2S$  dans le groupe témoin TA ont dépassé la limite acceptable de  $6 \log_{10} \text{UFCg}^{-1}$  au jour 6. En revanche, cette limite a été atteinte au jour 9 pour les RNA, au jour 12 pour les MNA et au jour 16 pour les groupes RCA et MCA. Cependant, les bactéries psychrotrophes dans ces mêmes groupes et aux mêmes jours mentionnés ont atteint  $7 \log_{10} \text{UFCg}^{-1}$ . Selon **Russell et al. (1995)**, la plupart des bactéries psychrotrophes trouvées sur la carcasse de poulet de chair, immédiatement après le traitement ne sont pas d'origine intestinale, mais proviennent des plumes et des pattes de l'oiseau vivant, des cuves de refroidissement et de l'équipement de l'usine.

**Tableau 15:** Effet de immersion dans d'EHEM et EHER sur la croissance des bactéries d'alteration dans pilons de poulet à  $4 \pm 1$  °C (EA)

		J0	J3	J6	J9	J12	J16
<i>Enterobacteriac eae</i>	T A	3.44±0.15 a	5.24±0.06 a	6.20±0.03 a	NA	NA	NA
	MNA	3.28±0.35 a	5.00±0.03 b	5.70±0.01 b	5.89±0.01 b	6.28±0.11 a	NA
	MCA	3.21±0.16 a	4.08±0.15 d	4.80±0.09 d	5.19±0.20 c	5.31±0.09 c	5.99±0.09 b
	RNA	3.34±0.15 a	5.04±0.03 b	5.47±0.04 c	6.09±0.02 a	NA	NA
	RCA	3.31±0.35 a	4.52±0.18 c	5.31±0.04 c	5.45±0.21 b,c	5.66±0.17 b	6.18±0.06 a
<i>Bacteries Psychrotrophe</i>	T A	4.62±0.01 a	5.54±0.09 a	7.13±0.00 a	NA	NA	NA
	MNA	4.50±0.06 a	5.29±0.02 b	5.63±0.01 b	6.32±0.00 b	6.98±0.07 a	NA
	MCA	4.51±0.05 a	4.91±0.08 c	5.17±0.00 c	5.82±0.07 c	6.56±0.05 b	7.12±0.00 b
	RNA	4.52±0.01 a	5.36±0.04 b	5.71±0.03 b	6.91±0.02 a	NA	NA
	RCA	4.51±0.06 a	4.82±0.08 c	4.94±0.05 d	5.61±0.02 d	6.40±0.01 b	7.48±0.02 a
<i>Pseudomonas spp</i>	T A	4.21±0.05 a	5.58±0.00 a	6.38±0.00 a	NA	NA	NA
	MNA	4.17±0.05 a	5.54±0.02 a	5.46±0.00 b	6.02±0.03 b	6.91±0.05 a	NA
	MT A	4.11±0.05 b	4.34±0.15 b	4.57±0.07 d	4.96±0.07 d	6.21±0.09 c	6.59±0.02 b
	RNA	4.15±0.05 a	5.58±0.01 a	5.49±0.01 b	6.31±0.07 a	NA	NA
	RCA	4.11±0.05 a	4.39±0.30 b	4.96±0.01 c	5.47±0.04 c	6.73±0.06 b	7.12±0.00 a
<b>Bactérie productrice H<sub>2</sub>S</b>	T A	3.13±0.12 a	5.58±0.00 a	6.21±0.04 a	NA	NA	NA
	MNA	3.03±0.12 a	5.43±0.05 b	5.47±0.03 b	5.90±0.06 b	6.73±0.06 a	NA
	MCA	3.08±0.12 a	4.44±0.00 c	4.57±0.07 d	4.96±0.07 d	5.97±0.04 c	6.59±0.02 b
	RNA	3.03±0.12 a	5.47±0.00 a,b	5.52±0.02 b	6.31±0.07 a	NA	NA
	RCA	3.11±0.12 a	4.56±0.12 c	4.96±0.01 c	5.47±0.03 c	6.08±0.02 b	7.12±0.00 a

Les valeurs sont exprimées comme la moyenne ± l'écart type (n = 2). EHE: emulsion d'huile essentielle; M: *M. spicata*, R: *R. officinalis*

T: Témoin. V: Sous vide, , C:émulsion Chauffée à  $53 \pm 1$ °C.

a,b,c. Différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les différents traitements de trempage au même moment d'échantillonnage.

EA: emballage en air.

NA: Non analysé, l'échantillon a un aspect altéré avec une odeur désagréable.

**Tableau 16:** Effet du traitement par immersion de l'émulsion d'HE de *M. spicata* et *R. officinalis* chauffée ou non sur la croissance des bactéries d'altération dans les pilons de poulet conservées à  $4 \pm 1$  °C sous vide

		J0	J3	J6	J9	J12	J16	J20	J24	J28
<b>Enterobacteriaceae</b>	<b>T V</b>	3.58±0.16 a	5.04±0.06 a	5.21±0.06 a	6.44±0.03 a	NA	NA	NA	NA	NA
	<b>MNV</b>	3.43±0.16 a	4.81±0.06 b	4.90±0.06 b	5.91±0.06 b	6.01±0.08 a	6.38±0.08 b	NA	NA	NA
	<b>MCV</b>	3.45±0.16 a	4.48±0.14 c	4.37±0.19 c	5.29±0.17 c	5.49±0.11 c	5.71±0.09 d	5.82±0.06 b	5.97±0.09 a	6.27±0.05 a
	<b>RNV</b>	3.48±0.16 a	4.93±0.06 a,b	5.02±0.08 a	5.89±0.03 b	5.95±0.09 a,b	6.48±0.01 a	NA	NA	NA
	<b>RCV</b>	3.46±0.16 a	4.41±0.24 c	4.47±0.32 c	5.49±0.12 c	5.78±0.09 c	5.97±0.06 c	6.01±0.04 a	6.41±0.04 a	NA
<b>Bacterie Lactique</b>	<b>T V</b>	3.48±0.01 a	5.29±0.02 a	5.75±0.02 a	6.33±0.05 a	NA	NA	NA	NA	NA
	<b>MNV</b>	3.43±0.16 a	5.24±0.03 a	5.43±0.09 b	5.89±0.04 b	6.03±0.04 a	6.39±0.11 a	NA	NA	NA
	<b>MCV</b>	3.44±0.16 a	4.91±0.03 c	5.11±0.05 c	5.40±0.02 c	5.47±0.02 c	5.36±0.01 c	5.66±0.08 b	5.91±0.03 b	6.12±0.04 a
	<b>RNV</b>	3.43±0.01 a	5.06±0.02 b	5.49±0.01 b	5.54±0.04 c	5.85±0.05 b	6.21±0.05 a	NA	NA	NA
	<b>RCV</b>	3.43±0.01 a	4.77±0.00 d	5.11±0.20 c	5.58±0.14 c	5.39±0.00 d	5.97±0.06 b	6.09±0.11 a	6.33±0.03 a	NA
<b>Bactérie productrice H<sub>2</sub>S</b>	<b>T V</b>	3.13±0.12 a	5.14±0.04 a	5.15±0.06 a	6.24±0.03 a	NA	NA	NA	NA	NA
	<b>MNV</b>	3.03±0.01 a	4.90±0.06 a,b	4.99±0.02 a,b	5.90±0.03 b	6.01±0.08 a	6.28±0.11 a,b	NA	NA	NA
	<b>MCV</b>	3.10±0.12 a	4.37±0.19 c	4.44±0.07 c	5.19±0.02 d	5.82±0.03 b	5.91±0.04 c	5.95±0.08 b	6.10±0.00 b	6.71±0.09 a
	<b>RNV</b>	3.13±0.01 a	4.81±0.01 b	4.91±0.07 b	5.93±0.03 b	6.09±0.07 a	6.48±0.01 a	NA	NA	NA
	<b>RCV</b>	3.01±0.12 a	4.37±0.19 c	4.48±0.14 c	5.49±0.12 c	5.80±0.05 b	6.01±0.08 b	6.08±0.02 a	6.91±0.04 a	NA

Les valeurs sont exprimées comme la moyenne  $\pm$  l'écart type (n = 2). T: Témoin. V: Sous vide, M:*M. spicata*, R: *R. officinalis*, C:émulsion Chauffée à  $53 \pm 1$ °C.

a,b,c. Différences significatives (p < 0,05) entre les différents traitements de trempage au même moment d'échantillonnage.

NA : Non analysé, l'échantillon a un aspect altéré avec une odeur désagréable.

Tableau 17: Les valeurs du pH mesurées pendant le stockage sous vide ou à l'air.

		J0	J3	J6	J9	J12	J16	J20	J24	J28
<b>Sous vide</b>	<b>T V</b>	7.02±0.01 a	6.96±0.03 b	7.04±0.02 a,b	7.01±0.03 a,b	7.08±0.02 c	7.32±0.00 a	NA	NA	NA
	<b>MNV</b>	6.96±0.01 b	7.00±0.01 a,b	7.01±0.02 b	6.96±0.01 c	7.08±0.01 b	7.24±0.01 b	7.31±0.00 a	NA	NA
	<b>MCV</b>	6.97±0.00 b	6.99±0.01 a,b	7.10±0.02 a	6.95±0.00 c	7.13±0.01 a,b	7.16±0.04 c	7.26±0.02 b	7.30±0.01 a	7.32±0.01 a
	<b>RNV</b>	7.03±0.01 a	7.01±0.00 a	7.00±0.03 b	7.03±0.05 a	7.17±0.02 a	7.32±0.01 a	7.32±0.01 a	NA	NA
	<b>RCV</b>	6.96±0.00 a	7.02±0.01 a	7.09±0.04 a	6.99±0.01 b	7.09±0.04 b	7.24±0.02 b	7.27±0.01 b	7.32±0.01 a	NA
<b>A l'air</b>	<b>TA</b>	7.03±0.01 a	7.02±0.00 b	6.94±0.01 c	7.13±0.06 a	NA	NA	NA	NA	NA
	<b>MNA</b>	6.97±0.00 b	6.99±0.01 c	7.11±0.01 a	7.03±0.11 a	7.31±0.02 a	NA	NA	NA	NA
	<b>MCA</b>	6.97±0.00 b	7.02±0.00 b	6.95±0.01 b,c	6.98±0.01 b	7.23±0.04 b	7.33±0.01 a	NA	NA	NA
	<b>RNA</b>	6.97±0.01 b	7.06±0.02 a	7.11±0.01 a	7.02±0.01 a	7.32±0.01 a	NA	NA	NA	NA
	<b>RCA</b>	6.98±0.01 b	7.06±0.01 a	7.01±0.06 b	7.02±0.01 a	7.30±0.00 a	7.33±0.00 a	NA	NA	NA

Les valeurs sont exprimées comme la moyenne ± l'écart type (n = 3). T: Témoin. V: Sous vide, M:*M. spicata*, R: *R. officinalis*, C:émulsion Chauffée à 53±1°C.  
a,b,c. Différences significatives (p < 0,05) entre les différents traitements de trempage au même moment d'échantillonnage.  
NA: Non analysé, l'échantillon a un aspect altéré avec une odeur désagréable.

D'autre part, sous emballage sous vide, dans le groupe témoin, tous les nombres de bactéries d'altération ont dépassé la limite acceptable au jour 9. Alors que ce seuil a été atteint au jour 16 pour les groupes RNV et MNV, au jour 24 pour le groupe RCV et au jour 28 pour le groupe MCV.

**Bonilla et al. (2007)** ont rapporté que la fin de la durée de conservation des filets de morue (poisson blanc) crus était définie comme le point auquel le nombre de bactéries productrices de sulfure d'hydrogène  $H_2S$  atteignait environ  $10^7$  UFC/g, bien que les bactéries productrices de  $H_2S$  jouent un rôle important dans l'altération du poisson et de la viande. Ces bactéries sont principalement représentées par *Shewanella putrefaciens* qui est responsable a la production des odeurs désagréables ressemblant à l'ammoniac (**Russell et al., 1995**). Alors que *Pseudomonas spp* est reconnu comme l'un des principaux micro-organismes responsables de la détérioration de la viande fraîche.

En revanche, les LAB sont les micro-organismes de détérioration prédominants dans les viandes emballées sous vide (**Jay et al., 2005**).

Les variations du pH au cours du stockage réfrigéré des pilons de poulet, dans des conditions EA et ESV, sont présentées dans le **Tableau 17**. Les valeurs initiales du pH de tous les groupes d'échantillons de poulet étaient comprises entre 6,96 et 7,03.

Pendant le stockage en EA, les valeurs du pH ont augmenté presque jusqu'à la fin de la durée de conservation, atteignant une valeur de 7,13 pour le groupe témoin et comprise entre 7,31 et 7,33 pour les groupes traités.

Cependant, sous ESV, au début, les valeurs du pH ont légèrement diminué en raison de l'activité des LAB, qui caractérisent la microflore naturelle des viandes ESV. Ces bactéries produisent des acides organiques dans le cadre de leur métabolisme, ce qui entraîne une légère réduction du pH. Par la suite, les valeurs du pH ont augmenté à 7,30 pour le groupe témoin et à 7,31-7,32 pour les groupes traités à la fin de la durée de conservation. Dans la plupart des cas, les groupes traités avec des émulsions d'huiles essentielles chauffées avaient des valeurs de pH inférieures ( $p < 0,05$ ) à celles traitées avec des émulsions d'huiles essentielles non chauffées.

L'augmentation des valeurs de pH est liée à la production d'ammoniac et d'amines volatiles par les bactéries d'altération qui métabolisent les protéines et d'autres composants de la viande (**Kaban, 2009**).

Sur la base des résultats des analyses microbiologiques et du pH, un niveau d'altération microbienne pourrait être déterminé pour définir la fin de la durée de conservation de la viande de poulet qui dépasse  $6-7 \log_{10} \text{UFCg}^{-1}$ .

Dans cette étude, les deux émulsions d'HE ont montré une forte activité antimicrobienne dans toutes les conditions testées. Pour HE de *R. officinalis*, cet effet est dû à sa teneur élevée en monoterpène oxygéné, en particulier en eucalyptol. Dans une étude précédente, il a été rapporté que l'inclusion d'huile essentielle de romarin (0,2 % v/w) dans de la viande de poulet précuite emballée sous vide entraînait une réduction des bactéries de détérioration, mais la durée de conservation n'était prolongée que de 7 jours (**Ntzimani et al., 2010**).

L'effet antimicrobien d'HE de *M. spicata* est supérieur à celui d'HE de *R. officinalis* dans diverses conditions malgré la teneur élevée en eucalyptol de cette dernière (52,09 %). De même, dans le domaine de la science alimentaire, **Burt, (2004)** a examiné les effets antibactériens des huiles essentielles et les classés par efficacité, la menthe présentant une activité supérieure à celle du romarin.

Cela peut s'expliquer par la stabilité de l'HE de *M. spicata*, alors que cette HE a conservé son activité jusqu'à 80 °C et est restée efficace jusqu'à 24 mois lorsqu'elle a été stockée à température ambiante (**Prakash et al., 2016**). De plus, ses composés bioactifs, en particulier la carvone, qui joue un rôle important dans l'industrie agroalimentaire en raison de son effet inhibiteur contre divers micro-organismes responsables de la détérioration des aliments; son mécanisme d'action n'est pas complètement connue. Cependant, certains auteurs ont rapporté qu'elle agit en affectant le système énergétique et métabolique de la cellule microbienne (**Morcia et al., 2016**).

Une autre hypothèse pour expliquer l'activité plus élevée de l'HE de *M. spicata* par rapport à celle de *R. officinalis* utilisée dans cette étude pour immerger les pilons de poulet, est que l'activité antibactérienne de la menthe verte est fortement liée aux caractéristiques des aliments, qui augmente dans les produits à faible teneur en matières grasses (**Morcia et al., 2016**); la viande de poulet est caractérisée par sa faible teneur en matières grasses. De plus, HE de *M. spicata* et le chlorure de sodium présentent un effet synergique; lorsque du sel est ajouté à la viande de poulet, l'activité antimicrobienne de cette huile essentielle peut augmenter considérablement.

