

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :.....

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie végétale

Thème :

Evaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Piper Nigrum*, *Zingiber officinale* et de *Syzygium aromaticum* contre les principales bactéries responsables des toxi-infections alimentaires

Présenté par:

- BEN SOUCI Racha
- DJOUAD Samah

Devant le jury :

Présidente :	TALHI FAHIMA.	MCB	Centre universitaire Mila
Examinatrice :	DJEBILI SAMAH.	MAB	Centre universitaire Mila
Promotrice :	NOUICHI SIHAM.	MCA	Centre universitaire Mila

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous Tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à Dieu tout puissant de nous avoir donnée le courage, la volonté, la santé et la patience pour terminer ce travail. Nos remerciements vont en particulier et profondément, à notre encadreur de recherche

*Dr. **NOUICHI Siham** pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt et pour sa précieuse aide à la relecture et à la correction de notre mémoire.*

Nous tenons également à remercier les membres de jury constitué de :

*Dr **TALHI Fahima** comme étant présidente et Dr **DJEBILI Samah** comme étant examinatrice, d'avoir accepté d'examiner ce travail. Merci à vous d'avoir pris le temps de lire et d'évaluer ce modeste travail.*

*Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements au **Dr BEN OMRAN Zainab** pour son aide et sa coopération*

On remercie également toute l'équipe pédagogique de Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf- Mila et les intervenants professionnels. Toutes mes salutations à tous mes collègues de la promotion de Master 2024 pour les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

Que toute personne ayant participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail, trouve ici l'expression de mes très vifs remerciements

RACHA et SAMAH

Dédicace

Je dédie ma graduation et ma réussite

*A mon père bien-aimé **Abderrahmane**, que Dieu ait son âme. Nous attendions cette joie ensemble et voilà que je suis diplômé(e) alors que tu es auprès de notre Seigneur, Que Dieu bénisse ton âme et te récompense pour tout ce que tu as fait pour moi.*

À mon paradis sur terre, à celle dont les prières ont été la clé de ma réussite je te dédie mon succès toi, ma chère mère Que Dieu te donne longue vie.

*À ceux qui ont été mon soutien et ma force, mon cher frère **Islam** et ma petite sœur **Oumaïma**.*

*À ma sœur bien-aimée **Ikram**, ma première enseignante celle qui m'a appris mes premières lettres et à qui je dois tout ce succès, que Dieu ait ton âme pure.*

À celui qui m'a offert son temps, en reconnaissance de son aide et en gratitude pour tout ce qu'il a fait, Mon cher mari.

*A mon binôme **Samah** pour son soutien et son dévouement pour ce travail.*

Racha ...

Dédicace

Je dédie ma graduation et ma réussite

*À mes chers parents **Ahmed** et **Salima** , pour leur amour
inconditionnel et leur soutien constant, sans lesquels ce travail
n'aurait pas été possible.*

*A Mes sœurs : **Souad** , **Rawia** , **Sara** et mes frère : **Fouad** , **Adil** pour
votre amour, Votre soutien et votre confiance, Je vous remercie de
tout cœur.*

*A mon binôme **Racha** , qui est partagé avec moi tous les moments de
joie et de bonheur, je vous remercie pour votre amitié et votre
soutient, sans elles ce travail n'aurait pas été accompli.*

*À mes amis **Hadjer** , **Maïssa** , **Norhan** , **Hadjer** , pour leur
compréhension et leur patience durant ces années d'études.*

*A tous mes proches pour leur présence et leur soutien moral . Merci
pour tout, pour vos encouragements et soutien.*

Samah ...

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles de poivre noir (*Piper Nigrum* L.), de gingembre (*Zingiber officinale* L.) et de clou de girofle (*Syzygium aromaticum* L.) sur quatorze souches bactériennes différentes.

Les huiles essentielles ont été extraites par hydrodistillation, avec des rendements de 0,21% pour le poivre noir, 0,10% pour le gingembre et 1,60% pour le clou de girofle. Les résultats montrent que l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum* L.) démontre une forte activité antibactérienne contre diverses souches bactériennes, avec des diamètres d'inhibition significatifs allant jusqu'à 28 mm. Elle est particulièrement efficace contre les bactéries Gram positives comme *Listeria monocytogenes* (28 mm) et *Bacillus cereus* (26 mm), ainsi que contre des bactéries Gram négatives résistantes telles que *Salmonella* Typhimurium (20 mm). En revanche, l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale* L.) et l'huile essentielle de poivre noir (*Piper Nigrum* L.) n'ont démontré aucune activité antibactérienne, avec des diamètres d'inhibition de 6 à 8 mm pour chacune. Les tests en micro-atmosphère ont montré que les huiles de poivre noir et de gingembre étaient inefficaces contre les bactéries Gram positif et Gram négatif. Seule l'huile essentielle de girofle a montré une inhibition notable, principalement contre *Salmonella* Richmond de Gram négatif, avec une zone d'inhibition mesurant 16 mm. Selon le rapport CMB/CMI, l'huile essentielle de clou de girofle démontre une forte action bactéricide contre la plupart des souches étudiées, ainsi qu'un effet bactériostatique spécifique sur *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Enteritidis et *Salmonella* Richmond.

Ainsi, en raison de ces résultats prometteurs, l'utilisation de ces substances naturelles pourrait être recommandée comme agents antibactériens dans l'industrie pharmaceutique, en tant qu'alternative thérapeutique.

Mots clés : Huile essentielle , poivre noir , gingembre, girofle, bactéries, activité antibactérienne.

Abstract

This study aims to evaluate the antibacterial activity of essential oils from black pepper (*Piper Nigrum* L.), ginger (*Zingiber officinale* L.), and clove (*Syzygium aromaticum* L.) against fourteen different bacterial strains.

Essential oils were extracted by hydrodistillation, yielding 0.21% for black pepper, 0.10% for ginger, and 1.60% for clove. The results indicate that clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L.) exhibited strong antibacterial activity against various bacterial strains, with significant inhibition zones measuring up to 28 mm. It was particularly effective against Gram positive bacteria such as *Listeria monocytogenes* (28 mm) and *Bacillus cereus* (26 mm), as well as resistant Gram negative bacteria like *Salmonella* Typhimurium (20 mm). In contrast, ginger essential oil (*Zingiber officinale* L.) and black pepper essential oil (*Piper Nigrum* L.) showed no antibacterial activity, with inhibition zones ranging from 6 to 8 mm for each. Gas phase tests demonstrated that black pepper and ginger oils were ineffective against both Gram positive and Gram negative bacteria. Only clove essential oil showed notable inhibition, primarily against Gram negative *Salmonella* Richmond, with an inhibition zone measuring 16 mm. According to the MIC/MBC report, clove essential oil exhibited strong bactericidal action against most studied strains, along with specific bacteriostatic effects on *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Enteritidis, and *Salmonella* Richmond.

Therefore, based on these promising results, the use of these natural substances could be recommended as antibacterial agents in the pharmaceutical industry, as a therapeutic alternative.

Keywords: Essential oil , black pepper , ginger , clove , bacteria antibacterial activity

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا للزيوت الأساسية للفلل الأسود (*Piper Nigrum L.*) والزنجبيل (*Zingiber officinale L.*) والقرنفل (*Syzygium aromaticum L.*) على أربعة عشر سلالة بكتيرية مختلفة غالبًا ما تكون متسببة في التسممات الغذائية.

تم استخراج الزيوت الأساسية بواسطة التقطير البخار، بنسبة عائد تبلغ 0.21% للفلل الأسود، و0.10% للزنجبيل، و1.60% للقرنفل. أظهرت النتائج أن زيت القرنفل (*Syzygium aromaticum L.*) يظهر نشاطًا مضادًا قويًا ضد مجموعة متنوعة من السلالات البكتيرية، مع أقطار تثبيط تصل إلى 28 مم. وهو فعال بشكل خاص ضد البكتيريا الإيجابية الغرام مثل *Listeria monocytogenes* (28مم) و *Bacillus cereus* (26مم)، بالإضافة إلى بكتيريا الغرام السالب المقاومة مثل *Salmonella Typhimurium* (20مم). على النقيض من ذلك، لم تظهر زيوت الزنجبيل (*Zingiber officinale L.*) والفلل الأسود (*Piper Nigrum L.*) أي نشاط مضاد للبكتيريا، مع أقطار تثبيط تتراوح بين 6 و 8 مم لكل منهما. كما أظهرت اختبارات القسم الغازي للزيوت أن زيتي الفلل الأسود والزنجبيل كانا غير فعالين ضد البكتيريا الغرام الإيجابي والغرام السالب. فقط زيت القرنفل الأساسي أظهر تثبيطًا ملحوظًا، بشكل رئيسي ضد *Salmonella Richmond* من فئة الغرام السالب، بقطر تثبيط يبلغ 16 مم. وفقًا لتقرير CMB/CMI، يظهر زيت القرنفل الأساسي تأثيرًا قويًا كمضاد للبكتيريا ضد معظم السلالات المدروسة، بالإضافة إلى تأثير مثبت للبكتيريا معين على *Salmonella Enteritidis* و *Listeria monocytogenes* و *Salmonella Richmond*

وبناءً على هذه النتائج الواعدة، قد يوصى باستخدام بعض المواد الطبيعية كمواد حافظة في الصناعة الغذائية، كبديل للمنتجات الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: الزيت الأساسي، الفلل الأسود، الزنجبيل، القرنفل، النشاط المضاد للبكتيريا، سلامة الغذاء.