Les résultats actuels concordent avec ceux rapportés précédemment **Shabazi et al. (2018)** ont constaté que l'ajout de d'huile essentielle de *M. spicata* à 0,5 % à la viande de chameau hachée crue stockée à 4 °C prolongeait la durée de conservation à 12 jours et diminuait le nombre total de bactéries mésophiles, psychrotrophes, *Pseudomonas spp.* et *Enterobacteriaceae* d'environ 1 à 2 log UFC/g dans les échantillons traités par rapport au témoin. Dans une autre étude, **Kavas et Kavas (2014)** ont rapporté que les films comestibles enrichis à 2 % d'huile essentielle de *M. spicata* utilisés pour l'enrobage du fromage avaient un effet positif sur la prolongation de la durée de conservation et avaient une activité antimicrobienne contre les bactéries pathogènes.

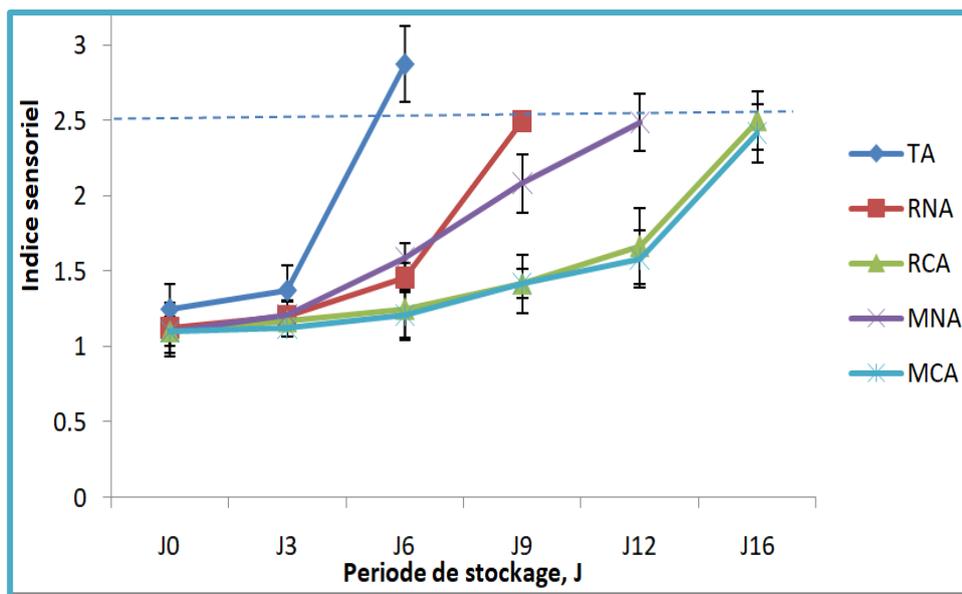
Cependant, une autre étude a utilisé une concentration plus faible d'huile essentielle de *M. spicata* que celle utilisée dans notre recherche et a trouvé les mêmes résultats en prolongeant la durée de conservation des cuisses de poulet emballées sous vide de 16 jours, mais seulement à 0,2 % d'huile essentielle de menthe verte (**Kačániová et al., 2015**).

Dans cette étude, les pilons de poulet ont été immergés dans des émulsions HE chauffées à la même température et pendant la même durée que l'échaudage doux, qui consiste à immerger les carcasses dans de l'eau chaude à 53 °C pendant 3 minutes pour éliminer efficacement les plumes. Cela permet de libérer les piquants des follicules de plumes dans la peau. Ainsi, l'effet des émulsions HE chauffées est supérieur à celui utilisé à température ambiante. Cela pourrait s'expliquer par la dilatation des pores de la peau sous l'effet des émulsions chauffées, ce qui facilite leur pénétration à l'intérieur de ces pores, qui abritent de nombreuses bactéries, et permet une interaction plus efficace des HE.

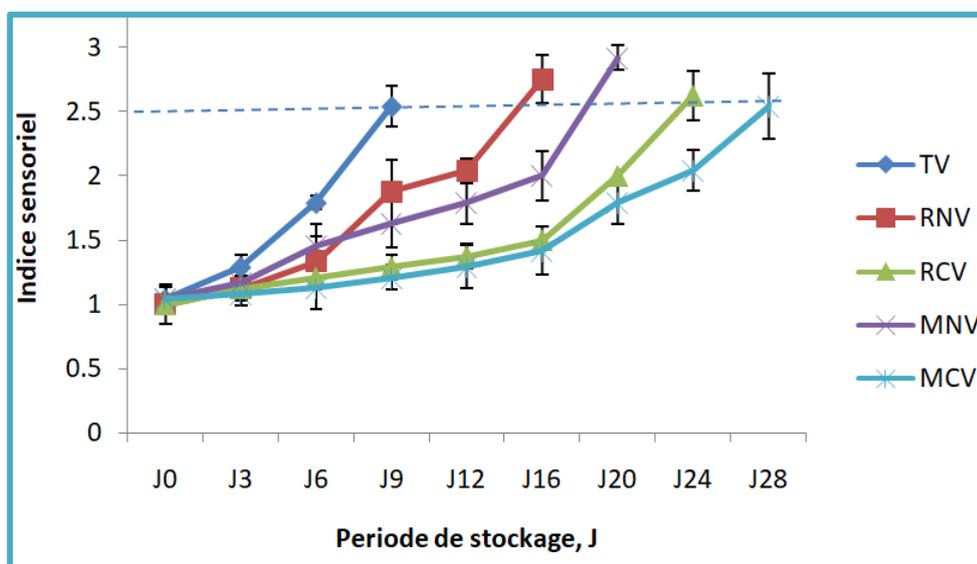
## II.4 Resultat des Analyses sensorielles :

### II.4.1 Resultat des Analyses sensorielles des pilons de poulet crus :

L'indice sensoriel (IS) constitue de paramètres de qualité (odeur, couleur et texture) des échantillons crus stockés à 4 °C±1 °C sous air et sous vide avec ou sans traitement de trempage est présenté dans les **Fig.38 a** et **b**, respectivement.



(a)



(b)

**Figure 36:** Évaluation sensorielle des pilons de poulet crus témoins et traités avec des émulsions d'huiles essentielles stockés à  $4 \pm 1$  °C dans les conditions suivantes :

a : Stockage en air;

b : Stockage sous vide;

TA: témoin en air ;TV: témoin sous vide; M: EHE *M. spicata*; R: EHE *R. officinalis*; C :Chauffage de emulsion; N: non chauffe ; A : air ; V : sous vide. Les écarts types sont indiqués par des barres. Un score de 2,5 = limite inférieure d'acceptabilité.

L'IS des deux groupes témoins TV et TA étaient inférieurs à ceux des groupes traités ( $p < 0,05$ ). En utilisant un score sensoriel de 2,5 comme score limite d'inacceptabilité, sous EA, la durée de conservation n'a pas dépassé 6 jours pour le groupe témoin. En revanche, cette

limite a été atteinte le jour 9 pour RNA, le jour 12 pour MNA et le jour 16 pour les groupes RCA et MCA.

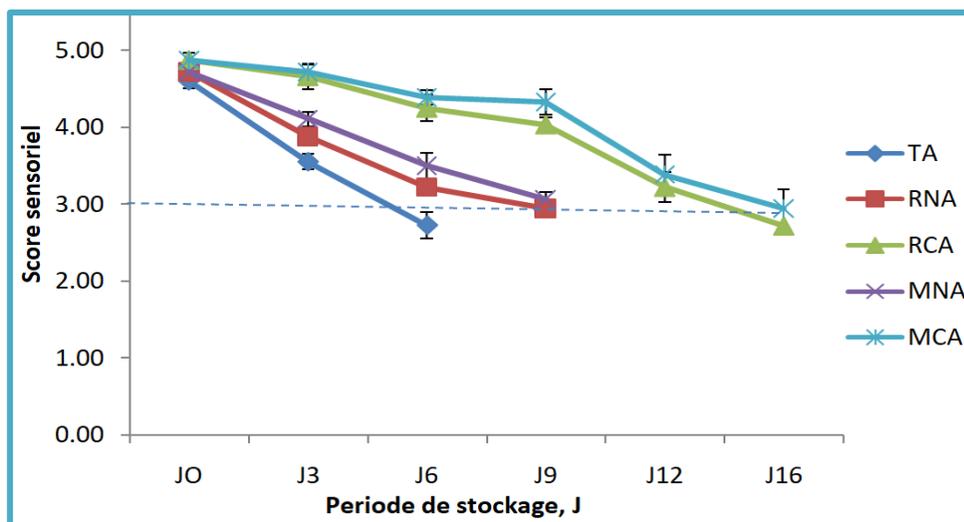
En revanche, sous ESV, la durée de conservation observée était de 9 jours pour TV, entre 12-16 jours pour RNV, entre 16-20 jours pour MNV, 24 jours pour RCV et 28 jours pour le groupe MCV. Par conséquent, les durées de conservation déterminées par l'évaluation sensorielle des groupes traités et témoins de pilons de poulet crus sous les deux types d'emballage correspondaient étroitement à celles obtenues par analyse microbiologique.



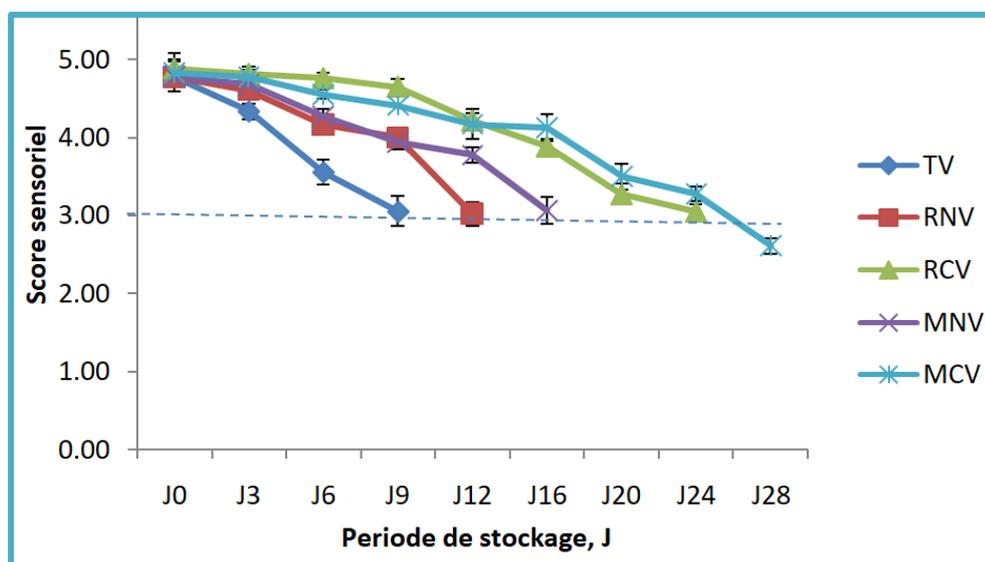
**Figure 37:** pilon de poulet frais (à gauche)  
et pilon de poulet altéré (présence d'exudat)

#### **II.4.2 Resultat des Analyses sensorielles des pilons de poulet cuits :**

Les résultats de l'évaluation sensorielle (attributs d'odeur, de texture et de saveur) des pilons de poulet cuits stockés sous EA et ESV sont présentés sous forme de scores d'acceptabilité globale illustrés dans la **Fig.40** sous EA (**Fig.40 a**) et ESV (**Fig.40 b**).



(a)



(b)

**Figure 38:** Évaluation sensorielle des pilons de poulet crus traités avec des émulsions d'huiles essentielles stockés à  $4 \pm 1$  °C dans les conditions suivantes :

a : Stockage en air ;

b : Stockage sous vide ;

Legend : voir **figure 38**.

Le score d'acceptabilité globale du poulet cuit a diminué au cours du temps de stockage dans tous les groupes. Tout au long de cette expérience, des différences significatives ( $P < 0,05$ ) ont été observées entre les groupes témoins et traités sous EA et ESV, ainsi les panélistes ont fortement préféré les pilons de poulet cuits traités avec différentes émulsions HE, ce qui pourrait être lié aux composés phénoliques bioactifs présents dans les huiles essentielles de *M. spicata* et *R. officinalis*.

Considérant un score sensoriel de 3 comme limite d'acceptabilité, le groupe témoin n'était plus acceptable après 6 jours (2,68). Cependant, cette limite a été atteinte le jour 9 pour RNA et le MNA, entre 12-16 jours pour le groupe RCA et 16 jours pour le groupe MCA.

Tandis que, sous ESV, la limite d'acceptabilité a été atteinte à 9 jours pour le groupe témoin, 12 jours pour RNV, 16 jours pour MNV, 24 jours pour RCV et entre 24-28 jours pour les groupes MCV. Aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) n'a été observée entre RN et MN, ainsi qu'entre RC et MC dans les conditions EA et ESV.

Aux points de rejet, les scores d'acceptabilité globale des pilons de poulet cuits étaient généralement en accord avec ceux des échantillons crus correspondants pour chaque traitement de trempage. Les groupes RNV et MNV faisaient exception, avec des différences d'environ 2 jours.

La perte de texture de la viande de poulet, peut être attribuée à la dénaturation et à la diminution de la solubilité des protéines, causées par une réduction de la teneur en eau dans le muscle. Elle peut également résulter d'une dégradation liée à l'altération microbienne et à l'activité protéolytique survenant au cours du stockage (**Chaparro-Hernandez et al., 2015**).

Dans cette partie du travail, les pilons de poulet stockés à l'air ou sous vide se sont avérés mieux conservés avec des émulsions d'HE chauffées de *M. spicata* et *R. officinalis* à 0,4 %, conservant une qualité sensorielle et microbienne acceptable tout au long du stockage réfrigéré. Comme prévu, le traitement idéal pour la conservation des pilons de poulet crus et cuits était l'émulsion de *M. spicata* chauffée combinée avec conservation sous vide.

## II.5 Les résultats des analyses physicochimiques :

Les résultats de la teneur en matières grasses, en protéines totales, en humidité et en matière sèche sont présentés dans le tableau sous forme de composition approximative des cuisses de poulet collectées.

**Tableau 18:** Analyse comparative de la composition chimique d'une cuisse de poulet crue entre échantillons prélevés et les valeurs littéraires.

Teneur	Echantillons prélevés (n=6)	Valeurs littéraires (wood, 2017)	Valeurs littéraires (Marangoni et al., 2015)
<b>Protéine totale (g/100g)</b>	18,12±1,44	18-20	18.4
<b>Matière grasse %</b>	5,89±1,12	3-4	5.7
<b>Matière sèche %</b>	31,54±1,15	25-32	NA
<b>Humidité %</b>	68.46±1,15	71-74	NA

NA : Non analysé.

Selon les résultats des différents composants nutritionnels des échantillons analysés

La teneur en proteine totale est 18,12 g, comparé aux valeurs littéraires qui indiquent une plage de 18 à 20 g (**wood, 2017**) ou 18.4g (**Marangoni et al., 2015**) le résultat est dans la limite interieure ou bien dans la plage attendue, ce qui suggère que l'échantillon testé est conforme en termes de teneur en protéines.

Pour ce qui concerne la teneur en matière grasse 5,89%, en comparaison avec la plage de 3 à 4 % (**wood, 2017**) ou 5.7 % (**Marangoni et al., 2015**) des valeurs littéraires la valeur mesurée est un peu plus élevée, mais elle reste relativement proche de la fourchette, ce qui pourrait indiquer une légère variation ou une composition différente de l'échantillon par rapport à l'échantillon de référence. Cette augmentation de la teneur en matière grasse peut être s'expliquer, par la négligence de certains éleveurs avicoles, qui introduisent précocement une alimentation de finition riche en apport énergétique, avant que le poulet de chair n'ait complété sa musculature grâce à une alimentation de croissance riche en protéine.