Tables des matières

Remerciement	
Dédicaces	
Résumé	
Tables des matières	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Synthèse bibliographique

chapitre I : Étude botanique des plantes étudiées

I.1. Définition des plantes aromatiques	5
I.2. Généralités sur les espèces étudiées	5
I.2.1. Le gingembre (<i>Zingiber officinale Roscoe</i>)	5
I.2.1.1. Généralités	5
I.2.1.2. Origine	5
I.2.1.3. Classification botanique	6
I.2.1.4. Description botanique	6
I.2.1.5. Composition chimique	8
I.2.1.6. Domaines d'utilisation	10
I.2.1.7. Propriétés biologiques	11
I.2.1.8. Toxicité	12
I.2.2. Le poivre noir (<i>Piper Nigrum</i>)	12
I.2.2.1. Généralités	12
I.2.2.2. Origine	13
I.2.2.3. Classification botanique	13
I.2.2.4. Description botanique	13

I.2.2.5. Composition chimique	16
I.2.2.6. Domaines d'utilisation.....	18
I.2.2.7. Propriétés biologiques.....	19
I.2.2.8. Toxicité	20
I.2.3. Le Giroflier (<i>Syzygium aromaticum</i>)	21
I.2.3.1. Généralités	21
I.2.3.2. Origine	21
I.2.3.3. Classification botanique.....	21
I.2.3.4. Description botanique	21
I.2.3.5. Composition chimique	23
I.2.3.6. Domaines d'utilisation.....	24
I.2.3.7. Propriétés biologiques.....	25
I.2.3.8. Toxicité	26

chapitre II : Généralités sur les huiles essentielles

II.1. Historique	28
II.2. Définition des huiles essentielles (HEs)	28
II.3. Les caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles	28
II.4. Localisation des huiles essentielles dans les plantes	29
II.5. Composition chimique des huiles essentielles.....	29
II.6. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	31
II.7. Activités biologiques des huiles essentielles	34
II.8. Principaux domaines d'application des huiles essentielles	36
II.9. Risques potentiels liés à l'utilisation incorrecte des huiles essentielles.....	38
II.9.1. Toxicité des huiles essentielles.....	38
II.9.2. Autres toxicités organiques.....	39
II.10. Précautions d'emploi des huiles essentielles.....	39

Partie pratique

chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Objectif de l'étude	42
----------------------------------	----

III.2. Enquête ethnobotanique	42
III.3. Evaluation de l'activité antibactérienne des HEs du gingembre, du poivre noir et du girofle	43
III.3.1. Matériel utilisé.....	43
III.3.1.1. Matériel végétal.....	43
III.3.1.2. Matériel bactériologique	44
III.3.1.3. Matériel et équipement du laboratoire	45
III.3.2. Méthodes	45
III.3.2.1. Extraction des huiles essentielles	45
III.3.2.2. Calcul du rendement de l'extraction	46
III.3.2.3. Tests de l'activité antibactérienne	46
chapitre IV : Résultats et Discussion	
IV. Résultats et discussion	53
IV.1. Résultats de l'enquête ethnobotanique.....	53
IV.2. Résultats de l'étude expérimentale sur les huiles essentielles	71
IV.2.1. Rendement en huiles essentielles	71
IV.2.2. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles extraites	72
IV.3. Résultats de l'étude de l'activité antibactérienne des trois huiles essentielles testées	73
IV.3.1. Résultats de l'aromatogramme.....	73
IV.3.2. Résultats du test de micro-Atmosphère	77
IV.3.3. Détermination des concentrations minimales inhibitrice CMI et bactéricide CMB	79
Conclusion et perspectives.....	84
Références bibliographiques	88
Annexes.....	109

Liste des abréviations

- **%** : Pour cent.
- **AFNOR** : Association Française de Normalisation.
- **AML**: Amoxicilline.
- **ATCC**: American Type Culture Collection.
- **BMH** : bouillon Mueller Hinton.
- **C** : Degré Celsius.
- **C15H24** : sesquiterpène.
- **CMB** : Concentration minimale bactéricide.
- **CMI** : Concentration minimale inhibitrice.
- **COX-2** : Cyclooxygenase-2.
- **Da** : dalton.
- **DMSO** : Diméthylsulfoxyde.
- **DPPH** : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.
- **FDA** : Food and Drug Administration (Administration des denrées alimentaires et des médicaments).
- **FRAP**: Ferric Reducing Ability of Plasma.
- **g**: gramme.
- **GRAS**: Generally Recognized As Safe (Généralement reconnu comme sûr).
- **h** : heure.
- **HE** : Huile essentielle.
- **HEg** : Huile essentielle du gingembre.
- **HEgif** : Huile essentielle du girofle.
- **HEpn** : Huile essentielle du poivre noir.
- **hs-CRP** : high-sensitivity C-reactive protein (protéine C-réactive à haute sensibilité).
- **I** : intermédiaire.
- **J.C** : Jésus-Christ.
- **kcal** : kilocalorie.
- **kg** : kilogramme.
- **LC-MS** : Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (chromatographie liquide-spectrométrie de masse).
- **MDA** : Malondialdéhyde.
- **mg** : milligramme.

Liste des abréviations

- **mm** : millimètre.
- **mm**: millilitre.
- **Na₂SO₄** : sulfate de sodium.
- **ND** : Non défini.
- **NOR** : Norfloxacine.
- **pH** : potentiel hydrogène.
- **R** : Résistante.
- **RD** : Rifampicine.
- **RESALA** : Recherche en sciences appliquées à l'alimentation.
- **S** : sensible.
- **TLC** : Thin Layer Chromatography (chromatographie sur couche mince).
- **TNF**: Tumor Necrosis Factor (facteur de nécrose tumorale).
- **UFC** : Unité Formant Colonie.
- **uL** : microlitre.
- **UV** : ultra-violet.
- **µg** : microgramme.

Liste des tableaux

Tableau I: Classification botanique du gingembre	6
Tableau II: Principaux composants du gingembre	9
Tableau III: Classification botanique de l'espèce	13
Tableau IV: Classification scientifique de plante <i>Syzygium aromaticum</i>	21
Tableau V: Souches bactériennes originaires de sources alimentaires	44
Tableau VI: Souches bactériennes de références ATCC	45
Tableau VII: Interprétation des résultats selon les diamètres des zones d'inhibition	48
Tableau VIII: Taux de rendement en HE des trois plantes étudiées	71
Tableau IX: Propriétés organoleptiques des HE du poivre noir et du gingembre et girofle ..	73
Tableau X: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées par aromatoigramme	74
Tableau XI: Valeurs des diamètres d'inhibition par la phase volatile des souches testées	78
Tableau XII: Valeurs des CMI et CMB de l'HE de girofle	79

Liste des figures

Figure 1 : Rhizome frais de Zingiber officinale Roscoe	7
Figure 2 : Plante de <i>zingiber officinale</i> « le gingembre »	8
Figure 3 : La Morphologie de la plante de poivre noir (<i>Piper Nigrum L</i>)	15
Figure 4 : La structure chimique de la pipérine, de l'isopipérine, de la chavicine et de l'isochavisine est représentée	17
Figure 5 : Allure d'un giroflier	22
Figure 6 : Boutons floraux et fleurs de giroflier	23
Figure 7 : structure chimique de quelques monoterpènes	30
Figure 8 : structure d'un sesquiterpènes	30
Figure 9 : structure de la vanilline	31
Figure 10 : Schéma du montage de l'extraction par hydrodistillation	32
Figure 11 : Entraînement à la vapeur d'eau assisté par microondes	32
Figure 12 : Schéma du montage de l'extraction par CO2 supercritique	33
Figure 13 : Les graines de poivre noir (<i>Piper Nigrum L</i>)	43
Figure 14 : Les rhizomes de gingembre (<i>Zingiber officinale L</i>)	43
Figure 15 : Les clous de girofle (<i>Syzygium aromaticum L</i>)	44
Figure 16 : Extraction de l'huile essentielle par l'appareil de type Clevenger (photo réelle). 46	
Figure 17 : Illustration de la méthode des aromagrammes sur boîte de Pétri	49
Figure 18 : Etapes de la méthode de l'aromatogramme	49
Figure 19 : Illustration de la méthode de micro-atmosphère	50
Figure 20 : Adresses des femme enquêtées.....	53
Figure 21 : Répartition de la population selon le milieu de vie	54
Figure 22 : Répartition des personnes enquêtées en fonction des classes d'âge.....	54
Figure 23 : Répartition des personnes enquêtées en fonction de leurs niveaux d'études	55
Figure 24 : Répartition des personnes enquêtées en fonction de leurs professions	55