La teneur en matière sèche est de 31,54% comparé à la plage de 25 à 32 % dans les valeurs littéraires, le résultat se situe confortablement dans la plage attendue, ce qui indique que la matière sèche dans l'échantillon est conforme à celle des échantillons de référence.

Le pourcentage d'humidité est de 68.46 %, les valeurs littéraires indiquent une plage de 71 à 74 % pour l'humidité, et le résultat est légèrement en dessous de cette plage, ce qui peut être dû à la variabilité naturelle des échantillons ou aux conditions d'échantillonnage différentes ou il y a eu une perte d'eau.

Les résultats mesurés pour la protéine, la matière grasse, la matière sèche et l'humidité se situent dans des plages qui sont généralement cohérentes avec les valeurs littéraires. Cependant, il y a des légères différences, notamment pour la matière grasse et l'humidité, mais elles restent relativement faibles et peuvent être considérées comme des variations acceptables.

En conclusion, le traitement par immersion ou pulveriastion de la viande de poulet par des émulsions d'huiles essentielles de *M. spicata*, *R. officinalis*, *L. nobilis* et *T. vulgaris* serait un support utile pour prolonger sa durée de conservation sous air et sous vide en contrôlant les bactéries d'altération et en préservant les attributs d'acceptation sensorielle. Les pilons de poulet trempés dans de la menthe verte emballés sous vide ont une meilleure durée de conservation de 28 jours. Tandis que, l'huile essentielle de laurier, peut être une stratégie efficace pour ralentir l'oxydation des lipides de la viande cuite, contribuant ainsi à améliorer leur stabilité pendant le stockage à 3°C.

# Conclusion

### Conclusion :

La consommation de viande de poulet continue d'augmenter en raison de sa richesse en protéines et de sa faible teneur en matières grasses, faisant d'elle un aliment privilégié pour un régime équilibré. Cependant, sa composition riche en nutriment, en fait également une denrée hautement périssable, et la réfrigération seule s'avère insuffisante pour prévenir la prolifération bactérienne.

Cette étude met en lumière le potentiel des émulsions aqueuses d'huiles essentielles (HE) de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis* à 0,6 % pour prolonger la durée de conservation de la viande de poulet cuite en ralentissant l'oxydation des lipides, prévenir la croissance des bactéries pathogène et améliorer ses qualités organoleptiques. Il a été démontré que l'huile essentielle de thym est plus efficace en cas de conditions de stockage inadéquates, contrairement à l'huile essentielle de laurier. De plus, le trempage des pilons de poulet crus dans des émulsions chauffées d'huiles essentielles de *Mentha spicata* et de *Rosmarinus officinalis* à un taux de 0,4 % a permis de prolonger la durée de conservation jusqu'à 28 et 24 jours sous vide, respectivement tout en maintenant les attributs sensoriels acceptables.

Cependant, l'efficacité des huiles essentielles dépend fortement des conditions de stockage, en particulier de la température, nécessitant un contrôle rigoureux pour maximiser leurs bénéfices. Par ailleurs, les interactions entre les composés volatils des huiles essentielles et les constituants de la viande, ainsi que leurs effets antimicrobiens et antioxydants, ne sont pas encore complètement comprises au niveau des processus biochimiques et physico-chimiques impliqués.

En conclusion, cette étude souligne le rôle prometteur des huiles essentielles comme additifs naturels dans la conservation et l'amélioration des viandes de poulet. Avec des recherches supplémentaires, elles pourraient contribuer au développement de systèmes alimentaires durables et sûrs, répondant aux attentes des consommateurs modernes. Ces recherches devraient notamment se concentrer sur l'influence des températures de stockage sur les composés volatils des HE, ainsi que sur les interactions des composés bioactifs des huiles essentielles avec les composants de la viande et des produits carnés en général. De plus, sur l'effet synergétique entre les huiles essentielles de thym, de laurier, de menthe et de romarin qui constituent les épices de base de la cuisine méditerranéenne.

Perspectives et défis de l'utilisation des huiles essentielles dans la conservation des viandes

L'utilisation des huiles essentielles comme agents de conservation naturels présente un fort potentiel pour prolonger la durée de conservation des viandes tout en réduisant l'utilisation d'additifs chimiques. Cependant, plusieurs défis persistent, notamment les interactions complexes avec les composants alimentaires, les concentrations élevées requises pour une efficacité optimale et les modifications sensorielles induites dans les produits carnés.

Pour surmonter ces obstacles, des approches innovantes telles que **l'encapsulation, la nanoémulsification et l'incorporation dans des revêtements biodégradables** sont en cours d'exploration. Bien que ces méthodes offrent des applications industrielles prometteuses, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser leur efficacité tout en minimisant les altérations organoleptiques des viandes.

Axes de recherche et propositions d'extension de l'étude :

### 1. Optimisation des formulations à base d'huiles essentielles

- Étudier l'effet de différentes concentrations et combinaisons d'huiles essentielles pour maximiser leur efficacité antimicrobienne et antioxydante.
- Tester des méthodes innovantes d'encapsulation ou de stabilisation pour améliorer la persistance et la libération contrôlée des composés actifs dans la viande.

### 2. Influence des conditions de stockage

- Évaluer l'impact des variations de température et d'humidité sur l'efficacité des huiles essentielles.
- Étudier la stabilité des composés bioactifs sous différentes conditions de stockage (réfrigération, congélation, atmosphère modifiée).

### 3. Interactions entre les huiles essentielles et la matrice de la viande

- Analyser les mécanismes biochimiques et physico-chimiques des interactions entre les composés volatils des huiles essentielles et les lipides, protéines et micro-organismes de la viande.
- Étudier le rôle des émulsions chauffées dans l'amélioration de la biodisponibilité et de l'activité des composés actifs.

### 4. Application des huiles essentielles à d'autres produits carnés et denrées alimentaires

- Étendre la recherche à d'autres viandes périssables (bœuf, poisson) et à des produits transformés afin d'évaluer leur efficacité comme agents de conservation naturels.

## CONCLUSION et Perspectives

---

- Explorer leur potentiel comme alternatives aux conservateurs synthétiques actuellement utilisés dans l'industrie agroalimentaire.

### 5. Études toxicologiques et réglementaires

- Mener des études de toxicité pour garantir la sécurité des concentrations utilisées à long terme.
- Examiner les aspects réglementaires liés à l'incorporation des huiles essentielles dans les produits alimentaires en fonction des normes en vigueur.

### 6. Confirmation des résultats par des études in vivo

- Valider l'efficacité des huiles essentielles par des études in vivo afin de mieux comprendre leur impact sur la conservation et la qualité microbiologique des viandes en conditions réelles.
- Élaborer un protocole standardisé pour leur application industrielle.

### Sensibilisation des professionnels de la viande

Parallèlement aux recherches scientifiques, il est crucial d'organiser des séances de sensibilisation destinées aux bouchers et aux professionnels du secteur de la restauration. Ces formations devraient mettre l'accent sur :

- Le respect strict des normes d'hygiène et de manipulation de la viande.
- L'importance des températures de stockage et de transport pour prévenir la prolifération microbienne.
- L'intégration des solutions naturelles comme les huiles essentielles dans les pratiques de conservation.

# **Références bibliographiques**

**References Bibliographiques :**

- Abdelli, M. (2017). Compositions chimiques et propriétés biologiques de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* : Thymol, carvacrol et autres constituants. *Revue des Sciences et Techniques*, 21(4), 455-464.
- Abdulla, M., Martin, R.C., Gooch, M., Jovel, E. (2013). The importance of quantifying food waste in Canada. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 3, 137-151.
- Adams, R. P. (2017). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry* (4.1 ed.). BioLogy Department, Baylor University. ISBN 978-1-932633-21-4.
- Adli, D. E., Mubiri, M. A., Ziani, K., Brahmi, K., Kahloula, K., & Slimani, M. (2022). Chemical composition, in vitro antioxidant, antimicrobial and cytotoxic activities of *Mentha spicata* essential oil: a review. *Phytothérapie*, 20(6), 320-327.
- AFNOR. (2002). Méthode de Kjeldahl pour la détermination de l'azote total dans les produits alimentaires. Association Française de Normalisation.
- Alali, W. Q., et al. (2010). Prevalence and distribution of *Salmonella* in broiler processing plants. *Journal of Food Protection*, 73(10), 1919-1926.
- Alehosseini, E., & Jafari, S. M. (2019). Micro/nano-encapsulated phase change materials (PCMs) as emerging materials for the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 116–128.
- Alessandroni, L., Caprioli, G., Faiella, F., Fiorini, D., Galli, R., Huang, X., et al. (2022). A shelf–life study for the evaluation of a new biopackaging to preserve the quality of organic chicken meat. *Food Chemistry*, 371, 131134.
- Ali, S. A., Abdalla, H. O., Mahgoub, I. M., & Medani, W. (2011). Effect of slaughtering method on the keeping quality of broiler chickens' meat. *Egypt Poultry Science*, 31(5), 727-736.
- Al-Maqtari, Q. A., Rehman, A., Mahdi, A. A., Al-Ansi, W., et al. (2022). Application of essential oils as preservatives in food systems: challenges and future prospectives – a review. *Phytochemistry Reviews*, 21, 1209–1246.
- Almasi, H., Azizi, S., & Amjadi, S. (2020). Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana L.*) essential oil. *Food Hydrocolloids*, 99, 105338.



- Alnahhas, N., Berri, C., Boulay, M., Baéza, E., Jégo, Y., Baumard, Y., Chabault, M., & Le Bihan-Duval, E. (2014). Selecting broiler chickens for ultimate pH of breast muscle: Analysis of divergent selection experiment and phenotypic consequences on meat quality, growth and body composition traits. *Journal of Animal Science*, 92, 3816–3824.
- Alonso-Hernando, A., Alonso-Calleja, C., & Capita, R. (2015). Effect of various decontamination treatments against Gram-positive bacteria on chicken stored under differing conditions of temperature abuse. *Food Control*, 47, 71-76.
- Amin, M. O., Khan, M. S. A., & Pervaiz, M. (2014). Antimicrobial activity of essential oils: A review of the research. *Antibiotics*, 3(2), 173-189.
- Andjongo, S. (2006). Qualité microbiologique de l'eau et risques sanitaires. Université de Yaoundé.
- Andrade, J. M., Faustino, C., Garcia, C., Ladeiras, D., Reis, C. P., & Rijo, P. (2018). *Rosmarinus officinalis* L.: an update review of its phytochemistry and biological activity. *Future Science OA*, 4(4), FSO283.
- Antoniak, M. A., Szymkowiak, A., & Pepliński, B. (2022). The source of protein or its value? Consumer perception regarding the importance of meat (-like) product attributes. *Applied Sciences*, 12(9), 4128.
- Antoniewski, M. N., & Barringer, S. A. (2010). Meat shelf-life and extension using collagen/gelatin coatings: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(7), 644-653.
- Arrêté interministériel du 4 octobre 2016 fixant les conditions d'hygiène dans les établissements de production, de transformation et de distribution des denrées alimentaires. *Journal Officiel de la République Algérienne*, n°39, 2 juillet 2017.
- Aymerich, T., Picouet, P. A., & Monfort, J. M. (2008). Decontamination technologies for meat products. *Meat Science*, 78(1-2), 114-129.
- Aziz, Z. A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., et al. (2018). Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential—a review. *Current Drug Metabolism*, 19(13), 1100-1110.
- Baéza, E., Guillier, L., & Petracci, M. (2022). Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. *Animal*, 16, 100331.



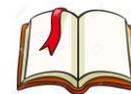
- Bahuaud, D., Mørkøre, T., Langsrud, Ø., Sinnes, K., Veiseth, E., Ofstad, R., & Thomassen, M. (2008). Effects of rest before slaughter on rigor development and quality of Atlantic salmon fillets. *Aquaculture*, 280(1-4), 70-76.
- Bailly, J. D. (2012). *Sécurité alimentaire et risques microbiologiques*. Éditions Tec & Doc.
- Bakkali, F., Averbek, S., Averbek, D., & Idaomar, M. (2023). Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 153, 112237.
- Barbut, S. (2016). *Poultry products processing: an industry guide*. CRC Press.
- Barbut, S., & Leishman, E. M. (2022). Quality and processability of modern poultry meat. *Animals*, 12(20), 2766.
- Bardaweel, S. K., Bakchiche, B., AL-Salamat, H. A., Rezzoug, M., Gherib, A., & Flamini, G. (2018). Chemical composition, antioxidant, antimicrobial, and antiproliferative activities of essential oil of *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) from Algerian Saharan Atlas. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 1-7.
- Bayar, N. (2021). Activité antifongique de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* contre des agents pathogènes végétaux : *Alternaria solani* et *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(12), 3450-3459.
- Begum, S. (2013). Botanical characteristics and pharmacological properties of Lamiaceae family plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(33), 2607-2613.
- Belaid-Gater, N., Mouhous, A., Saidj, D., & Kadi, S. A. (2023). Production performances of the poultry-laying sector in Algeria: data analysis of a table eggs production complex.
- Belasli, A. (2021). Effet de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* sur la croissance d'*Alternaria alternata* et la réduction de l'aflatoxine B1 dans les grains de blé. *International Journal of Food Microbiology*, 331, 108750.
- Belcher, J. N. (2006). Industrial packaging developments for the global meat market. *Meat Science*, 74(1), 143–148.
- Beloud, K. (2001). Étude botanique et distribution du laurier (*Laurus nobilis*) en Algérie. *Revue de Botanique et Écologie*, 10(2), 142-150.
- Ben Djemâa, J. M., Tersim, N., Toudert, K. T., & Khouja, M. L. (2012). Insecticidal activities of essential oils from leaves of *Laurus nobilis* L. from Tunisia, Algeria, and Morocco, and comparative chemical composition. *Journal of Stored Products Research*, 48, 97-104.
- Benaissa, R. (2016). Analyse de la contamination microbienne des viandes en abattoir et en boucherie. Université de Tlemcen.



- Benbouali, M. (2006). Valorisation des extraits de plantes aromatiques et médicinales de *Mentha rotundifolia* et *Thymus vulgaris*. PhD diss., Université ACHOUR Djillali.
- Benyoucef, F., Dib, M. E. A., Arrar, Z., Costa, J., & Muselli, A. (2018). Synergistic antioxidant activity and chemical composition of essential oils from *Thymus fontanesii*, *Artemisia herba-alba* and *Rosmarinus officinalis*. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 5(4), 151-156.
- Bibow, A., & Oleszek, W. (2024). Essential oils as potential natural antioxidants, antimicrobial, and antifungal agents in active food packaging. *Antibiotics*, 13(12), 1168.
- Bièche-Terrier, C., Fleury, M., Bré, J. M., Malayrat, C., Tribot-Laspierre, P., & Desmasures, N. (2019). Viandes sous vide: les indicateurs microbiologiques actuels sont-ils fiables? *Viandes et Produits Carnés*, 1.
- Blackburn, C. W. (2011). *Food spoilage microorganisms*. Woodhead Publishing.
- Bonilla, A. C., Sveinsdottir, K., & Martinsdottir, E. (2007). Development of Quality Index Method (QIM) scheme for fresh cod (*Gadus morhua*) fillets and application in shelf life study. *Food Control*, 18, 352-358.
- Bousbia, N. (2011). Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Doctoral dissertation, Université d'Avignon.
- Bousbia, N., Vian, M. A., Ferhat, M. A., Petitcolas, E., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2009). Comparison of two isolation methods for essential oil from rosemary leaves: Hydrodistillation and microwave hydrodiffusion and gravity. *Food chemistry*, 114(1), 355-362.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253.
- Caput, L., Nazzaro, F., Souza, L. F., Aliberti, L., De Martino, L., Fratianni, F., & De Feo, V. (2017). *Laurus nobilis*: Composition of essential oil and its biological activities. *Molecules*, 22, 930.
- Carr, C. C., Scheffler, J. M., & Johnson, D. D. (2017). Categorizing processing via the Meat Science Lexicon. *Animal Frontiers*, 7(4).
- Cartier, P. (2004). Flore microbienne des viandes: Facteurs de contamination et conséquences sanitaires. Éditions Lavoisier.



- Cartier, P. (2007). Hygiène et sécurité des viandes en abattoir et en boucherie. Éditions Tec & Doc.
- Cavanagh, H. M. A., & Wilkinson, J. M. (2002). Biological activities of lavender essential oil. *Phytotherapy Research*, 16(4), 301-308.
- Ceuppens, S., Uyttendaele, M., Drieskens, K., Rajkovic, A., & Debevere, J. (2011). Survival and growth of *Bacillus cereus* in cooling rice dishes. *International Journal of Food Microbiology*, 148(2), 116-121.
- Chahal, K., Kaur, M., Bhardwaj, U., Singla, N., & Kaur, A. (2017). A review on chemistry and biological activities of *Laurus nobilis* L. essential oil. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 1153-1161.
- Chakravarty, I., Parmar, V. M., & Mandavgane, S. A. (2023). Current trends in essential oil (EO) production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17), 15311-15334.
- Chaparro-Hernandez, S., Ruiz-Cruz, S., Marquez-Rios, E., Ocano-Higuera, V. M., Valenzuela-Lopez, C. C., Ornelas-Paz, J. D. J., & Del-Toro-Sánchez, C. L. (2015). Effect of chitosan-carvacrol edible coatings on the quality and shelf life of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets stored in ice. *Food Science and Technology*, 35, 734-741.
- Chartrin, P., Méteau, K., Juin, H., Bernadet, M. D., Guy, G., Larzul, C., Rémignon, H., Mourot, J., Duclos, M. J., & Baéza, E. (2006). Effects of intramuscular levels on sensory characteristics of duck breast meat. *Poultry Science*, 85, 914–922.
- Chemat, F. (2009). Comparison of two isolation methods for essential oil from rosemary leaves: Hydrodistillation and microwave hydrodiffusion and gravity. *Food Chemistry*, 114 (1), 355–362.
- Chenut, R., Coutelet, G., & Magdelaine, P. (2013). Structures et organisation des filières volailles de chair en Europe. Analyse comparée.
- Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial activity of some essential oils-present status and future perspectives. *Medicines*, 4(3), 58.
- Coibion, R. (2008). *Qualité et sécurité des aliments : enjeux et perspectives*. Éditions Lavoisier.
- Conde-Hernández, L. A., Botello-Ojeda, A. G., Alonso-Calderón, A. A., Osorio-Lama, M. A., Bernabé-Loranca, M. B., & Chavez-Bravo, E. (2021). Optimization of extraction of essential oils using response surface methodology: A review. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24(5), 937-982.



- Connolly, G., & Campbell, W. W. (2023). Poultry consumption and human cardiometabolic health-related outcomes: A narrative review. *Nutrients*, 15(16), 3550.
- Corradini, M. G. (2018). Shelf life of food products: From open labeling to real-time measurements. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 251-269.
- Correa, D., del Campo, M., Luzardo, S., de Souza, G., Álvarez, C., Font-i-Furnols, M., & Brito, G. (2024). Impact of aging methods and frozen storage on beef quality attributes from different finishing diets. *Meat and Muscle Biology*, 8(1).
- Corry, J. E. L. (2007). *Microbiology of Meat and Poultry*. Blackwell Publishing.
- Corsetti, A. (2008). Technological and microbiological aspects of sourdough fermentation. In C. Gänzle & M. Gobbetti (Eds.), *Handbook on Sourdough Biotechnology* (pp. 49-71). Springer.
- Cuq, B. (2007). *Altération microbienne des produits carnés : Causes et prévention*. Éditions Tec & Doc.
- Daghir, N., Diab-El-Harake, M., & Kharroubi, S. (2021). Poultry production and its effects on food security in the Middle Eastern and North African region. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(1), 100110.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: A critical review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510.
- Davidson, P. M., & Zivanovic, S. (2003). Antimicrobial properties of thymoquinone and thymohydroquinone. *Journal of Food Protection*, 66(4), 767-773.
- De Araújo, J. S. F., De Souza, E. L., Oliveira, J. R., Gomes, A. C. A., Kotzebue, L. R. V., Agostini, D. L. D., et al. (2020). Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 991–999
- Dervilly, G., Cariou, R., & Bizec, B. (2022). Les contaminants comme dangers chimiques dans les aliments. Les dangers dans la chaîne de transformation et de distribution des denrées alimentaires, 151.
- Dob, T., et al. (2006). Étude de la diversité des chémotypes de *Thymus vulgaris* et leur utilisation dans les pharmacopées méditerranéennes. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(1), 96-105



- Dodd, T. L., & Goodwin, P. A. (2024). Essential oils in modern medicine: Mechanisms and therapeutic applications. *Journal of Clinical Medicine*, 13(2), 525.
- Dong, G. Y., Bai, X. H., Aimila, A., Aisa, H. A., & Maiwulanjiang, M. (2020). Study on lavender essential oil chemical compositions by GC-MS and improved pGC. *Molecules*, 25(14), 3166.
- Dongmo, P. M. J., Tchoumboungang, F., Ndongson, B., Agwanande, W., Sandjon, B., Zollo, P. H. A., & Menut, C. (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.
- Doost, A. S., Nasrabadi, M. N., Kassozi, V., Nakisozi, H., & Van der Meeren, P. (2020). Recent advances in food colloidal delivery systems for essential oils and their main components. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 474–486.
- Drosinos, E. H., Mataragas, M., Kampani, A., Kritikos, D., & Metaxopoulos, J. (2009). Evaluation of the role of intrinsic and extrinsic factors on the listericidal effect of natural antimicrobials. *Meat Science*, 82(3), 260-265.
- Drosinos, E. H., Paramithiotis, S., Kolovos, G., Tsikouras, I., & Metaxopoulos, J. (2009). Phenotypic and technological diversity of lactic acid bacteria and *staphylococci* isolated from traditional Greek sausages. *Food Microbiology*, 26(6), 667-675.
- Dubois-Brissonnet, F., & Guillier, L. (2020). Les maladies microbiennes d'origine alimentaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55(1), 30-38
- Dudou, A., et al. (2004). *La qualité des produits alimentaires : perception et attentes des consommateurs*. Éditions Quae
- EFSA Panel on Biological Hazards. (2019). The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 17(12), e05926
- Esmaili, D., Mobarez, A. M., & Tohidpour, A. (2012). Anti-*Helicobacter pylori* activities of shoya powder and essential oils of *Thymus vulgaris* and *Eucalyptus globulus*. *Open Microbiology Journal*, 6, 65–
- European Pharmacopoeia 6.0. (2008). Determination of essential oils in herbal drugs, 2.8.12, 2
- Eyamkondan, M., Blanken, W. A., & Sherkat, F. (2000). The effect of gas atmosphere packaging on the growth of spoilage and pathogenic bacteria on fresh meat. *Meat Science*, 54(1), 23–29



- Fang, T., Cao, H., Wang, Y. U. E., Gong, Y., & Wang, Z. (2023). Global scientific trends on healthy eating from 2002 to 2021: A bibliometric and visualized analysis. *Nutrients*, 15(6), 1461.
- FAO & OCDE. (2023). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2023-2032. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FAO. (2016). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025. Éditions OCDE, Paris. [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2016-fr](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-fr)
- FAO. (2023). Production: Crops and livestock products. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fardet, A., Ferreira, M., & Rock, E. (2021). Adéquation nutritionnelle du régime « Vrai, Végétal, Varié » Bio, Local, Saison (3VBLS) chez les personnes âgées (> 65 ans) en France. *L'Information Diététique*, 2, 18-31.
- Farhat, A. (2010). Vapo-diffusion assistée par micro-ondes: Conception, optimisation et application (Doctoral dissertation, Université d'Avignon; École nationale d'ingénieurs de Gabès, Tunisie).
- Farkas, J. (2006).** Irradiation for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 148–152.
- Ferdot, J. (2007). La viande et ses produits dérivés : Aspects scientifiques et technologiques. Éditions Tec & Doc Lavoisier.
- Ferhat, Z., & Yessad, M. (2018). Huiles essentielles de *Laurus nobilis* L. et de *Foeniculum vulgare* Mill: Composition chimique et activités antimicrobienne et antioxydante. *Algerian Annals of Agronomy*, 30(2), 19-30
- Fernandes, B., Oliveira, M. C., Marques, A. C., Dos Santos, R. G., & Serrano, C. (2024). Microencapsulation of Essential Oils and Oleoresins: Applications in Food Products. *Foods*, 13(23), 3873.
- Fernandes, R. (2009). Microbiological safety of meat: A global perspective. Springer
- Flamini, G., Smaili, T., Zellagui, A., Gherraf, N., & Cioni, P. L. (2013). Effect of growth stage on essential-oil yield and composition of *daucus sahariensis*. *Chemistry and Biodiversity*, 10(11), 2014–2020.
- Fosse, J. (2003). Les dangers pour l'homme liés à la consommation des viandes. Évaluation de l'utilisation de moyens de maîtrise en abattoir. Thèse de médecine vétérinaire, Nantes, 302 pages.



- Fosse, J., et al. (2006). Risques microbiologiques et contamination des viandes en abattoir. INRA Éditions.
- Frank, D., Oytam, Y., Hughes, J., McDonnell, C. K., & Buckow, R. (2022). Sensory perceptions and new consumer attitudes to meat. In *New aspects of meat quality* (pp. 853-886). Woodhead Publishing.
- Gandemer, G., & Duchène, C. (2015). Valeurs nutritionnelles des viandes cuites. Effets de la cuisson sur la composition des viandes. *Viandes Prod. Carn*, 104, 93
- Garavand, F., Rahae, S., Vahedikia, N., & Jafari, S. M. (2019). Different techniques for extraction and micro/nanoencapsulation of saffron bioactive ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 89, 26–44.
- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J. F., & Culioli, J. (2002). Valeur diététique et qualités sensorielles des viandes de ruminants: Incidence de l'alimentation des animaux. *INRAE Productions Animales*, 15(1), 37-52.
- Gigaud, V., Bordeau, T., Chartrin, P., Baéza, E., & Berri, C. (2011). Technological variability of chicken breast meat quality encountered in France according to the production system. In *Proceedings of the XXth European Symposium on the Quality of Poultry Meat* (pp. 1–10), 4–8 September 2011, Leipzig, Germany.
- Giménez, A., Ares, F., & Ares, G. (2012). Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches. *Food research international*, 49(1), 311-325.
- Givens, I. D., & Gibbs, R. A. (2008). Current intakes of EPA and DHA in European populations and the potential of animal-derived foods to increase them. *Proceedings of the Nutrition Society*, 67, 273-280
- Glišić, S. B., Mišić, D. R., Stamenić, M. D., Zizovic, I. T., Ašanin, R. M., & Skala, D. U. (2007). Supercritical carbon dioxide extraction of carrot fruit essential oil: Chemical composition and antimicrobial activity. *Food Chemistry*, 105(1), 346-352
- González-Minero, F. J., Bravo-Díaz, L., & Ayala-Gómez, A. (2020). *Rosmarinus officinalis* L. (Rosemary): An ancient plant with uses in personal healthcare and cosmetics. *Cosmetics*, 7(4), 77
- Gouveia, A. R., Alves, M., de Almeida, J. M., Monteiro-Silva, F., González-Aguilar, G., Silva, J. A., & Saraiva, C. (2017). The antimicrobial effect of essential oils against *Listeria monocytogenes* in sous vide cook-chill beef during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13066



- Grashorn, M. A. (2010). Research into poultry meat quality. *British Poultry Science*, 51(Sup1), 60-67
- Guillier, L., et al. (2020). Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. *International Journal of Food Microbiology*, 330, 108651
- Hainaut Terre de Goûts. (2025). Découpe anatomique du poulet. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.hainaut-terredegoûts.be> (Consulté le 30 janvier 2025)
- Hamad, M. (2009). *Hygiène des équipements et impact sur la qualité des viandes* [Thèse de doctorat, Université de Tunis].
- Hammaz, K., & Nafa, M. (2017). Diversité et répartition des espèces du genre *Thymus* en Algérie : Flore aromatique et ses usages traditionnels. *Revue de Botanique Méditerranéenne*, 41(3), 210-220.
- Hansen, L. T., Gill, T., & Rontved, S. D. (2004). Quality changes in fresh meat during frozen storage at ultra-low temperatures (-55°C). *Meat Science*, 68(4), 721-728.
- Hassan, R. R., et al. (2020). Applications of Essential Oils in Food Preservation: A Review. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(3), 1331-1345.
- Hassanin, F. S., Hassan, M. A., Shaltout, F. A., Shawqy, N. A., & Abd-Elhameed, G. A. (2017). Chemical criteria of chicken meat. *Benha Veterinary Medical Journal*, 33(2), 457-464.
- Hayes, J. E., & Brunton, N. P. (2011). Natural antimicrobial compounds: Potential for food preservation. *Trends in Food Science & Technology*, 22(5), 183-193.
- Heinz, G., & Hautzinger, P. (2007). *Meat processing technology for small- to medium-scale producers*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Helal, M. (2010). Distribution géographique et écologie de *Rosmarinus officinalis* en Algérie. *Revue des Sciences et Techniques*, 12(2), 99-104.
- Henchion, M., McCarthy, M., Resconi, V. C., & Troy, D. (2014). Meat consumption: Trends and quality matters. *Meat Science*, 98(3), 561-568.
- Hennekinne, J. A., De Buyser, M. L., & Dragacci, S. (2012). *Staphylococcus aureus* and its food poisoning toxins: characterization and outbreak investigation. *FEMS Microbiology Reviews*, 36(4), 815-836
- Hibbeln, J. R., Nieminen, L. R., Blasbalg, T. L., Riggs, J. A., & Lands, W. E. (2006). Healthy intakes of n-3 and n-6 fatty acids: estimations considering worldwide diversity. *American Journal of Clinical Nutrition*, 83, 1483S-1493S.



- Hobbi, P., Okoro, O., Musonge, P., Nie, L., & Shavandi, A. (2022). Green recovery of polyphenolic compounds from food industry apple waste using subcritical water
- Hosseinzadeh, S., Kukhdan, A., Hosseini, A., & Armand, R. (2015). The application of *Thymus vulgaris* in traditional and modern medicine: a review. *Global Journal of Pharmacology*, 9(3), 260–266.
- Hu, J., Zhang, Y. D., Xiao, Z. B., & Wang, X. G. (2018). Preparation and properties of cinnamon-thyme-ginger composite essential oil nanocapsules. *Industrial Crops and Products*, 122, 85–92.
- Hu, M., & Gurtler, J. B. (2017). Selection of surrogate bacteria for use in food safety challenge studies: A review. *Journal of Food Protection*, 80(9), 1506-1536.
- Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 1–24
- Ikusika, O. O., Falowo, A. B., Mpendulo, C. T., Zindove, T. J., & Okoh, A. I. (2020). Effect of strain, sex and slaughter weight on growth performance, carcass yield and quality of broiler meat. *Open Agriculture*, 5(1), 607-616.
- International Organization for Standardization. (1998). ISO 15214:1998 – Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of mesophilic lactic acid bacteria — Colony-count technique at 30 degrees C. ISO.
- International Organization for Standardization. (2000). NF EN ISO 734-1:2000 - Tourteaux de graines oléagineuses - Détermination de la teneur en huile - Partie 1 : Méthode par extraction à l'hexane (ou à l'éther de pétrole).
- International Organization for Standardization. (2001). ISO 3960:2001 - Corps gras d'origines animale et végétale — Détermination de l'indice de peroxyde.
- International Organization for Standardization. (2004). ISO 7932:2004 - Microbiologie des aliments et des aliments pour animaux — Méthode horizontale pour le dénombrement de *Bacillus cereus* présumptifs.
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 13720:2010 - Viande et produits à base de viande — Dénombrement des *Pseudomonas spp.*
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9000:2015 - Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire.
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9000:2015 – Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire. ISO.



- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 11290-1:2017 - Microbiology of the food chain — Horizontal method for the detection and enumeration of *Listeria monocytogenes* and of *Listeria spp.* — Part 1: Detection method.*
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 21528-2:2017 - Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour la détection et le dénombrement des *Enterobacteriaceae* — Partie 2 : Technique par comptage des colonies.*
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 17410:2019 – Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes psychrotrophes.*
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO 6888-1:2021 - Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour le dénombrement des *staphylocoques* à coagulase positive (*Staphylococcus aureus* et autres espèces) — Partie 1 : Méthode utilisant le milieu gélosé de Baird-Parker.*
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO 9235:2021 – Matières premières aromatiques naturelles — Vocabulaire. ISO.*
- International Organization for Standardization. (2022). *NF EN ISO 10390:2022 - Sols, biodéchets traités et boues - Détermination du pH.*
- Irshad, A., & Arun, T. S. (2013). Scalding and its significance in livestock slaughter and wholesome meat production. *International Journal of Livestock Research*, 3, 45–53.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). Fresh meats and poultry. In *Modern Food Microbiology* (pp. 63–99). [https://10.1007/0-387-23413-6\\_4](https://10.1007/0-387-23413-6_4)
- Jeliazkov, V. D., & Cantrell, C. L. (2016). Overview of medicinal and aromatic crops, medicinal and aromatic crops: production, phytochemistry, and utilization. In *ACS Symposium Series*. American Chemical Society, Washington, DC
- Jeuge, S., Carlier, M., Vendevre, J. L., & Nassy, G. (2012). *L'oxydation des produits carnés : Méthodes de mesure et moyens de maîtrise*. IFIP.
- Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, n° 36, 5 juin 1996. (1996). Arrêté du 17 mars 1996 fixant les conditions d'hygiène et de salubrité relatives aux viandes de boucherie
- Jugreet, B. S., Suroowan, S., Rengasamy, R. R. K., & Mahomoodally, M. F. (2020). Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. *Trends in Food Science & Technology*, 101, 89–105.



- Kaban, G. (2009). Changes in the composition of volatile compounds and in microbiological and physicochemical parameters during pastirma processing. *Meat Science*, 82, 17-23.
- Kačániová, M., Petrová, J., Terentjeva, M., Mellen, M., Kántor, A., Kluz, M., et al. (2015). Microbiological quality of chicken thighs after vacuum packaging, EDTA, Coriandri aetheroleum and Mentha spicata aetheroleum. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 48, 143–143.
- Kaci, A. (2014). Les déterminants de la compétitivité des entreprises avicoles algériennes. Thèse Doctorat, ENSA, El Harrach, Alger, 243 p.
- Kaci, A., & Kheffache, H. (2016). La production et la mise en marché du poulet de chair dans la wilaya de Médéa (Algérie) : nécessité d'une coordination entre acteurs. *Les Cahiers du CREAD*, 118, 113-132.
- Kamoun, M. (1993). *Contamination microbienne des viandes : Origine et prévention*. Éditions Tec & Doc
- Kanatt, S. R. (2020). Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100506.
- Kant, R., & Kumar, A. (2022).** Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829.
- Karib, H., Aymar, J., & Dahani, S. (2021). Appréciation de la qualité bactériologique des carcasses de volaille préparées dans un abattoir avicole industriel. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(3).
- Karwowska, M., Łaba, S., & Szczepański, K. (2021). Food loss and waste in meat sector - why the consumption stage generates the most losses?. *Sustainability*, 13, 6227.
- Kavas, G., & Kavas, N. (2014). The effects of mint (*Mentha spicata*) essential oil fortified edible films on the physical, chemical and microbiological characteristics of lor cheese. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 12, 40-45.
- Kaveh, S., Hashemi, S. M. B., Abedi, E., Amiri, M. J., & Conte, F. L. (2023). Bio-preservation of meat and fermented meat products by lactic acid bacteria strains and their antibacterial metabolites. *Sustainability*, 15(13), 10154.
- Kennedy, J., Jackson, V., Blair, I.S., McDowell, D.A., Cowan, C., & Bolton, D.J. (2005). Food safety knowledge of consumers and the microbiological and temperature status of their refrigerators. *Journal of Food Protection*, 68(7), 1421-1430.



- Kerry, J. P. (2011).** *Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat*. Woodhead Publishing.
- Khodaei, S. M., Gholami-Ahangaran, M., Karimi Sani, I., Esfandiari, Z., & Eghbaljoo, H. (2023). Application of intelligent packaging for meat products: A systematic review. *Veterinary Medicine and Science*, 9(1), 481-493.
- Khodja, Y. K., Bachir-Bey, M., Belmouhoub, M., Ladjouzi, R., Dahmoune, F., & Khettal, B. (2023). The botanical study, phytochemical composition, and biological activities of *Laurus nobilis* L. leaves: A review. *International Journal of Secondary Metabolite*, 10(2), 269-296.
- King, R., Smith, J., & Brown, L. (2023). Impact of fat content on microbial stability in vacuum-packed minced meat. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1123-1135.
- Komaiko, J. S., & McClements, D. J. (2016). Formation of food-grade nanoemulsions using low-energy preparation methods: A review of available methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(2), 331-352.
- Kreyenschmidt, J., Hübner, A., Beierle, E., Chonsch, L., Scherer, A., & Petersen, B. (2010). Determination of the shelf life of sliced cooked ham based on the growth of lactic acid bacteria in different steps of the chain. *Journal of Applied Microbiology*, 108, 510-520.
- Krimat, S., Metidji, H., Tigrine, C., Dahmane, D., Nouasri, A., & Dob, T. (2019). Analyse chimique, activités antioxydante, anti-inflammatoire et cytotoxique d'extrait hydrométhanolique d'*Origanum glandulosum* Desf. *Phytothérapie*, 17(2), 58.
- Kuete, V. (2017).** *Thymus vulgaris*. In *Medicinal spices and vegetables from Africa* (pp. 599–609). Academic Press.
- Lambert, R. J. W., Skandamis, P. N., Coote, P. J., & Nychas, G. J. E. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thyme oil, carvacrol, and thymol. *Journal of Applied Microbiology*, 91(3), 453-462.
- Lawrie, R. A., & Ledward, D. A. (2006).** *Lawrie's meat science* (7th ed.). Woodhead Publishing.
- Lešnik, S., Furlan, V., & Bren, U. (2021). Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): Extraction techniques, analytical methods, and health-promoting biological effects. *Phytochemistry Reviews*, 20(6), 1273-1328.



- Levine, M. E., Suarez, J. A., Brandhorst, S., Balasubramanian, P., Cheng, C. W., Madia, F., et al. (2014). Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population. *Cell Metabolism*, 19, 407-417.
- Lhommeau, T., Vautier, A., & Le Roux, A. (2021). Observatoire des pH ultimes et du défaut « viande déstructurée » des jambons de porc abattus en France. *Les Cahiers de l'IFIP*.
- Lim, H., Yoon, Y., Hwang, H., & Kim, M. (2008). Irradiation as a postharvest technology for meat safety: A review. *Journal of Food Protection*, 71(1), 170-179.
- Liu, X., Gong, C., & Jiang, X. (2011). Inhibitory effects of enterococci on the production of hydrogen sulfide by hydrogen sulfide-producing bacteria in raw meat. *Journal of Applied Microbiology*, 111(1), 83-92.
- Lofgren, P. A. (2005). Meat, poultry, and meat products. In B. Caballero, L. Allen, & A. Prentice (Eds.), *Encyclopedia of Human Nutrition* (2nd ed., pp. 2307). Elsevier: Academic Press.
- Löhren, U. (2012). Overview on current practices of poultry slaughtering and poultry meat inspection. *EFSA Supporting Publications*, 9(6), 298E.
- Lombardi-Boccia, G., Martinez-Dominguez, B., & Aguzzi, A. (2006). Total heme and non-heme iron in raw and cooked meats. *Journal of Food Science*, 67, 1738-1741.
- López, P., Sánchez, C., & de Gómez-Lus, M. Á. (2023).** Essential oils as antimicrobial agents: Mechanisms of action and applications. *Science Progress*, 106(1).
- Loubamba, R. (2012).** *Flore microbienne des cuirs et impact sur la sécurité sanitaire des viandes* [Thèse de doctorat, Université de Kinshasa].
- Lowe's. (n.d.). *Spearmint (Mentha spicata) – Outdoor Plants*. Consulté le 2 février 2025 sur <https://www.lowes.com/pl/plants-bulbs-seeds/outdoor-plants/groundcover/spearmint/4294392553-1705104634>
- Mabberley, D. J. (1997).** *The Plant-Book: A portable dictionary of the vascular plants*. Cambridge University Press..
- Magnussen, O. M., Haugland, A., Hemmingsen, A. K. T., Johansen, S., & Nordtvedt, T. S. (2008). Advances in superchilling of food – Process characteristics and product quality. *Trends in Food Science & Technology*, 19(8), 418-424.
- Maiti, S. (2007). Aromatic compounds in plants and their significance. *Journal of Phytochemistry and Biochemistry*, 45(4), 224-230.



- Maiti, S., & Geetha, K. A. (2007). FLORICULTURE (Ornamental, Medicinal & Aromatic Crops) - Medicinal and Aromatic Plants in India.
- Malle, P., Valle, M., Demarque, P., Eb, P., & Tailliez, R. (1998). Detection and enumeration of H<sub>2</sub>S<sup>+</sup> bacteria: Application to *Shewanella putrefaciens* (CIP). *Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology*, 6, 93-102.
- Mandal, S., & DebMandal, M. (2016). Chapter 94—Thyme (*Thymus vulgaris* L.) oils. In V. R. Preedy (Ed.), *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 825–834). Academic Press.
- Marangoni, F., Corsello, G., Cricelli, C., Ferrara, N., Ghiselli, A., Lucchin, L., & Poli, A. (2015). Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: An Italian consensus document. *Food & Nutrition Research*, 59(1), 27606.
- Marzouk, B., Edziri, H., Haloui, I., Issawi, M., Chraief, I., El-Ouni, M., & Marzouk, Z. (2009). Chemical composition, antibacterial, and antioxidant activities of a new chemotype of Tunisian *Thymus vulgaris* oils growing in Sayada. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7(2), 263-267.
- Mfouapon Njueya, C. (2006).** *Toxi-infections alimentaires collectives: Causes et prévention*. Université de Douala.
- Mohtadji, C., & Lamballais, J. (1989). *Les aliments*. Éditions Malouine, Paris.
- Morales, M. (1997). Les plantes aromatiques dans les traditions médicinales: Le cas du *Thymus vulgaris* en Méditerranée. *Revue de Botanique et Ethnopharmacologie*, 15(2), 145-152.
- Morales, R. (1997). Synopsis of the genus *Thymus* L. in the Mediterranean area. *Lagascalia*, 19(1-2), 249-262.
- Morcia, C., Tumino, G., Ghizzoni, R., & Terzi, V. (2016). Carvone (*Mentha spicata* L.) oils. In *Essential oils in food preservation, flavor and safety* (pp. 855–865). Academic Press.
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: Current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245-256.
- Mourad, R., Jaafar, H. H., & Daghir, N. (2019). New estimates of water footprint for animal products in fifteen countries of the Middle East and North Africa (2010–2016). *Water Resources and Industry*, 22, 100113.
- Naidu, A. S. (2002). *Lactoferrin: Natural roles, antibacterial activity, and use in food and pharmaceutical applications*. CRC Press.



- Nalle, R. P. I., Nuraida, L., Mahakarnchanakul, W., & Dewanti-Hariyadi, R. (2021). Effect of sanitizers and *Lactobacillus rhamnosus* R23 on the growth of *Salmonella spp.* in raw chicken fillets during temperature abuse storage. *Food Research*, 5(5), 250-258.
- Nguyen, T. T., & Lee, S. M. (2023). Essential oils: Bioactive components and their therapeutic potential. *Journal of Ethnopharmacology*, 288, 114979.
- Ni, Z. J., Wang, X., Shen, Y., Thakur, K., Han, J., Zhang, J. G., ... & Wei, Z. J. (2021). Recent updates on the chemistry, bioactivities, mode of action, and industrial applications of plant essential oils. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 78-89.
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018). Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A review. *Medicines*, 5(3), 98.
- Ninčáková, S., Večerek, V., Válková, L., Voslářová, E., Kaluža, M., & Zavřelová, V. (2022). Health status of slaughtered animals as indicated by postmortem inspection at slaughterhouses. *Acta Veterinaria Brno*, 91(1), 99-106.
- Norme Algérienne n° 10.96.25. (2013). Méthode d'analyse pour la détermination de la teneur en eau (méthode par étuvage).
- Ntzimani, A. G., Gitrakou, V. I., & Savvaidis, I. N. (2010). Combined natural antimicrobial treatments EDTA, lysozyme, rosemary, and oregano oil on semi-cooked coated chicken meat stored in vacuum packages at 4°C: Microbiological and sensory evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 187-196.
- Nychas, G. J. E., & Skandamis, P. N. (2005). Fresh meat spoilage and modified atmosphere packaging: A review. *Meat Science*, 71(2), 194–204.
- Ockerman, H. W., & Basu, L. (2004). Meat *preservation and storage*. In W. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences* (pp. 682-690).
- Odetokun, I. A., Adetona, M. A., Ade Yusuf, R. O., Adewoye, A. O., Ahmed, A. N., Ghali Mohammed, I., ... & Fetsch, A. (2023). *Staphylococcus aureus* contamination of animal-derived foods in Nigeria: A systematic review.
- Office National des Statistiques (ONS). (2020-2021). *La campagne agricole 2020/2021*. [https://www.ons.dz/IMG/pdf/ProdAgricol2020\\_2021.pdf](https://www.ons.dz/IMG/pdf/ProdAgricol2020_2021.pdf)
- Okoh, O.O.; Sadimenko, A.P.; Afolayan, A.J. (2010). Comparative evaluation of the antibacterial activities of the essential oils of *Rosmarinus officinalis* L. obtained by hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods. *Food Chem.*, 120, 308–312.



- Oostindjer, M., Alexander, J., Amdam, G.V., Andersen, G., Bryan, N.S., Chen, D., et al. (2014). The role of red and processed meat in colorectal cancer development: a perspective. *Meat Sci*, 97, 583-596.
- Özogul, Y., El Abed, N., & Özogul, F. (2022).** Antimicrobial effect of laurel essential oil nanoemulsion on foodborne pathogens and fish spoilage bacteria. *Food Chemistry*, 368, 1-8.
- Pandey, A.K., Kumar, P., Saxena, M.J., & Maurya, P. (2020). Distribution of aromatic plants in the world and their properties. In *Feed additives*. Academic Press, pp. 89–114.
- Pandurangi, S., Balasubramaniam, V.M. (2005). Evaluation of high-pressure processing effects on moisture and water activity in selected fresh and value-added meat products. *Food Science and Technology International*, 11(3), 165–173.
- Paparella, A., Nawade, B., Shaltiel-Harpaz, L., & Ibdah, M. (2022). A review of the botany, volatile composition, biochemical and molecular aspects, and traditional uses of *Laurus nobilis*. *Plants*, 11(9), 1209.
- Paramithiotis, S., Drosinos, E.H., & Skandamis, P.N. (2009). *Microbial ecology of meat and meat products*. In: Toldrá, F. (Ed.), *Handbook of Meat Processing*, Wiley-Blackwell, pp. 73-79.
- Parejo, I., Viladomat, F., Bastida, J., Rosas-Romero, A., Saavedra, G., Murcia, M.A., ... & Codina, C. (2003). Investigation of Bolivian plant extracts for their radical scavenging activity and antioxidant activity. *Life sciences*, 73(13), 1667-1681.
- Parlasca, M.C., & Qaim, M. (2022). Meat consumption and sustainability. *Annual Review of Resource Economics*, 14(1), 17-41.
- Patsias, A., Chouliara, I., Badeka, A., Savvaidis, I.N., Kontominas, M.G. (2006). Shelf-life of a chilled precooked chicken product stored in air and under modified atmospheres: microbiological, chemical, sensory attributes. *Food Microbiology*, 23, 423–429.
- Pereira, D. M., Pereira, A. L., & Tavares, S. P. (2022). Antimicrobial activity of essential oils and their components: A review of the literature and future perspectives. *Phytochemistry Reviews*, 21(6), 1671-1694.
- Peter, K.V. (2004). *Handbook of herbs and spices*. Elsevier, 376p.
- Petersen, M., & Simmond, S. (2002). Distribution and cultivation of *Mentha* species in Algeria: Climatic and soil factors influencing growth. *Journal of Medicinal Plants*, 28(4), 375-380.