Liste des figures

Figure 25 : Taux d'intérêt pour les huiles essentielles.....	56
Figure 26 : Taux de connaissance des huiles essentielles	56
Figure 27 : Taux d'utilisation des huiles essentielles	57
Figure 28 : Raisons d'utilisation des huiles essentielles.....	57
Figure 29 : Fréquence de cuisson.....	58
Figure 30 : Utilisation de poivre noir dans la préparation des plats.....	58
Figure 31 : Plats dans lesquels le poivre noir est ajouté	59
Figure 32 : Utilisation de gingembre dans la préparation des plats	59
Figure 33 : Plats dans lesquels le gingembre est ajouté	60
Figure 34 : Utilisation de girofle dans la préparation des plats.....	60
Figure 35 : Plats dans lesquels le girofle est ajouté	61
Figure 36 : Niveaux de croyance aux bienfaits du poivre noir	62
Figure 37 : Niveaux de croyance aux bienfaits du gingembre.....	62
Figure 38 : Niveaux de croyance aux bienfaits du girofle	62
Figure 39 : Les bienfaits potentiels de poivre noir.....	63
Figure 40 : Les bienfaits potentiels de gingembre	64
Figure 41 : Les bienfaits potentiels de girofle.....	64
Figure 42 : Niveau de connaissance des femmes sur les huiles essentielles d'épices	65
Figure 43 : Utilisation de l'huile essentielle du poivre noir.....	65
Figure 44 : Utilisation d'huile essentielle du gingembre	66
Figure 45 : Modes d'utilisation d'huile essentielle de gingembre	66
Figure 46 : Utilisation de l'huile essentielle du girofle.....	67
Figure 47 : Modes d'utilisation d'huile essentielle de girofle.....	67
Figure 48 : Effets résultant de l'utilisation de l'huile essentielle de gingembre	68
Figure 49 : Effets résultant de l'utilisation de l'huile essentielle de girofle.....	68

Liste des figures

Figure 50 : Niveau de connaissance de la possibilité d'utiliser les huiles essentielles comme conservateur naturel	69
Figure 51 : Attitudes des femmes enquêtées face à l'utilisation culinaire des HEs	70
Figure 52 : Préoccupation concernant l'utilisation des HEs des trois épices étudiés	71
Figure 53 : Activité antibactérienne de HE de gingembre sur <i>Salmonella</i> Enteritidis	77
Figure 54 : Résultat de la méthode microatmosphère de l'HE de gingembre sur <i>Salmonella</i> Enteritidis	79
Figure 55 : Evaluation des CMI de l'HE du girofle vis-à-vis les différentes souches bactériennes testées	81
Figure 56 : Evaluation des CMB de l'HE du girofle vis-à-vis les différentes souches bactériennes testées	81

Introduction

Introduction

Les plantes aromatiques ont longtemps été appréciées pour leurs nombreuses propriétés bénéfiques, allant de l'amélioration des saveurs culinaires à leurs vertus médicinales. Ces plantes occupent une place essentielle dans les traditions culinaires, la médecine traditionnelle et l'industrie alimentaire mondiale. Leur importance ne cesse de croître avec l'accent accru mis sur la santé, la nutrition et la durabilité et jouent un rôle multifonctionnel et essentiel dans notre société. Leur utilisation va bien au-delà de la simple amélioration des saveurs alimentaires ; elles sont cruciales pour la sécurité alimentaire en offrant des alternatives naturelles aux additifs chimiques et aux conservateurs.

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés volatils produits par le métabolisme secondaire des plantes (**Oussou et al., 2010**). Elles proviennent de différentes parties des plantes telles que les feuilles, graines, bourgeons, fleurs, brindilles, écorces, bois, racines, tiges, fruits, ainsi que des gommés s'écoulant des troncs d'arbres (**Burt, 2004**). Les méthodes d'extraction sont nombreuses et incluent l'hydrodistillation et l'expression à froid, notamment pour les agrumes (**Burt, 2004**). Ces huiles possèdent diverses activités biologiques, notamment antivirale, anti-inflammatoire, antioxydante et antibactérienne (**Oussou et al., 2010**). Actuellement, de nombreuses études explorent l'utilisation de ces composés bioactifs comme alternatives aux multiples substances synthétiques.

D'autre part, les toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) constituent une préoccupation majeure pour la santé publique à l'échelle mondiale. Parmi les bactéries pathogènes souvent impliquées dans les TIAC, on peut citer *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, et *Escherichia coli* O175 :H7. De plus, la résistance croissante de ces bactéries pathogènes aux antibiotiques suscite un intérêt accru pour les plantes aromatiques, qui peuvent fournir des traitements plus naturels, efficaces et moins agressifs pour l'organisme (**Dorman et al., 2000**).

Dans ce contexte, Cette étude se concentre sur l'analyse de l'activité antibactérienne des huiles essentielles du girofle, du poivre noir et du gingembre vis-à-vis des principales bactéries pathogènes impliquées dans les toxi-infections alimentaires. La recherche bibliographique et les études expérimentales ont été utilisées pour atteindre cet objectif.

Dans la première partie de ce travail, l'accent sera mis sur les plantes aromatiques et leur importance pour la sécurité alimentaire. Une recherche documentée sera réalisée sur les huiles essentielles, incluant leurs méthodes d'extraction. De plus, nous examinerons leurs propriétés

bénéfiques pour la santé, telles que leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires, et antimicrobiens, en précisant notamment leur activité antibactérienne.

Dans une deuxième partie, une enquête ethnobotanique sur les plantes aromatiques et les huiles essentielles extraites de ces plantes, en se focalisant sur le girofle, le poivre noir et le gingembre va être menée grâce à un questionnaire.

Ensuite, des expériences en laboratoire seront réalisées pour évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles de poivre noir, de gingembre et de girofle sur des souches bactériennes provenant de sources alimentaires.

Enfin, les résultats vont être analysés et interprétés en se basant sur des recherches antérieures concernant les plantes étudiées.

Synthèse bibliographique

*chapitre I : Étude botanique
des plantes étudiées*

I.1. Définition des plantes aromatiques

Les plantes aromatiques constituent un groupe de végétaux exploités en cuisine et en phytothérapie en raison de leurs arômes caractéristiques et de la possibilité d'obtenir leurs huiles essentielles par extraction. Elles sont cultivées en fonction des besoins pour leurs feuilles, tiges, bulbes, racines, graines, fleurs, écorce, etc. **(Bremness, 2005)**.

Elles jouent un rôle essentiel dans de nombreux domaines, tels que la cuisine, la médecine traditionnelle, la parfumerie, la cosmétique et même l'aromathérapie. Les plantes aromatiques sont souvent appréciées pour leur capacité à apporter des saveurs uniques aux plats, à soulager divers maux et à créer des expériences sensorielles agréables. Leur histoire remonte à des milliers d'années, et leur utilisation continue d'évoluer et de se développer.

I.2. Généralités sur les espèces étudiées

I.2.1. Le gingembre (*Zingiber officinale Roscoe*)

I.2.1.1. Généralités

Le gingembre (*Zingiber officinale Roscoe*) est une épice et une plante médicinale de la famille des *Zingiberaceae* (Zingibéracées) et du genre *Zingiber*. Il est largement apprécié pour ses propriétés aromatiques et médicinales. La partie la plus utilisée de la plante est son rhizome, une tige souterraine charnue et noueuse. Le rhizome possède une saveur piquante, chaude et légèrement sucrée, ce qui en fait un ingrédient populaire dans la cuisine de nombreuses cultures **(Syafitri et al., 2018 ; Zhang et al., 2022)**

I.2.1.2. Origine

Zingiber officinale s'adapte à se développer dans les zones tropicales et subtropicales. Il se développe bien dans des conditions chaudes et humides à partir d'une altitude supérieure à 1500 m au-dessus du niveau de la mer **(Dhanik et al., 2017 ; Syafitri et al., 2018)**.

Zingiber officinale est cultivé en Chine, au Népal, aux États-Unis, en Inde, au Bangladesh, à Taïwan, en Jamaïque, au Nigéria et dans d'autres régions du monde. L'Inde est le plus grand producteur de *Zingiber officinale* dans le monde **(Syafitri et al., 2018)**.