- Polkinghorne, R. J., & Thompson, J. M. (2010). Meat standards and grading: A world view. *Meat Science*, 86(1), 227-235.
- Puri, H. S. (1994). *Ayurvedic Medicine: A Modern Perspective*. CRC Press.
- Purslow, P.P. (2017). The structure and properties of intramuscular connective tissue and their influence on meat quality. *Meat Science*, 132, 48-58.
- Quezel, P., Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. CNRS, Paris, 636p.
- Rai, S., Wai, P. P., Koirala, P., Bromage, S., Nirmal, N. P., Pandiselvam, R., ... & Mehta, N. K. (2023). Food product quality, environmental and personal characteristics affecting consumer perception toward food. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1222760.
- Raina, V. K., Kumar, A., & Aggarwal, K. K. (2013). Essential oil composition of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) rhizomes from different place in India. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 8(2), 187–191.
- Raksa, A., Sawaddee, P., Raksa, P., & Aldred, A. K. (2017). Microencapsulation, chemical characterization, and antibacterial activity of *Citrus hystrix* DC (Kaffir Lime) peel essential oil. *Monatshefte Fur Chemie*, 148(7), 1229–1234.
- Raposo, A., Pérez, E., de Faria, C.T., Ferrús, M.A., & Carrascosa, C. (2016). Food spoilage by *Pseudomonas spp.*—An overview. *Foodborne pathogens and antibiotic resistance*, 41-71.
- Reddy, P., Kandisa, R., Varsha, P., Satyam, S. (2014). Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Med. Aromat. Plants*, 3, 164.
- Rita, A., Della, V., & Tullio, C. (2023). Essential oils from plants as an alternative to antibiotics: Current trends and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 842.
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023). Meat and dairy production. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/meat-production>.
- Roller, S., & Covill, N. (2000). The antimicrobial properties of chitosan in mayonnaise and mayonnaise-based shrimp salads. *International Journal of Food Microbiology*, 54(1-2), 165-173.
- Russell, S.M., Fletcher, D.L., Cox, N.A. (1995). Spoilage bacteria of fresh broiler chicken carcasses. *Poultry Science*, 74, 2041.



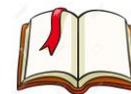
- Sabow, A. B., Nakyinsige, K., Adeyemi, K. D., Sazili, A. Q., Johnson, C. B., Webster, J., & Farouk, M. M. (2017). High frequency pre-slaughter electrical stunning in ruminants and poultry for halal meat production: A review. *Livestock Science*, 202, 124-134.
- Saharkhiz, M. J., Omidbaigi, R., & Sefidkon, F. (2005). Effect of harvesting time on essential oil composition of Ajowan (*Trachyspermum ammi Sprague*) fruits in Iran. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(2), 116-120.
- Säid, A. H., Charron, A., & Boulay, M. (2023). Chemical composition and biological activities of essential oils from Mediterranean aromatic plants: A review. *Molecules*, 28(3), 953.
- Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharopov, F., Antolak, H., Kręgiel, D., ... & Sharifi-Rad, J. (2018). Plants of genus *Mentha*: From farm to food factory. *Plants*, 7(3), 70.
- Sams, A.R., Alvarado, C., & Owens, C.M. (Eds.). (2001). *Poultry meat processing* (Vol. 7). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Sanli, S., & Karadogan, T. (2017). "Geographical and environmental factors affecting the essential oil composition of plants." *Plant Biosystems - An International Journal of Plant Biology*, 151(4), 597-609.
- Sapkale, G. N., Patil, S. M., Surwase, U. S., & Bhatbhage, P. K. (2010).** Supercritical fluid extraction. *International Journal of Chemical Sciences*, 8(2), 729-743.
- Schäfer, D., et al. (2017). *Listeria monocytogenes* in poultry processing environments. *Food Control*, 73, 1027-1035.
- Schwaiger, K., Huther, S., Hölzel, C., Kämpf, P., & Bauer, J. (2012). Prevalence of antibiotic-resistant enterobacteriaceae isolated from chicken and pork meat purchased at the slaughterhouse and at retail in Bavaria, Germany. *International Journal of Food Microbiology*, 154(3), 206-211.
- Sfeir, J., Lefrancois, C., Baudoux, D., Derbre, S., Licznar, P. (2013). In vitro antibacterial activity of essential oils against *Streptococcus pyogenes*. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.*, 2013, 269161.
- Shahbazi, Y. (2015). Chemical composition and in vitro antibacterial activity of *Mentha spicata* essential oil against common food-borne pathogenic bacteria. *J. Pathog.*, 2015, 916305.



- Shahbazi, Y., Karami, N., Shavisi, N. (2018). Effect of *Mentha spicata* essential oil on chemical, microbial, and sensory properties of minced camel meat during refrigerated storage. *Journal of Food Safety*, 38, e12375.
- Sharma, A., Singh, J., Kumar, S. (2012). *Bay leaves*. In *Handbook of Herbs and Spices* (Second Edition), Volume 1; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 73–85.
- Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, 343, 128403.
- Sikkema, J., de Bont, J. A. M., & Poolman, B. (1995). Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiological Reviews*, 59(2), 201-222.
- Smith, J. A., & Jones, R. T. (2020). Phytochemical extraction techniques: Methods and applications. *Journal of Herbal Science*, 15(4), 123-134.
- Snoussi, M., Noumi, E., Trabelsi, N., Flamini, G., Papetti, A., De Feo, V. (2015). *Mentha spicata* Essential Oil: Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities against Planktonic and Biofilm Cultures of *Vibrio spp.* Strains. *Molecules*, 20, 14402–14424.
- Soro, A.B., Noore, S., Hannon, S., Whyte, P., Bolton, D.J., O'Donnell, C., Tiwari, B.K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food of Packaging and Shelf Life*, 29, 100722. <https://doi:10.1016/j.fpsl.2021.100722>.
- Soto-Caballero, M. C., Cano-Monge, E. E., Cano-Monge, S. M., Welte-Chanes, J., & Escobedo-Avellaneda, Z. (2021). Effect of high hydrostatic pressures on microorganisms, total phenolic content and enzyme activity of mamey (*Pouteria sapota*) nectar. *Journal of Food Science and Technology*, 1-6.
- Swatland, H.J. (1999). *On-line assessment of poultry meat quality. Poultry Meat Science*. In: Richardson, R.I., & Mead, G.C. (Eds.), CABI Publ., New York, NY, 315-345.
- Swayne, D.E. (2019). Avian influenza: Zoonotic potential and prevention strategies. *Veterinary Microbiology*, 226, 34-39.
- Tanuja, B. S., Onkar, A., Snehal, B., Pooja, B., Zaware, M., & Darekar, S. (2024). A review on *Mentha spicata*. *OEIL Research Journal*, 22(11).
- Tesseraud, S. (1995). Métabolisme protéique chez le poulet en croissance. Effet des protéines alimentaires. *INRAE Productions Animales*, 8(3), 197-212.
- Thompson, J.D., Chalchat, J.C., Michet, A., Linhart, Y.B., & Ehlers, B. (2003). Qualitative and quantitative variation in monoterpene co-occurrence and composition in the



- essential oil of *Thymus vulgaris* chemotypes. **Journal of Chemical Ecology**, 29, 859–880.
- Tixier-Boichard, M., Bed'hom, B., & Rognon, X. (2011). Chicken domestication: From archeology to genomics. *Comptes Rendus Biologies*, 334(3), 197-204.
- Toldrá, F. (2023). The storage and preservation of meat. III—Meat processing. In *Lawrie's meat science* (pp. 281-314). Woodhead Publishing.
- Tomi, P., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Desjobert, J.-M., Costa, J., Paolini, J. (2011). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils and solvent extracts of *Ptychotis verticillata* from Morocco. **Food and Chemical Toxicology**, 49, 533-536.
- Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses in foods. *International Food Research Journal*, 21(3), 13-31.
- Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7), R1231–R1249.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S. (2014). Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. *Journal of Food Science*, 79, 1231–1249.
- Turek, C., & Stintzing, F. C. (2013). Stability of essential oils: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 40-53.
- Vaarst, M., Steinfeldt, S., & Horsted, K. (2015). Sustainable development perspectives of poultry production. *World's Poultry Science Journal*, 71(4), 609-620.
- Van Overbeke, I., et al. (2006). The prevalence of *Campylobacter spp.* in organic versus conventional broiler flocks. *Foodborne Pathogens and Disease*, 3(4), 377-381.
- Voidarou, C., et al. (2011). Microbial challenges in poultry meat production. *International Journal of Food Microbiology*, 146(3), 177-187.
- Vorimore, F., Hsia, R.-C., Huot-Creasy, H., Mocek-McDonough, D., Wood, H., Aaziz, R., ... & Laroucau, K. (2015). *Chlamydia psittaci* in poultry: Risk factors and public health implications. *Emerging Infectious Diseases*, 21(7), 1106-1113.
- Vukasović, T. (2009). Consumer perception of poultry meat and the importance of country of origin in a purchase-making process. *World's Poultry Science Journal*, 65(1), 65-74.
- Wang, Z., et al. (2020). Subcritical Water Extraction of Bioactive Compounds: A Review and Potential Applications. *Molecules*, 25(17), 3965.
- Watson, S.C., Furbeck, R.A., Fernando, S.C., Chaves, B.D., & Sullivan, G.A. (2023). Spoilage *Pseudomonas* survive common thermal processing schedules and grow in



- emulsified meat during extended vacuum storage. *Journal of Food Science*, 88(5), 2162-2167.
- Wierup, M. (2017). The impact of biosecurity measures on *Salmonella* prevalence in poultry farms. *Preventive Veterinary Medicine*, 140, 1-8.
- Wirtu, S. F., Ramaswamy, K., Maitra, R., Chopra, S., Mishra, A. K., & Jule, L. T. (2024). Isolation, characterization and antimicrobial activity study of *Thymus vulgaris*. *Scientific Reports*, 14(1), 21573.
- Wood, J.D. (2017). *Meat composition and nutritional value*. In: *Lawrie's Meat Science*, pp. 635-659. Woodhead Publishing.
- Wulandari, W. L., Anwar, F., & Supriyadi, S. (2019). "Effect of drying time on the extraction rate of essential oils from *Citrus hystrix* DC (kaffir lime) and its major volatile compounds." *Journal of Food Science and Technology*, 56(10), 4691-4698.
- Yilmaz, E.S., Timur, M., & Aslim, B. (2013). Antimicrobial, antioxidant activity of the essential oil of Bay Laurel from Hatay, Turkey. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(1), 108-116.
- Zaouali, Y., Bouzaine, T., & Boussaid, M. (2010). Essential oils composition in two *Rosmarinus officinalis* L. varieties and incidence for antimicrobial and antioxidant activities. *Food and Chemical Toxicology*, 48(11), 3144-3152.
- Zengin, G., Mahomoodally, M. F., Paksoy, M. Y., Picot-Allain, C. M., & Glamocilja, U. (2019). Essential oils and extracts of medicinal plants used in traditional food: novel sources of food preservatives. *Current Pharmaceutical Design*, 25(4), 365-386.
- Zhang, W., Li, X., & Zhao, Y. (2022). Effects of storage temperature on meat color stability and spoilage bacteria growth. *Food Microbiology*, 105, 104021.
- Zheljazkov, V.D., Cantrell, C.L., Astatkie, T., & Jeliaskova, E. (2013). Distillation time effect on lavender essential oil yield and composition. *Journal of Oleo Science*, 62(4), 195-199.
- Zhou, G., Liu, H., e Liu, X. (2010). *Meat science and technology*. China Agricultural University Press.

## Résumé :

La durée de conservation de la viande est relativement courte, sa détérioration représente donc un problème économique majeur. Notre objectif est d'améliorer la qualité microbiologique, physicochimique et sensorielle de la viande de poulet grâce à l'utilisation des huiles essentielles. (HE) comme additifs naturels combinée à d'autre technique de conservation.

Cette étude est composée de deux parties : la première s'intéresse à l'effet antimicrobien de deux HE (laurier et thym) sous forme d'émulsions à 0,6% contre les bactéries pathogènes pouvant contaminer la viande cuite : *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 14579) et *Listeria innocua* (ATCC 33090) inoculées dans des blancs de poulet cuits. Tandis que la deuxième partie aborde l'effet antimicrobien de deux autres HE (menthe et romarin) sous forme d'émulsion chauffée appliquée par immersion à 0,4 % contre la flore d'altération de la viande de poulet crue afin de prolonger sa durée de conservation, grâce à un emballage sous vide. Pour cette raison, des analyses microbiologiques, physicochimiques et des évaluations sensorielles ont été réalisées afin de découvrir les combinaisons de techniques les plus efficaces pour conserver cette viande crue et cuite. L'activité antioxydante et les résultats de l'analyse GC/MS ont montré que. *T. vulgaris* est majoritairement composé de carvacrol (31,97 %) avec une  $CI_{50}$  de 77,5  $\mu\text{g/ml}$ , *L. nobilis* d'eucalyptol (41,16 %) avec une  $CI_{50}$  de 60,3  $\mu\text{g/ml}$ , *M. spicata* de carvone (25,36 %) avec une  $CI_{50}$  de 47,5  $\mu\text{g/ml}$ , et *R. officinalis* d'eucalyptol (52,09 %) avec une  $CI_{50}$  de 73,2  $\mu\text{g/ml}$ . Ces résultats confirment leur efficacité en tant qu'antioxydants naturels. Les résultats montrent que la température de stockage influe sur l'efficacité antimicrobienne des émulsions : HE du thym a montré une meilleure efficacité à 8°C, réduisant la population microbienne d'1 log CFU/g, tandis qu'HE de laurier a été plus efficace à 3°C, avec un meilleur score d'acceptabilité sensorielle. À la température abusive 25°C, les deux HE ont montré un léger déclin de leur efficacité par rapport à T3 et T8. En plus, ces HE ont montré un ralentissant l'oxydation grâce à ses propriétés anti oxydantes, en particulier celle de laurier conserve bien la viande de poulet cuite. Le réchauffement des émulsions d'HE a significativement renforcé leur effet antibactérien, les cuisses de poulet immergées dans une émulsion chauffée HE du *R. officinalis* ou *M. spicata* et emballées sous vide avaient une durée de conservation prolongée de 15 et 19 jours supplémentaires, respectivement, par rapport au groupe témoin. Les durées de conservation observées par les tests sensoriels concordaient généralement avec celles déterminées par les analyses microbiennes. La combinaison optimale pour prolonger la durée

de conservation de la viande de poulet est l'émulsion d'HE de *M. spicata* réchauffée- l'emballage sous vide pour la viande crue; l'émulsion HE de *T. vulgaris*- à 8 °C ou l'émulsion HE de *L. nobilis* à 3 °C pour la viande cuite.

*En conclusion, l'utilisation d'huiles essentielles comme conservateurs naturels, associée à une réfrigération adéquate et à un traitement thermique des émulsions, représente une méthode prometteuse pour prolonger la durée de conservation de la viande de poulet tout en préservant ses qualités organoleptiques et en réduisant les altérations microbiologiques et physicochimiques. En ce sens, ces approches offrent un potentiel significatif pour les industries de transformation de la viande.*

**Mots clés :** viande de poulet; émulsion d'huile essentielle; température de stockage; bactéries pathogènes; bactéries d'altération; durée de conservation; emballage sous vide; réchauffement des émulsions.

**Abstract;**

The shelf life of meat is relatively short, making its deterioration a major economic issue. Our objective is to improve the microbiological, physicochemical, and sensory quality of chicken meat by using essential oils (EOs) as natural additives combined with other preservation techniques.

This study consists of two parts: the first focuses on the antimicrobial effect of two EOs (*Laurus nobilis* and *Thymus vulgaris*) as emulsion at 0.6% against pathogenic bacteria that can contaminate cooked meat, namely *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Bacillus cereus* (ATCC 14579), and *Listeria innocua* (ATCC 33090), inoculated in cooked chicken breasts. The second part examines the antimicrobial effect of two other EOs (*Mentha spicata* and *Rosmarinus officinalis*) as warmed emulsion at 0.4% applied by immersion against spoilage flora in raw chicken meat, aiming to extend its shelf life through vacuum packaging. For this reason, microbiological, physicochemical, and sensory evaluations were conducted to identify the most effective technique combinations for preserving both raw and cooked meat.

The antioxidant activity and GC/MS analysis results showed that *T. vulgaris* is mainly composed of carvacrol (31.97%) with a IC<sub>50</sub> of 77.5 µg/ml, *L. nobilis* of eucalyptol (41.16%) with a IC<sub>50</sub> of 60.3 µg/ml, *M. spicata* of carvone (25.36%) with a IC<sub>50</sub> of 47.5 µg/ml, and *R. officinalis* of eucalyptol (52.09%) with a IC<sub>50</sub> of 73.2 µg/ml. These results confirm their effectiveness as natural antioxidants.

Findings indicate that storage temperature influences the antimicrobial efficacy of the emulsions: *T. vulgaris* EO exhibited better effectiveness at 8°C, reducing microbial load by 1

log CFU/g, whereas *L. nobilis* EO was more effective at 3°C, with a higher sensory acceptability score. At an abusive temperature of 25°C, both EOs showed a slight decline in effectiveness compared to 3°C and 8°C. Furthermore, These EOs reduce lipid oxidation due to their antioxidant properties, particularly *L. nobilis*, which effectively preserved cooked chicken meat.

Heating the EO emulsions significantly enhanced their antibacterial effect; chicken drumsticks immersed in heated emulsions of *R. officinalis* or *M. spicata* and vacuum-packed had an extended shelf life of 15 and 19 additional days, respectively, compared to the control group. The shelf lives determined by sensory tests generally aligned with those determined by microbial analyses.

The optimal combination for prolonging the shelf life of chicken meat is warmed EO emulsion of *M. spicata* combined with vacuum packaging for raw meat and EO emulsion of *T. vulgaris* at 8°C or *L. nobilis* at 3°C for cooked meat.

*In conclusion, the use of essential oils as natural preservatives, combined with proper refrigeration and thermal treatment of emulsions, represents a promising method to extend the shelf life of chicken meat while preserving its organoleptic properties and reducing microbiological and physicochemical alterations. In this regard, these approaches offer significant potential for the meat processing industry.*

**Keywords:** chicken meat; essential oil emulsion; storage temperature; pathogenic bacteria; spoilage bacteria; shelf life; vacuum packaging; warmed emulsions.

## المخلص:

يعد العمر الافتراضي للحوم قصيرًا نسبيًا، مما يجعل تلفها مشكلة اقتصادية كبيرة. هدفنا هو تحسين الجودة الميكروبيولوجية والفيزيائية الكيميائية والحسية للحوم الدجاج من خلال استخدام الزيوت الأساسية كمضافات طبيعية، إلى جانب تقنيات الحفظ الأخرى.

تتكون هذه الدراسة من جزأين: يركز الأول على التأثير المضاد للميكروبات لزيوتين أساسيتين (الغار والزعرتر) على شكل مستحلب بنسبة 0.6 % ضد البكتيريا الممرضة التي يمكن أن تلوث اللحوم

المطهية، وهي *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923)

و *Bacillus cereus* (ATCC 14579) و *Listeria innocua* (ATCC 33090)، والمحقونة في

صدور دجاج مطهية. أما الجزء الثاني، فيبحث التأثير المضاد للميكروبات لزيوتين أساسيتين أخريين

(النعناع وإكليل الجبل) على شكل مستحلب مسخن بنسبة 0.4 % يطبق عن طريق الغمر ضد البكتيريا

المسببة لتلف اللحم، في لحوم الدجاج النيئة، بهدف إطالة عمرها الافتراضي من خلال التعبئة بالتفريغ

الهوائي. لهذا الغرض، تم إجراء تقييمات ميكروبيولوجية، فيزيائية كيميائية، وحسية لتحديد أكثر تقنيات

الحفظ فعالية للحوم النيئة والمطهية.

أظهرت نتائج النشاط المضاد للأكسدة وتحليل GC/MS أن الزعرتر يتكون أساسًا من

carvacrol (31.97%) بقيمة CI50 تبلغ 77.5 ميكروغرام/مل، والغار من eucalyptol

(41.16%) بقيمة CI50 تبلغ 60.3 ميكروغرام/مل، والنعناع من carvone (25.36%) بقيمة

CI50 تبلغ 47.5 ميكروغرام/مل، وإكليل الجبل من eucalyptol (52.09%) بقيمة CI50 تبلغ 73.2

ميكروغرام/مل. تؤكد هذه النتائج فعاليتها كمضادات أكسدة طبيعية.

أشارت النتائج إلى أن درجة حرارة التخزين تؤثر على الفعالية المضادة للميكروبات للمستحلبات:

حيث أظهر زيت الزعرتر الأساسي فعالية أفضل عند 8°C، مما أدى إلى تقليل الحمل الميكروبي بمقدار 1

log CFU/g، في حين كان زيت الغار أكثر فعالية عند 3°C، مع تحقيق درجة قبول حسية أعلى. عند

درجة حرارة مرتفعة تبلغ 25°C، أظهرت كلا الزيوتين انخفاضًا طفيفًا في الفعالية مقارنة بدرجتي 3°C

و 8°C. علاوة على ذلك، تقلل هذه الزيوت الأساسية من أكسدة الدهون نظرًا لخصائصها المضادة

للأكسدة، لا سيما زيت الغار، الذي حافظ بشكل فعال على جودة لحوم الدجاج المطهية.

عزز تسخين مستحلبات الزيوت الأساسية تأثيرها المضاد للبكتيريا بشكل كبير؛ حيث أن أخذ

الدجاج التي عُمرت في مستحلبات مسخنة من إكليل الجبل أو النعناع ثم تم تعبئتها بالتفريغ الهوائي

أظهرت زيادة في عمرها الافتراضي بمقدار 15 و 19 يومًا على التوالي مقارنة بالمجموعة الضابطة.

تتماشى أعمار التخزين المحددة من خلال الاختبارات الحسية بشكل عام مع تلك التي حُددت عبر التحاليل

الميكروبيولوجية.

أفضل التقنيات لإطالة العمر الافتراضي للحوم الدجاج هي مستحلب زيت النعناع الأساسي

المسخن مع التعبئة بالتفريغ الهوائي للحوم النيئة، ومستحلب زيت الزعرتر الأساسي عند 8°C أو زيت

الغار عند 3°C للحوم المطهية.

في الختام، يُعد استخدام الزيوت الأساسية كمحافظات طبيعية، إلى جانب التبريد المناسب ومعالجة

المستحلبات حراريًا، طريقة واعدة لإطالة العمر الافتراضي للحوم الدجاج، مع الحفاظ على خصائصها

الحسية وتقليل التغيرات الميكروبيولوجية والفيزيائية الكيميائية. في هذا الصدد، توفر هذه الاستراتيجيات

إمكانات كبيرة لصناعة معالجة اللحوم.

**الكلمات المفتاحية:** لحوم الدجاج؛ مستحلب الزيت الأساسي؛ درجة حرارة التخزين؛ البكتيريا

الممرضة؛ البكتيريا المسببة لتلف اللحم؛ العمر الافتراضي؛ التعبئة بالتفريغ الهوائي؛ المستحلبات

المسخنة.

# **Annexes**

## ANNEXES

### Annexes 1: Tableaux des évaluations sensorielles

#### Évaluation sensorielle du poulet cru (Indice sensoriel):

Score	1	2	3	4
<b>Odeur (O)</b>	Très frais, agréable	Frais légèrement	légère altération	Odeur d'altération (putride)
<b>Couleur (C)</b>	Rose pâle ou jaune, frais	Couleur acceptable	Légèrement acceptable	inacceptable
<b>Texture (T)</b>	Agréable Très ferme, non visqueux	Fermeté, acceptable, non visqueux	Légèrement ferme, peu visqueux	Molle, visqueuse

Panel N°..... / Jour de l'évaluation ..... Condition de stockage : .....			
N° Echantillon	Odeur (O)	Couleur (C)	Texture (T)
1/			
2/			
3/			
4/			
5/			

#### Évaluation sensorielle du poulet cuit (score acceptabilité globale):

Panel N°..... / Jour de l'évaluation ..... Condition de stockage : .....				
N° Echantillon	Odeur	Texture	Apparence (premiere partie) Saveur (deuxieme partie).	Acceptabilité globale (moyen)
1/				
2/				
3/				
4/				
5/				

•Score 5 : Extrêmement acceptable.

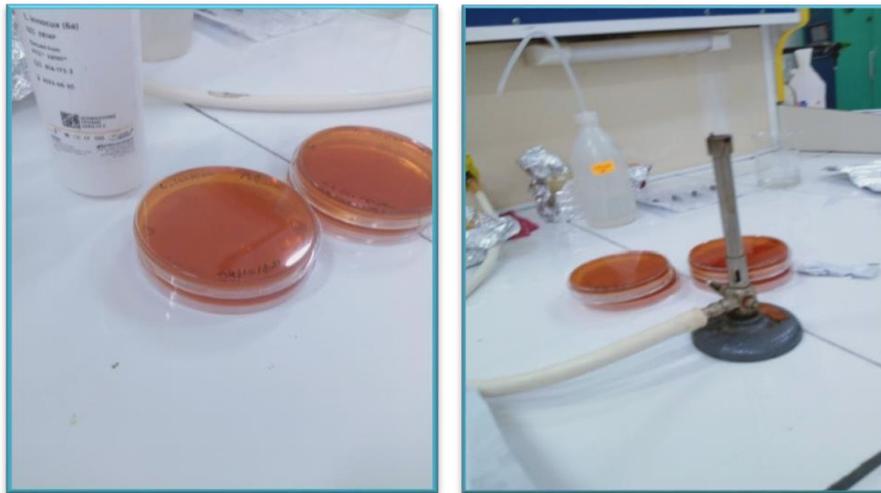
•Score 4 : Acceptable.

•Score 3 : Moyennement acceptable.

•Score 2 : Peu acceptable.

•Score 1 : Pas acceptable du tout.

**Annexe 2: Réhydratation des souches**



**Figure 39:** Photos de réhydratation et culture des souches lyophilisées.

**Annexe 3: photos du traitement des échantillons et analyse au laboratoire**



**Figure42:** Photo lors de la préparation des échantillons.



**Figure 40:** Photo lors des analyses physicochimiques et microbiologiques

Annexe 04 : Les colonies des bacteries étudiées.



Figure 41: Photos des colonies de *S. aureus* et *L. innocua*.

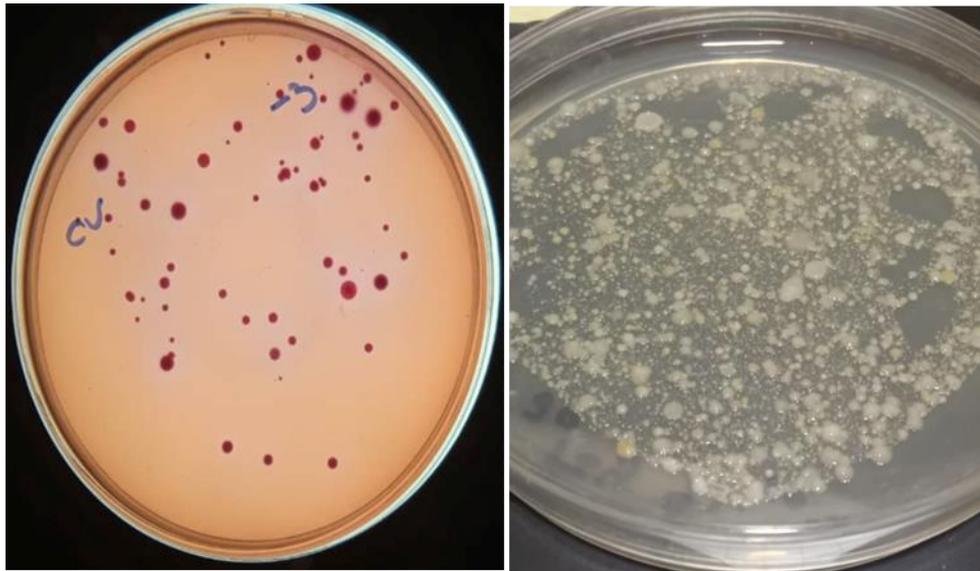
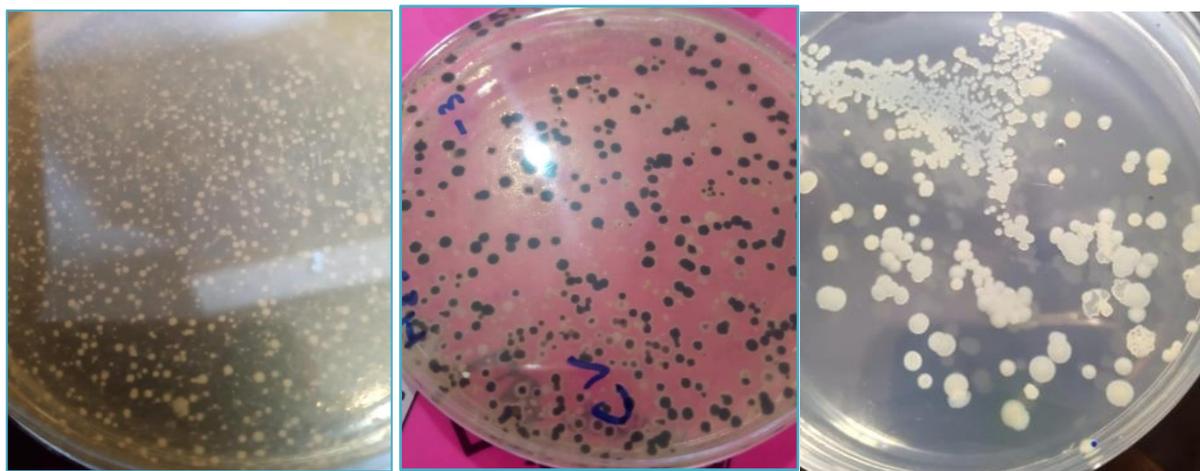