Le gingembre préfère les climats avec des températures de 19 à 28 °C et une humidité de 70 à 90 % **(Sharifi-Rad et al., 2017)**, avec des conditions pluviales et irriguées optimales. Pour une culture réussie, le gingembre requiert des précipitations modérées au moment du semis jusqu'à la germination des rhizomes **(Dhanik et al., 2017)**.

Le gingembre prospère dans les sols bien drainés comme le loam sableux, le loam argileux, le loam rouge ou le loam latéritique. Un terreau friable avec un pH de 6,0 à 6,5, riche en humus, est optimal pour sa production (Sharifi-Rad *et al.*, 2017).

I.2.1.3. Classification botanique

Tableau I: Classification botanique du gingembre (Faivre *et al.*, 2006 ; Gigon, 2012)

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Zingiberidae
Ordre	Zingiberales
Famille	Zingiberaceae
Sous-famille	Zingiberaceae
Genre	<i>Zingiber</i>
Espèce	<i>Officinale</i>
Nom binomial	<i>Zingiber officinale Roscoe</i>

I.2.1.4. Description botanique

- **Caractéristiques organoleptiques**

Le rhizome de gingembre dégage une odeur aromatique et pénétrante, et son goût est épicé - sucré, piquant, chaud et mordant (Rehman *et al.*, 2011 ; Syafitri *et al.*, 2018).

- **Caractères morphologiques**

Le gingembre, une plante herbacée tropicale vivace à roseaux, peut atteindre trois mètres de hauteur (Faivre *et al.*, 2006). Il possède des tiges dressées et des racines tubéreuses,

désignées sous le nom de patte ou de main. Il est cultivé comme plante annuelle et récolté lorsqu'il est mature ou jeune (Ho Dinh Hay, 2015 ; Institut Européen des Substances Végétales, 2015).

a. Racine « rhizome »

Les rhizomes se présentent sous forme d'organes irréguliers, allongés avec des ramifications tubéreuses et noueuses (**Figure 01**). Ils varient en taille et en couleur selon les variétés (sable doré, jaune, blanc ou rouge) (Zhang *et al.*, 2022). La récolte des rhizomes de gingembre intervient 8 à 10 mois après que les parties aériennes de la plante aient fané. Cependant, ils peuvent être récoltés plus tôt, pour un usage frais ou confit (5 à 6 mois) (Randriamamonjy, 2004).



Figure 1 : Rhizom frais de *Zingiber officinale Roscoe* (Yagmur et Caru, 2015)

b. Tige et feuilles

Des feuilles persistantes, lancéolées, bisériées, longues et odorantes se développent sur les rameaux. Elles mesurent de 15 à 20 cm de long sur 2 à 3 cm de large. Deux types de tiges existent : les hautes tiges, stériles, sont destinées à l'assimilation et portent des feuilles alternes, longues et étroites, tandis que les basses tiges sont dédiées à la reproduction et ne portent pas de feuilles (Braga *et al.*, 2006).

c. Fleurs et fruit

Les fleurs sont rarement fertiles ; si les fruits parviennent à maturité, ils se composent d'une petite capsule à trois loges contenant plusieurs graines anguleuses de couleur noire (**Figure 02**) (Ross, 2010). La floraison a lieu entre les mois d'août et novembre. Les fruits sont des capsules en trois parties contenant des graines noires (Faivre *et al.*, 2006).



Figure 2 : Plante de *zingiber officinale* « le gingembre » (Bruneton, 2009)

I.2.1.5. Composition chimique

La composition chimique du rhizome de gingembre inclut des glucides (amidon), des lipides, des protéines, des fibres, des vitamines et des minéraux. Cependant, il contient également, surtout, des polyphénols et des composés volatils (**Tableau II**). Ces nutriments et ces composés actifs en font un aliment extrêmement riche et bénéfique pour la santé (**Pinson, 2012**). La perception gustative et sensorielle du gingembre est générée par deux groupes distincts de produits chimiques (**Jolad et al., 2004 ; Singh et al., 2008**) :

- **Les huiles volatiles :** L'odeur caractéristique du gingembre provient de la présence d'huile essentielle, un liquide jaune verdâtre composé principalement de zingibérène, curcumène et β -sesquiphellandrène.

- **Composés piquants non volatils :** La saveur piquante est due à l'oléorésine de gingembre, principalement aux gingerols, dont le composé le plus abondant est le 6-gingerol.

Tableau II: Principaux composants du gingembre (Faivre *et al.*, 2006)

Huiles volatiles		
Huile essentielle	Sesquiterpènes	<p>Monoterpènes : α-pinène, camphène, β-pinène, myrcène, limonène, phellandrène</p> <p>Monoterpenols: linalol, citronellol</p> <p>Monoterpénals: Citronnellal, myrténal, phellandral, néral, géraniol</p> <p>Sesquiterpenes: dont zingibérène, β-sesquiphellandrène, germacrène B, germacrène D, β-curcumène, α-curcumène</p>
	Alcools sesquiterpéniques	Géraniol, néral, citral, chavicol, esters acétique et caprylique, gingérol-6, α -curcumène.
	Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques	Toluène, Alcools aliphatiques (butanol heptanol), Alcool cuminique, Aldehydes aliphatiques (butanol, pentanol), Cétones aliphatiques (acétoneheptanone méthyl heptanone)
Composés piquants non volatiles		
Oléorésine	Diarylheptanoïdes	<p>Gingerol, shogaol, zingérone, gingédiol, paradols. Ces composés ont une chaîne latérale de longueur variable de 7 à 16 carbones. Certains composés ne sont pas présents dans la drogue fraîche: les shogaols sont produits par la déshydratation des gingerols et seraient plus irritants et plus acres.</p> <p>Une autre catégorie de molécules ne se retrouve pas dans la drogue fraîche, ce sont les gingérones A et B arylheptanoïdes se développent au cours de la dessiccation.</p>

I.2.1.6. Domaines d'utilisation

- **Usage thérapeutique**

Le gingembre est traditionnellement employé pour traiter les troubles gastro-intestinaux tels que les problèmes d'estomac, les troubles digestifs, les spasmes intestinaux, les diarrhées et les nausées. Il est apprécié pour ses propriétés stimulantes de la digestion et ses effets apaisants sur le système digestif (**Azam et al., 2014**). En outre, le gingembre est une épice aux multiples vertus thérapeutiques prisée pour ses propriétés cardiovasculaires, ses composés actifs tels que le gingérol et le shogaol ont la capacité de réduire la pression artérielle et la fréquence cardiaque (**Ravindran et al., 2005**). Le gingembre, fonctionne également comme un stimulant, il réduit le taux de cholestérol, de triglycérides sanguins, d'acides gras et de phospholipides (**Al-Amin et al., 2006**).

- **Usage cosmétique**

Des études ont mis en évidence ses effets sur les rides et l'élasticité de la peau, de plus, il possède des propriétés tonifiantes et favorise la croissance des cheveux (**Gurib-Fakim, 2006**).

- **Usage alimentaire**

La fonctionnalité du gingembre pour les aliments s'étend à diverses utilisations, notamment dans la transformation des aliments comme le marinage du gingembre, la fabrication de biscuits, de bonbons, de pain d'épices, de bière (gingembre ale), de poudre et de sirop (**Vasala, 2012**). Les bonbons au gingembre ont été observés pour réduire les taux de vomissements chez les femmes enceintes au premier trimestre (**Anita et al., 2020**). Ajoutant de l'extrait de gingembre aux boissons blanches au curcuma, on note une augmentation de l'activité antioxydante, attribuable aux composés phénoliques du gingembre qui participent à l'élimination des radicaux libres et des radicaux (**Lobo et al., 2010 ; Indiarito et al., 2019**). L'oléorésine de gingembre, surpassant la vitamine E, contient du 6-gingerol, du shogaol et du zingerone (**Sueishi et al., 2019**). Les composés gingerol et shogaol du gingembre apportent une saveur épicée, tandis que le zingibérène procure une sensation de chaleur (**Panjaitan et al., 2012 ; Semwal et al., 2015**). L'utilisation de poudre de gingembre dans les boulettes de viande transformées altère la saveur et le goût, principalement grâce aux composés zingibérol et zingibérène qui contribuent à l'odeur parfumée (**Tritanti et Pranita, 2019**). Cependant, la poudre de gingembre n'affecte pas la couleur et la souplesse des boulettes de viande. Les enzymes protéolytiques influencent également la couleur des boulettes de viande au

gingembre (Thompson *et al.*, 1973), ainsi que la concentration en myoglobine et hémoglobine du bétail, et les réactions de brunissement non enzymatique entre les protéines de viande et la réduction du sucre (Tiven *et al.*, 2007). En outre, l'épaisseur des boulettes de viande est influencée par le liant utilisé, le type ou la partie de viande (Kusnadi *et al.*, 2012). Les composés phénoliques du gingembre, tels que le gingerol et le shogaol, peuvent prévenir le rancissement de l'huile d'arachide grâce à leurs cycles benzéniques et à leurs groupes hydroxyle agissant comme des antioxydants primaires (O'Brien, 2004 ; Indiarito et Rezaharsanto, 2020).

I.2.1.7. Propriétés biologiques

- **Propriétés antibactériennes**

Une étude menée par (Mohd Yusof, 2016) a mis en évidence les propriétés antibactériennes du gingembre, notamment contre les bactéries Gram-positives comme *Staphylococcus aureus* et *Streptococcus pyogenes*. Des tests supplémentaires ont démontré que l'extrait d'éthanol de gingembre combat *Escherichia coli* et *Salmonella Typhi*. Le gingembre a également manifesté des effets antibactériens contre *Enterococcus faecalis*. Une autre étude confirme ces propriétés antibactériennes, montrant que le gingembre réduit efficacement *Pseudomonas aeruginosa*, une bactérie capable de former des biofilms dans le corps humain (Jung *et al.*, 2018). Un extrait d'éthanol de racine de gingembre a présenté une activité antibactérienne supérieure à celle d'un extrait d'éthanol de feuille de gingembre et à celle d'un extrait aqueux de racine de gingembre. De plus, l'activité antibactérienne du gingembre dépend du volume et de la méthode d'extraction (Kumar *et al.*, 2014).

- **Propriétés antioxydantes**

Après extraction à l'alcool, le gingembre présente une forte activité antioxydante, surpassant même l'extrait de curcuma (Citronberg *et al.*, 2013 ; Akinyemi *et al.*, 2015). Il est plus efficace dans la capture des radicaux DPPH et affiche une activité FRAP élevée (Suk *et al.*, 2017). Le gingembre est également capable d'éliminer les radicaux libres dans les cellules cancéreuses et améliore le transport du sucre ainsi que la tolérance au glucose (Walstab *et al.*, 2013).

- **Propriétés anti-inflammatoires**

Le gingembre a des propriétés anti-inflammatoires en réduisant la production de TNF et d'IL-1 (Schadich *et al.*, 2016). Il a également été démontré qu'il réduit le TNF et le hs-CRP

chez les diabétiques. Chez les patients tuberculeux, l'extrait de gingembre combiné à une thérapie antituberculeuse réduit les niveaux de TNF, de peroxydation lipidique et de MDA (Yeh *et al.*, 2014).

- **Propriétés neuroprotectrices**

Les composés polyphénoliques du gingembre ont été prouvés être neuroprotecteurs en réduisant les effets neurotoxiques et en limitant le développement de l'amyloïde (Poprac *et al.*, 2017). Le gingembre bénéficie des caractéristiques histologiques du cerveau grâce à ses propriétés antioxydantes. Il protège également les cerveaux diabétiques en réduisant le stress oxydatif, l'inflammation et l'apoptose. Le gingembre joue un rôle dans la régulation de l'inflammation, la neurogenèse et le renforcement des mécanismes de défense oxydatifs du cerveau (Song *et al.*, 2013).

- **Propriétés anticancéreuses**

Dans des études sur les animaux, le 6-gingérol et le 6-shogaol présents dans le gingembre ont montré un potentiel anticancéreux. Ils réduisent l'expression de la COX-2, une enzyme impliquée dans la croissance tumorale (Tysnes *et al.*, 2017). Par ailleurs, l'extrait de gingembre améliore les effets anticancéreux de la 5-fluorouracile, un médicament couramment utilisé dans le traitement du cancer colorectal (Zhang *et al.*, 2019).

I.2.1.8. Toxicité

Le gingembre est généralement considéré comme une plante médicinale sûre, sans toxicité notable (Rong *et al.*, 2009). Selon les études, il est réputé sans danger, avec une DL50 de 6,284 g/kg d'oléorésines (Ravindran *et al.*, 2005). Néanmoins, il est recommandé de prendre les précautions habituelles lors de l'utilisation de l'huile essentielle de gingembre, qui contient des composés aromatiques concentrés tels que les carbures monos et sesquiterpéniques (Gigon, 2012).

I.2.2. Le poivre noir (*Piper Nigrum*)

I.2.2.1. Généralités

Le poivre noir se présente comme une plante médicinale aux propriétés digestives recommandées en cas de troubles digestifs, généralement consommé tel quel en grains de poivre noir ou sous forme d'huile essentielle. Notons que de nos jours, le poivre noir est plus couramment utilisé en cuisine (sous forme de condiments) qu'en phytothérapie (Gruffat, 2012).

I.2.2.2. Origine

Cette plante provient des ghâts occidentaux de l'Inde du sud, cependant, certains rapports indiquent sa culture en Malaisie, Indonésie, Brésil, Sri-Lanka et aux Antilles. Les poivres noirs prospèrent mieux dans les climats tropicaux humides à des températures ambiantes comprises entre 25 et 30 °C dans un sol profond et bien drainé avec une bonne capacité à retenir l'eau. Le sol doit être enrichi en matière. La multiplication se fait à partir de graines sèches ou de boutures ou de stolons de plantes établies (Vinay *et al.*, 2017).

I.2.2.3. Classification botanique

Le poivre noir (*Piper Nigrum L*) fait partie de la famille des pipéracées dans l'ordre des pipérales. Il fait partie du genre *Piper* composé de plus de 1000 espèces. (Tableau III) (Kumar *et al.*, 2017).

Tableau III: Classification botanique de l'espèce (*Piper Nigrum L*)

Règne	Plantae
Sous-règne	Viridaeplantae
Division	Streptophyta
Classe	Equisetopsida
Sous-classe	Magnoliidae
Ordre	Piperales
Famille	Piperaceae
Sous- famille	Piperoideae
Genre	<i>Piper L</i>
Espèce	<i>Nigrum</i>
Non binomial	<i>Piper nigrum L</i>

I.2.2.4. Description botanique

La plante de poivre se développe en une vigne ligneuse vivace, atteignant une hauteur de 4 mètres (13 pieds) sur des arbres secondaires, des poteaux ou des treillages (Hussain *et al.*, 2017). Elle grimpe ligneusement et peut atteindre au moins 10 mètres de hauteur ou de longueur. La tige centrale produit de nombreuses branches latérales pour former une colonne touffue une fois établie. Les plantes développent des racines adventives, de petites racines qui se fixent aux supports environnants.

a. Feuille

La plante produit des grappes ou des épis de 50 à 150 fleurs et arbore des feuilles simples et alternes de formes variées (**Figure 03**). Les feuilles sont vert foncé et lustrées sur le dessus, tandis qu'elles sont plus claires en dessous, disposées de manière alternative sur les tiges. Elles mesurent de 5 à 20 cm de long et de 3 à 6 cm de large. Selon (**Shango et al., 2021**), la lame des feuilles (17,9 cm), le pétiole des feuilles (2,8 cm) et les feuilles les plus larges (12,9 cm) proviennent tous de Tanzanie. Les lamelles des feuilles peuvent présenter différentes formes : cordées, oblongues, ovales-lancéolées ou ovales-elliptiques.

b. Tige

Les tiges de poivre noir peuvent s'étendre jusqu'à 10 mètres de long et mesurer 6 cm de diamètre. La tige se révèle être herbacée, délicate et verte (**Figure 03**). La feuille, la fleur et le fruit se trouvent tous sur la tige. On retrouve trois types de tiges sur les plants de poivre : les tiges primaires, les pousses creuses et les tiges productrices de fruits. De 20 à 30 épis fructifères peuvent être soutenus par un seul tronc (**Thapa et al., 2017**).

c. Inflorescence

Les fleurs sont minuscules et apparaissent sur des épis pendulaires de 4 à 8 cm de long au niveau des nœuds des feuilles, pouvant atteindre une longueur de 7 à 15 cm (**Figure 03**). La floraison provient du nœud principal des feuilles opposées. Il s'agit d'un épi qui se développe à partir des nœuds opposés aux feuilles. La fleur est sessile, bractéate, achlamydeuse et unisexuelle/bisexuelle. Les morphologies de l'épi sont filiformes, cylindriques, globuleuses et coniques. L'épi mesure de 3 à 15 pouces de long et compte environ 70 petites fleurs (jusqu'à 100 fleurs). Les fleurs vert jaunâtre sont disposées en spirale autour de l'épine. Les épis sont des tiges portant des fleurs qui donnent naissance à des grappes de fleurs. De 50 à 150 fleurs blanches à jaune-vert sont produites par épi (**Mathew et al., 2006**).