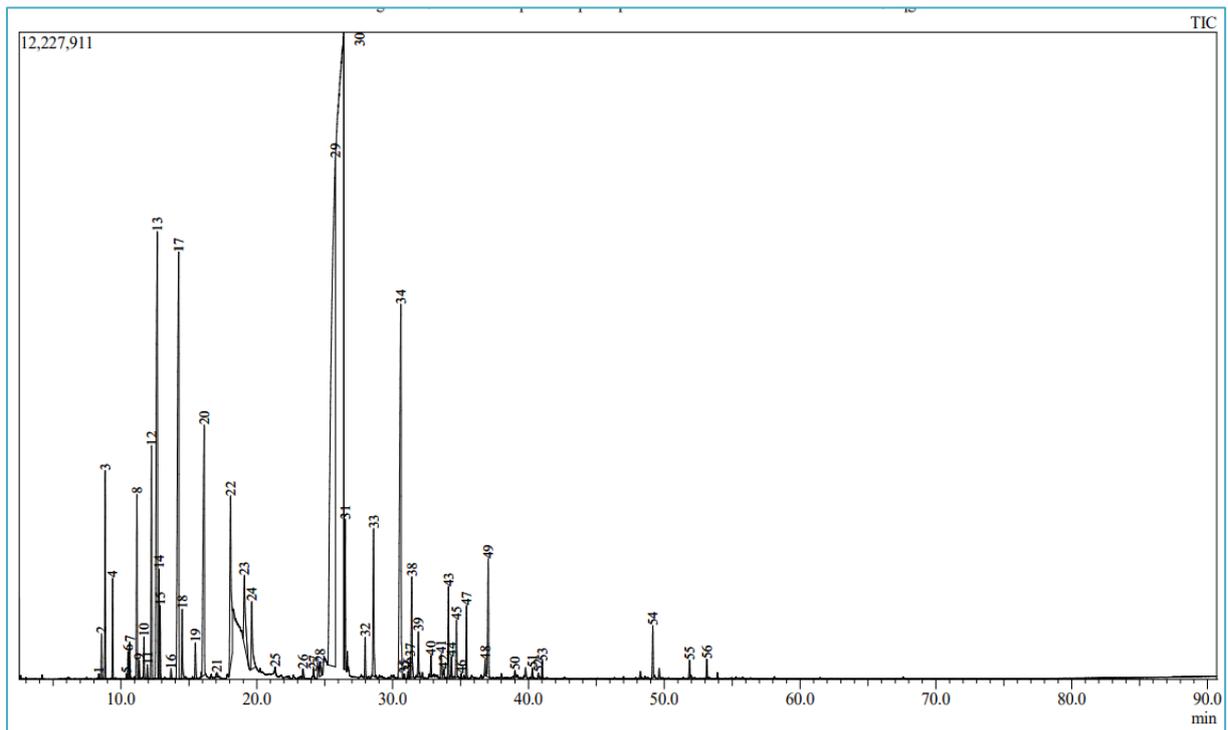
Figure45: Des colonies d'*Enterobacteriaceae* (à gauche) et bacteries psychrotrophes.

## ANNEXES

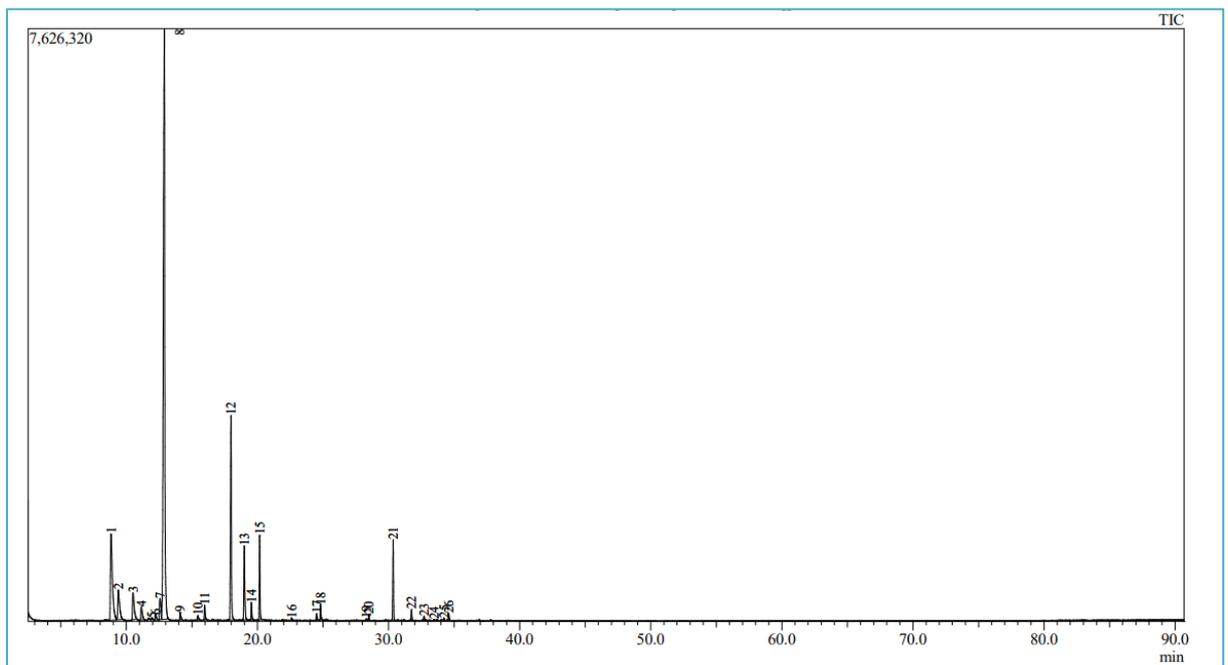


**Figure 42:** Des colonies de (de gauche à droite), *pseudomonas spp.*, bacteries productrice de H<sub>2</sub>S et LAB.

Annexe 05: Chromatogrammes des huiles essentielles

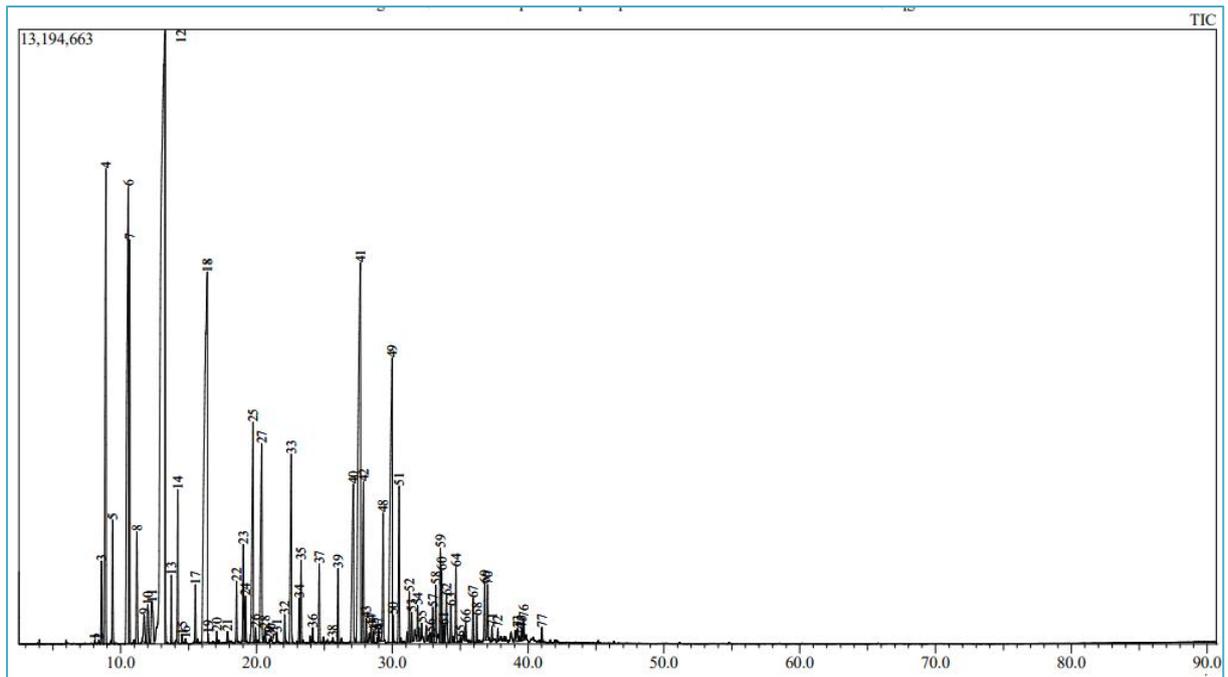


Profil de chromatogramme obtenu par CG / SM  
de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*.

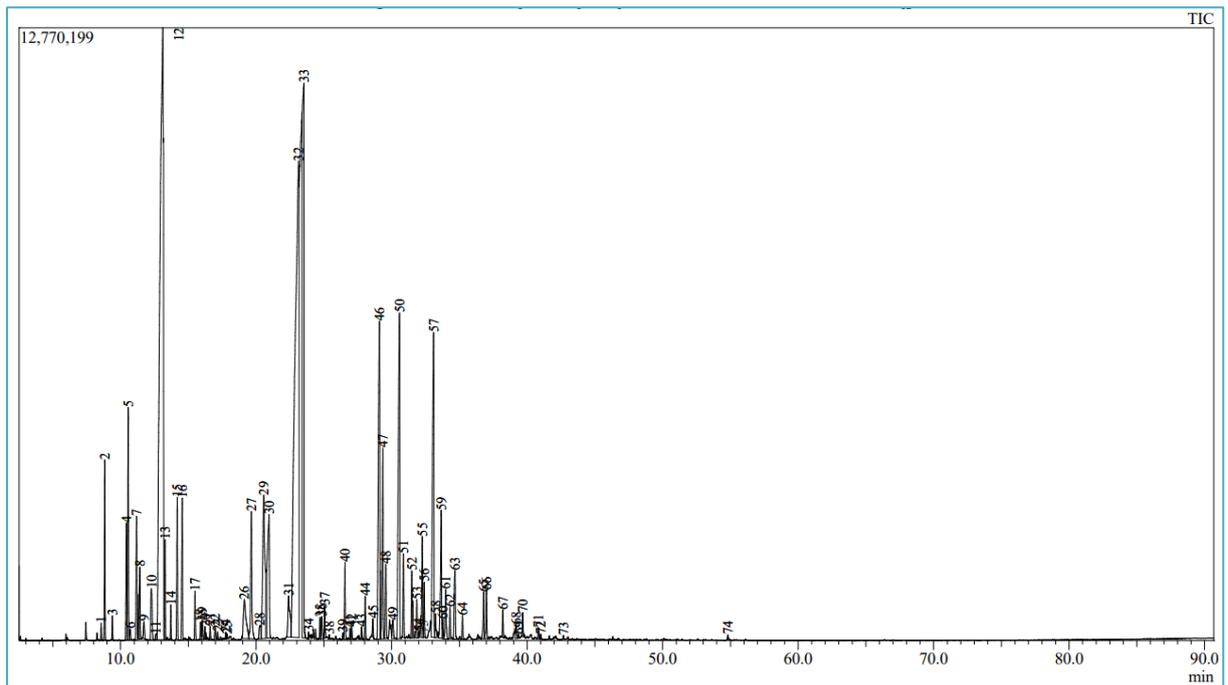


Profil de chromatogramme obtenu par CG / SM  
de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*.

## ANNEXES



Profil de chromatogramme obtenu par CG / SM  
de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*.



Profil de chromatogramme obtenu par CG / SM  
de l'huile essentielle de *Mentha spicata*.

## ANNEXES

### Annexe 06 : La composition des milieux de culture (g/l)

**Tableau 19: Composition de milieu de culture Baird Parker**

Composant	Pour 1 litre
Peptone (pancréatique et caséine)	10,0 g
Extrait de levure	5,0 g
Glycine	12,0 g
Extrait de viande	5,0 g
Chlorure de lithium (LiCl)	5,0 g
Agar	20,0 g
Pyruvate de sodium	10,0 g
Tellurite de potassium (ajout après autoclavage)	1 mL d'une solution à 3,5 %
Jaune d'œuf (ajout après autoclavage)	50 mL
Eau distillée	1 000 mL
pH final	7,2 ± 0,2

**Tableau 20: Composition de gélose PCA (Plate Count Agar)**

Composant	Pour 1 litre
Extrait de levure	2,5 g
Peptone (caséine hydrolysée)	5,0 g
Agar	15,0 g
Eau distillée	1 000 mL (1 L)
pH final	7,0 ± 0,2

**Tableau 21: Composition de gélose peptone fer (g/L)**

Composant	Pour 1 litre
Peptone	10,0 g
Sulfate de fer (FeSO <sub>4</sub> ) ou citrate de fer ammoniacal	0,5 g
Agar	15,0 g
Eau distillée	1 000 mL (1 L)
pH final	Ajusté à environ 7,0

Supplémenté après autoclavage par L-cystéine 0,6 g/ L.

## ANNEXES

**Tableau 22: Composition de milieu MRS (de Man, Rogosa, Sharpe)**

Composant	Pour 1 litre
<b>Peptone</b>	10,0 g
Extrait de viande	8,0 g
<b>Extrait de levure</b>	4,0 g
<b>Glucose (D-Glucose)</b>	20,0 g
<b>Acétate de sodium</b>	5,0 g
<b>Citrate d'ammonium</b>	2,0 g
<b>Sulfate de magnésium</b>	0,2 g
<b>Sulfate de manganèse</b>	0,05 g
<b>Dihydrogénophosphate de potassium</b>	2,0 g
<b>Tween 80</b>	1,0 g
Agar	15,0 g
Eau distillée	1 000 mL
pH final	6,2 - 6,5

**Tableau 23: Composition de milieu VRBG: Violet Red Bile Glucose Agar**

Composant	Pour 1 litre
Peptone	7,0 g
Extrait de levure	3,0 g
Glucose (Dextrose)	10,0 g
Sels biliaires n°3	1,5 g
Violet de gentiane	0,002 g
Rouge neutre	0,03 g
Chlorure de sodium (NaCl)	5,0 g
Agar	15,0 g
Eau distillée	1 000 mL
pH final	7,4 ± 0,2

**Tableau 24: Composition de milieu PALCAM**

Composant	Pour 1 litre
<b>Peptone</b>	23,0 g
<b>Extrait de levure</b>	5,0 g
<b>Glucose (Dextrose)</b>	1,0 g
<b>Esculine</b>	1,0 g
<b>Citrate de fer ammoniacal</b>	0,5 g
<b>Chlorure de sodium (NaCl)</b>	5,0 g
<b>Phosphate disodique (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)</b>	3,0 g
<b>Polysorbate 80 (Tween 80)</b>	1,0 g
<b>Rouge neutre</b>	0,05 g
<b>Vert de bromocrésol</b>	0,02 g
<b>Agar</b>	15,0 g
<b>Eau distillée</b>	1 000 mL
<b>%MpH final</b>	7,0 ± 0,2

**Tableau 25: Composition de milieu de Bacillus cereus Mossel**

Composant	Pour 1 litre
Peptone	1,0 g
Extrait de levure	2,5 g
Mannitol	10,0 g
Phosphate disodique (Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	2,5 g
Sulfate de magnésium (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0,2 g
Chlorure de sodium (NaCl)	2,0 g
Rouge de phénol	0,025 g
Sulfite de fer ammoniacal	0,1 g
Polymyxine B (ajout après autoclavage)	10 000 UI/L
Jaune d'œuf (ajout après autoclavage)	50 mL
Agar	15,0 g
Eau distillée	1 000 mL
pH final	7,0 ± 0,2

## ANNEXES

**Tableau 26: Composition de gélose CFC (Céphalotine/Fucidine/Cétrimide)**

<b>Composant</b>	<b>Pour 1 litre</b>
Peptone pancréatique de gélatine	16,0 g
Tryptone	10,0 g
Sulfate de potassium	10,0 g
Chlorure de magnésium	1,4 g
Cétrimide	1,00 g
Fusidate de sodium	1,00 g
Céphalotine	5,00 g
Agar agar bactériologique	12,0 g
pH final à 25 °C	7,2 ± 0,2