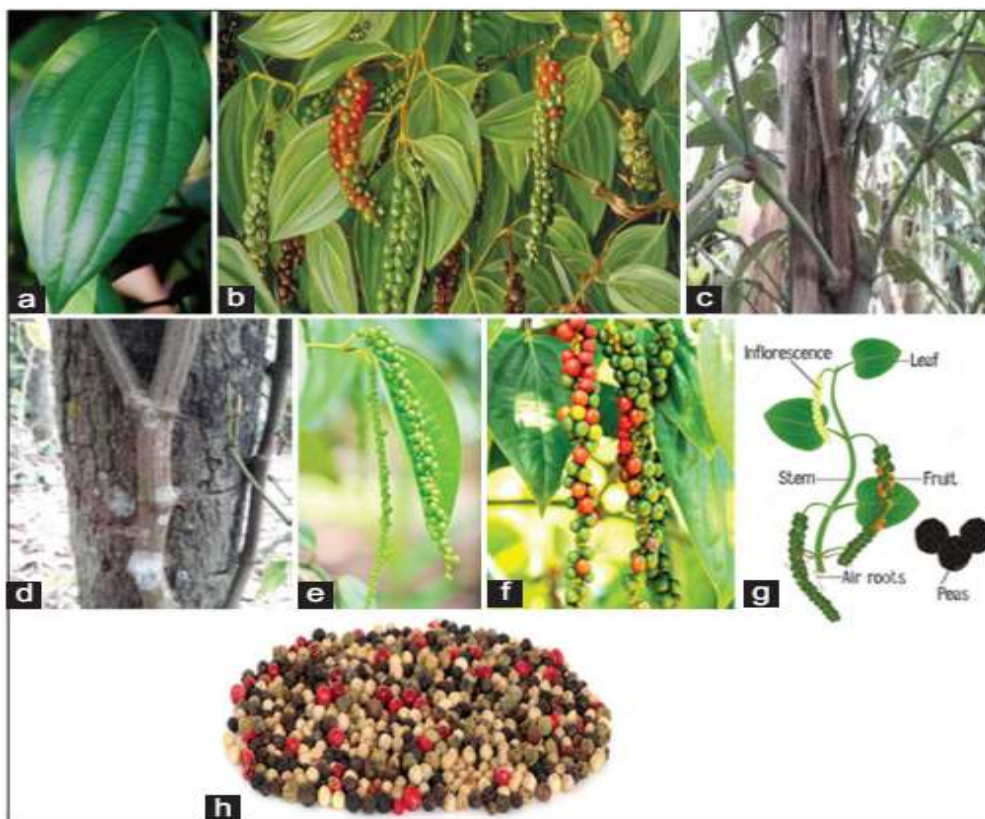
d. Fruit

Les grains de poivre, des drupes d'un diamètre de 6 mm, représentent les fruits les plus répandus. Au commencement, les fruits paraissent verts, mais à mesure qu'ils mûrissent, ils prennent une teinte rouge rougeâtre (**Figure 03**). Chaque épi engendre 50 à 60 fruits. Les baies se classifient en trois catégories : Grandes (5,8 mm), moyennes (>4,26 mm) et petites (<4,26 mm) (4,8 mm). La quantité de baies par épi est répertoriée comme peu (moins de 25),

moyen (25-50) ou beaucoup (plus de 50) (Shango *et al.*, 2021). On les cueille lorsqu'elles sont encore vertes et immatures ; le poivre noir est cueilli lorsque le fruit est totalement mûr mais toujours vert et brillant ; et le poivre blanc est cueilli lorsqu'il est légèrement plus mûr (Tang *et al.*, 2017). La saveur est épicée, piquante et très forte, tandis que l'odeur est intense et aromatique.

e. Racines

Deux types de racines se trouvent sur les plantes de vigne de poivre : les racines principales et secondaires. Les racines adventives se fixent aux nœuds et se développent à chaque nœud, créant des racines (**Figure 03**). La température optimale du sol pour favoriser la croissance des racines est de (26–28°C). Pour le poivre noir, une pluviométrie annuelle bien répartie de 125 à 200 cm est préférable. La surface foliaire des coupes influe sur le développement des racines du poivre noir (Leakey et Coutts, 1989).



a) Feuille ; (b) tige de la plante de poivre noir avec les fruits à différents stades de maturation ; (c) forme dressée de la branche latérale ; (d) forme ronde de la tige ; (e) inflorescence ; (f) fruit mature ; (g) parties de la plante de poivre noir (h) fruit préparé.

Figure 3 : La Morphologie de la plante de poivre noir (*Piper Nigrum* L) (Khan *et al.*, 2021).

I.2.2.5. Composition chimique

Le poivre noir renferme des saponines, des flavonoïdes, des huiles essentielles, du chavicine, des résines, de l'albumine, de l'amidon, de la pipérine, de la pipérylline, de la pipéroline, de la pipéranine, du dihydrocarvéol, du karyofillène oxyde, du cariptone, du tranpiocarrol et de l'huile de poivre (**Cholis, 2010**).

- Saponine

Selon les recherches effectuées sur l'analyse phytochimique du (*Piper nigrum* L), en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu, les résultats indiquent une présence de saponines de 0,06% dans l'extrait de (*Piper nigrum* L) (**Ali et al., 2018**). Les tanins et les saponines dans l'extrait de (*Piper nigrum* L) agissent pour protéger contre l'hypercholestérolémie et ont des propriétés antibiotiques. (**Okwu, 2001**).

- Flavonoïdes

Une étude a mis en évidence des résultats de dépistage phytochimique, révélant que le simplicia de (*Piper nigrum* L). était positif (+) pour les flavonoïdes. Une autre recherche a expliqué que l'extrait de fruit de (*Piper nigrum* L) contient des composés flavonoïdes en étudiant l'extrait de méthanol de (*Piper nigrum* L). à l'aide de la méthode spectrophotométrique UV. La concentration totale de flavonoïdes dans l'extrait de méthanol de fruit de *Piper nigrum* L. était de $(1,728 \pm 0,049)$ mg / g et $(1,087 \pm 0,002)$ µg/g. (**Ahmad et al., 2015**).

- Huiles essentielles

Une étude a décrit l'isolation de l'huile essentielle du poivre noir (*Piper nigrum* L.) en utilisant 2,2 kg de poivre noir moulu, distillé à la vapeur pendant ± 6 heures conformément au temps optimal de distillation d'huile essentielle selon la norme SNI 0005 : 2013 sur le poivre noir. L'huile essentielle de poivre noir obtenue a été traitée avec du Na₂SO₄ anhydre pour éliminer l'eau. Le volume d'huile essentielle résultant était de 28 mL avec un rendement de 1,27% (**Anggraini et al., 2018**).

Une autre étude a isolé des huiles essentielles en utilisant 200 grammes de grains de poivre frais, de fruits de poivre séchés et de feuilles de poivre distillés avec de l'eau pendant 5 heures dans un dispositif de Clevenger. Les rendements en huiles essentielles obtenues étaient

de 2,2% à partir de fruits de poivre frais, de 2% à partir de fruits de poivre séchés et de 1,2% à partir de feuilles de poivre (Sasidharan et Menon, 2010).

- Chavicine

Quatre structures isomériques sont possédées par la pipérine, à savoir la pipérine (isomère trans-trans), l'isopipérine (isomère cis-trans), la chavicine (isomère cis-cis) et l'isochavicine (isomère trans-cis) (Figure 04).

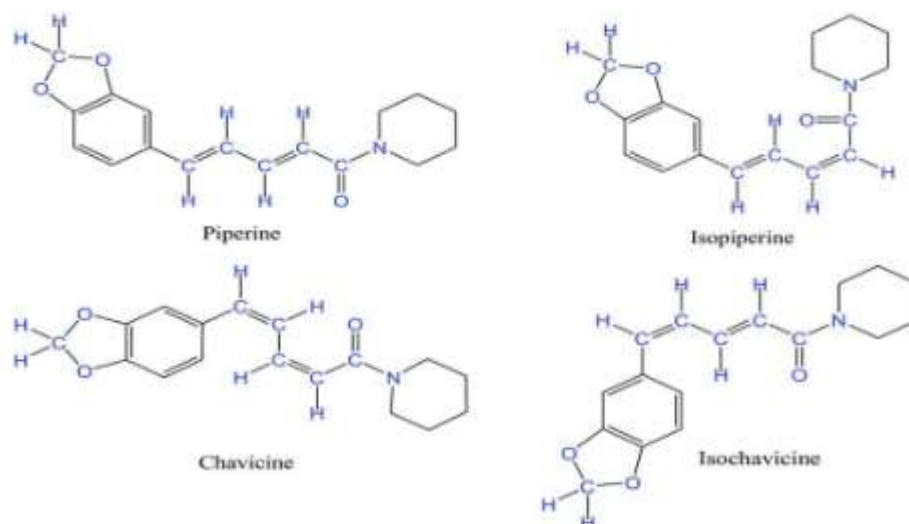


Figure 4 : La structure chimique de la pipérine, de l'isopipérine, de la chavicine et de l'isochavicine est représentée (Ternes et Krause, 2002).

- Pipérine

La pipérine possède quatre structures isomériques, à savoir la pipérine (isomère trans-trans), l'isopipérine (isomère cis-trans), la chavicine (isomère cis-cis) et l'isochavicine (isomère trans-cis). La pipérine (pipéridinoyl-pipéridine) est une substance chaude et azotée présente dans le poivre noir. Le poivre renferme le principal ingrédient actif, à savoir la pipérine, qui appartient au groupe des pyridines et est utilisée comme ingrédient dans les médicaments contre la toux, les antipaludiques et les anti-inflammatoires. La teneur en pipérine du poivre est en moyenne de 6 %, mais si elle est sous forme d'oléorésine, elle contient de la pipérine jusqu'à 25,74 % à 48,32 % (Dang et Phan, 2014). L'alcaloïde pipérine isolé du poivre agit comme un antimicrobien, un antioxydant, un anti-inflammatoire, un anticancéreux, un antidépresseur (relaxant) et un analgésique (Vasavirama et Upender, 2014). Les tests réalisés montrent qu'il y a une teneur en pipérine dans les extraits de fruit de poivre noir et de poivre blanc (*Piper nigrum* L.) obtenus avec diverses concentrations d'éthanol en utilisant la méthode de densitométrie TLC. La détermination des niveaux de

pipérine dans la fraction alcaloïde du fruit de poivre noir en utilisant la méthode de densitométrie TLC montre que la plus forte teneur en pipérine se trouve dans la fraction alcaloïde du fruit de poivre noir extrait à l'éthanol à 60 %, soit 52,81 %. Selon les chercheurs, plus la concentration d'éthanol est élevée, plus la teneur en pipérine dans l'extrait de fruit de poivre noir est faible (**Hikmayanti et al., 2016**). Une autre étude a montré la détermination des niveaux de pipérine dans l'extrait de fruit de poivre noir (*Piper nigrum* L.) en utilisant la méthode de spectrométrie de masse en tandem avec chromatographie liquide (LC-MS/MS). La teneur en pipérine de l'extrait d'éthanol à 96 % de poivre noir dans cette étude, obtenue par la méthode LC-MS, est de 26 % (**Febriyanti et al., 2016**). Singh et al. (2004) ont décrit un extrait de poivre noir contenant de la pipérine (33,53 %) suivi de la pipéroleine B (13,73 %) (**Singh et al., 2004**). Outre la pipérine, aucun des isomères n'a de goût épicé. Cependant, la pipéranine, la pipérettine, la pipérylline A, la pipéroleine B et la pipérine dans l'extrait de poivre noir donnent un goût légèrement acidulé (**Gorgani et al., 2017**).

I.2.2.6. Domaines d'utilisation

L'huile de poivre noir peut servir à contribuer au traitement du soulagement de la douleur, du rhumatisme, des frissons, de la grippe, du rhume, de l'épuisement, des douleurs musculaires, du froid physique et émotionnel, des fièvres, comme tonique nerveux et pour favoriser la circulation. De plus, elle favorise le flux de salive, stimule l'appétit, encourage la péristaltique, tonifie les muscles du côlon et agit comme un tonique digestif général (**Parthasarathy et al., 2008**).

- **Usage culinaire**

Le poivre représente l'une des épices les plus polyvalentes, employée dans presque toutes les cuisines salées. Il est utilisé mondialement en tant que condiment de table et à chaque étape du processus de cuisson. Les grains du poivre noir sont caractérisés par un arôme distinctif, terrestre et riche, ainsi qu'un goût très piquant qui se reflète dans son arôme. En plus de fournir son propre assaisonnement spécial, le poivre a la capacité d'accentuer les autres saveurs. Il entre également dans la composition de certains plats sucrés, le poivre noir est incorporé aux gâteaux de fruits et aux pains d'épices, et peut être saupoudré légèrement sur des fruits frais. En revanche, le poivre blanc, plus doux que le poivre noir, possède une saveur distincte. Il convient aux sauces au lait ou à la crème pâle, où des taches de poivre noir pourraient altérer l'esthétique. Quant aux grains du poivre vert, ils sont plus légers que le

poivre noir, mais tout aussi épicés. Cependant, ils ne dégagent pas un arôme aussi prononcé ni n'ont un goût aussi complexe que les autres variétés du poivre (Sallie et Lesley, 1999).

- **Utilisation médicinale**

Le poivre noir possède de la pipérine, qui manifeste diverses caractéristiques pharmaceutiques supplémentaires, y compris des propriétés anticoloniques, antimicrobiennes, anticancéreuses, anti-obésité, antivirales, antiparasitaires, antibactériennes, antifongiques, antitumorales, anti-asthmatiques, antiapoptotiques, antispasmodiques, antiplaquettaires, antithyroïdiennes, antidépressives, antimutagènes, antipyrétiques, antispermatozoogéniques, antihypertensives, anti-métastatiques, pesticides et insecticides (Suvama et Rahamam, 2019 ; Lailiyah *et al.*, 2021).

I.2.2.7. Propriétés biologiques

- **Propriétés antibactériennes**

Karsha et Laxmi (Karsha, 2010) ont signalé que le poivre noir (*Piper nigrum* L.) avait une activité antibactérienne, en se concentrant spécialement sur son mode d'action sur les bactéries. Ils ont observé une excellente inhibition de la croissance des bactéries à Gram positif comme *Staphylococcus aureus*, suivi de *Bacillus cereus* et *Streptococcus faecalis*. Ces bactéries à Gram positif ont été plus sensibles aux extraits en raison de l'action antibactérienne, qui semble résulter en une perte de contrôle sur la perméabilité de la membrane cellulaire (O'Bryan *et al.*, 2015).

Khan et Siddiqui (Khan et Siddiqui, 2007) ont évalué le potentiel antibactérien de la décoction aqueuse de *Piper nigrum* L., *Laurus nobilis* L., *Pimpinella anisum* L. et *Coriandrum sativum* L. contre différents isolats bactériens de la cavité buccale de deux cents volontaires. Le poivre noir (décoction aqueuse) a démontré la plus forte activité antibactérienne, comparable à la décoction aqueuse de *Laurus nobilis* et *Pimpinella anisum* à la concentration de 10 µl/disque. Dans une étude récente, Palkumar *et al* (Palkumar *et al.*, 2014) ont montré que des nano-particules synthétisées à partir de la feuille et de la tige de *Piper nigrum* présentaient une activité antibactérienne efficace contre les agents pathogènes végétaux. Ces résultats suggèrent le potentiel de ces nano-particules dans la lutte contre les infections des plantes. En outre, Ganesh *et al.* (Ganesh *et al.*, 2014) ont étudié l'analyse photochimique et l'activité antibactérienne de *Piper nigrum* contre les bactéries pathogènes humaines et ont remarqué que la présence d'alcaloïdes, de tanins, de flavonoïdes, de cardiaques et de

glycosides cardiaques démontre des propriétés antibactériennes contre *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhi*, *Escherichia coli* et *Proteus* sp.

- **Propriétés antioxydantes**

Le poivre noir est une source importante d'antioxydants, qui peuvent prévenir les dommages oxydatifs causés par les radicaux libres (Young *et al.*, 2001 ; Kasote *et al.*, 2015). Des études ont montré que la pipérine, un composé présente dans le poivre noir, possède des effets protecteurs contre les dommages oxydatifs (Damanhour *et al.*, 2014). Le *Piper nigrum* présente également des propriétés antioxydantes attribuées à la présence de flavonoïdes et de composés phénoliques, et il a été observé qu'il réduit la peroxydation lipidique et neutralise les radicaux libres (Shanmugapriya *et al.*, 2012 ; Chelak *et al.*, 2015 ; Gaziano *et al.*, 2016). Ces propriétés antioxydantes ont également été étudiées dans le contexte de la maladie d'Alzheimer et ont montré des effets bénéfiques sur la mémoire et une réduction du stress oxydatif (Mahady *et al.*, 2012).

- **Propriétés anti-inflammatoires**

Dans une étude, la pipérine présente dans le poivre noir a démontré un effet anti-inflammatoire, tout comme les extraits de fruits hexane et éthanoliques (Ying *et al.*, 2013 ; Tasleem *et al.*, 2014) De plus, l'huile essentielle de poivre noir a montré une inhibition significative de l'œdème de la patte, comparable à celle du médicament standard Diclofenac, dans le contexte de l'inflammation chronique induite par la formaline (Jeena *et al.*, 2014).

- **Propriétés anticancéreuses**

Le *Piper nigrum* présente des propriétés inhibitrices de la formation de tumeurs et une activité anticancéreuse en modifiant la peroxydation lipidique, en stimulant les enzymes de protection antioxydante et en interférant avec les mécanismes de signalisation entre les cellules cancéreuses (Ahmad *et al.*, 2012 ; Gaziano *et al.*, 2016). La pipérine, présente dans le poivre noir, a démontré des effets anticancéreux en induisant l'apoptose, en perturbant l'expression de certains facteurs et en diminuant la progression tumorale chez diverses lignées cellulaires cancéreuses, y compris les cellules de la prostate (Dayem *et al.*, 2016).

I.2.2.8. Toxicité

Le poivre noir ne manifeste aucune toxicité lorsqu'il est consommé de manière modérée. Le FDA classe le poivre noir comme un assaisonnement, un épice ou un aromatisant sans danger (Wright, 2020).

I.2.3. Le Giroflier (*Syzygium aromaticum*)

I.2.3.1. Généralités

Syzygium aromaticum a été utilisé comme épice depuis longtemps par les guérisseurs traditionnels ayurvédiques de l'Inde pour traiter les affections respiratoires et digestives (Aggarwal et Shishodia, 2006 ; Saeed et Tariq, 2008). Elle est aussi considérée comme une source riche en composés antimicrobiens bioactifs (Menghani *et al.*, 2014).

I.2.3.2. Origine

Originaire de Madagascar, la Réunion, les Antilles, le giroflier est également cultivé en Indonésie et en Tanzanie. Les clous de girofle américains réputent une qualité inférieure en raison de leur plus faible teneur en huile essentielle. (Alice, 2011)

I.2.3.3. Classification botanique

Tableau IV: Classification scientifique de plante *Syzygium aromaticum* (Sophie, 2015).

Règne	Plantae
Classe	Angiosperme
Sous-classe	Tiporées
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtales
Genre	<i>Syzygium</i>
Espèce	<i>Syzygium aromaticum</i>

I.2.3.4. Description botanique

- **Allure générale**

Ce végétal atteint une hauteur de 6 à 12 mètres et peut survivre jusqu'à 150 ans. Il se présente sous la forme d'un arbre à feuillage persistant, avec une silhouette pyramidale ou conique, et son tronc principal est incliné (**Figure 05**). Actuellement, il prend souvent l'apparence d'un arbuste car il subit fréquemment des tailles pour faciliter la récolte (Sophie, 2015).



Figure 5 : Allure d'un giroflier (Sophie, 2015)

- **Les racines**

Les racines du clou de girofle, bien qu'elles puissent atteindre une profondeur de 2 à 3 mètres, ont tendance à se développer en surface, à une profondeur d'environ 60 cm. Cela rend l'arbre vulnérable aux cyclones en raison de son ancrage peu profond dans le sol. Malgré sa culture dans des régions locales, son origine dans les îles Moluques, qui ne sont pas exposées aux cyclones, souligne le risque qu'il représente. Les racines superficielles forment un réseau qui absorbe facilement les éléments minéraux du sol (**Anonyme 01**).

- **Le tronc**

L'arbre du clou de girofle a une allure oblique et sa base est divisée en deux parties, ce qui lui donne sa forme en pyramide caractéristique. Les rameaux et l'écorce de l'arbre sont lisses et de couleur gris clair. Le bois des branches est dur mais fragile, ce qui entraîne une division buissonnante lorsque les branches sont coupées ou cassées. Chaque rameau porte un bouquet de 4 à 10 feuilles avec un bourgeon terminal à son extrémité (**Anonyme 01**).

- **Les feuilles**

Les feuilles du clou de girofle persistent sur le rameau et sont coriaces. Elles sont disposées de manière opposée et ont une forme ovale à lancéolée, mesurant environ 10 cm de long et 3 cm de large. Le pétiole qui les soutient mesure entre 0,5 et 1 cm de long. Les nervures sont nombreuses mais peu visibles, et la marge de la feuille est lisse (**Sophie, 2015**).

- **L'inflorescence**

Le "clou de girofle" est la fleur du gingembre à l'état de bouton non épanoui, comprenant le calice et la corolle. La fleur se compose d'une cyme avec 3 à 20 fleurs blanches hautement aromatiques. Les pétales, au nombre de 4, sont caducs et se détachent lors de

l'ouverture de la fleur. Les sépales forment un calice gamosépale à quatre divisions triangulaires, initialement verts puis rouges. Le réceptacle floral est presque cylindrique, soutenant un ovaire infère biloculaire avec une vingtaine d'ovules dans chaque loge. Le style est court et se divise en un stigmate bilobé. L'androcée est composé de nombreuses étamines regroupées en 4 faisceaux (**Figure 06**) (**Boullard, 2001**).



Figure 6 : Boutons floraux et fleurs de giroflier (**Sophie, 2015**)

- **Les fruits**

Dans le commerce, on appelle les fruits « antofles ». Ils prennent la forme de petites baies elliptiques, mesurant environ 2,5 cm de long sur 1 cm de large. De couleur généralement pourpre renfermant une ou deux graines à enveloppe rouge (**Heywood, 1996 ; Faucon, 2012**)

I.2.3.5. Composition chimique

Syzygium aromaticum constitue l'une des principales sources végétales de composés phénoliques, comme les acides hydroxybenzoïques, les flavonoïdes, les propènes hydroxiphényliques, les acides hydroxycinamiques et l'eugénol (C₁₀H₁₂O₂), qui représente la principale molécule bioactive, ainsi que des dérivés de l'acide gallique tels que les tanins. De plus, le clou de girofle renferme des flavonoïdes, et des acides phénoliques. Les boutons floraux du clou de girofle renferment jusqu'à 18 % d'huile essentielle composée d'eugénol, d'acétate d'eugénol, (**Batiha et al., 2020**) de caryophyllène, de salicylate de méthyle, de pinène, de vanilline (**Mbaveng et Kuete, 2017**) et d'humulène (**Jirovetz et al., 2006**). L'huile de clou de girofle est incolore ou jaune pâle, avec une saveur et un goût de clou de girofle distincts. La composition de l'huile de girofle dépend principalement de plusieurs facteurs tels que les prétraitements, la variété, les conditions agro-écologiques et les procédés d'extraction (**Batiha et al., 2020**).

I.2.3.6. Domaines d'utilisation

- **Domaine médical**

Les fleurs du giroflier ont des propriétés antiseptiques et anesthésiques utilisées depuis longtemps pour soulager les douleurs dentaires. Le clou de girofle était également utilisé dans le khôl et l'huile essentielle de clou de girofle est réputée pour ses propriétés anti-inflammatoires et antibactériennes, pouvant être bénéfique dans le traitement d'infections urinaires, digestives et cutanées (**Ghagra, 2019**).

- **Domaine culinaire**

Le clou de girofle est inclus dans la liste des aliments généralement considérés comme sûrs (GRAS). Il sert à parfumer les plats et les boissons, notamment le riz, le masala et les soupes. Sur le plan nutritionnel, une portion de 100 g de clous de girofle contient 66 g de glucides, 6 g de protéines, 13 g de matières grasses et fournit 274 calories, ainsi que des vitamines A et B6, du fer, du calcium, du magnésium et du phosphore. En plus de son goût piquant et astringent, le clou de girofle favorise la circulation, la digestion et le métabolisme, tout en soulageant les troubles stomacaux (**Dey et Mukherjee, 2021**). La version moulue de cette épice renferme entre 5,40 et 6,86 g d'eau, 323 kcal d'énergie alimentaire, 5,98 g de protéines, 20,06 g de matières grasses, 61,22 g de glucides, 5,88 g de cendres, ainsi que des quantités de calcium, de phosphore, de sodium, de potassium, de fer, de thiamine, de riboflavine, de niacine, d'acide ascorbique et de vitamine A (**Tainter et Grenis, 1993 ; Dey et Mukherjee, 2021**). Par ailleurs, le clou de girofle est utilisé dans certaines formulations alimentaires pour améliorer leurs propriétés nutritionnelles, conservatrices et biologiques. Des recherches ont montré que l'ajout de clou de girofle, de piment de la Jamaïque et d'autres épices à des gâteaux enrichis en seigle-sarrasin peut augmenter leur teneur phénolique, leur capacité antioxydante, leurs propriétés de brunissement et leur acceptabilité globale (**Przygodzka et al., 2015**). De plus, (**Schlieck et al., 2021**) l'utilisation d'un mélange d'huiles essentielles de clou de girofle, de romarin et d'origan, ainsi que de vitamine E, pour remplacer les antioxydants chimiques dans l'alimentation des chiens a considérablement amélioré la qualité alimentaire et la santé des animaux. Dans une autre étude, le clou de girofle a été comparé au gingembre et à la citronnelle comme arômes pour des gâteaux, et il s'est avéré que le gâteau épicé au clou de girofle était préféré pour sa texture, son goût et ses nutriments (**Forlemu et Amadou, 2021**). Enfin, le clou de girofle est utilisé dans une variété de plats et de produits, tels que les garnitures, les tisanes, les soupes, les produits à base de

viande, les biscuits, les pâtisseries, les sandwiches, les cornichons, les puddings, les chewing-gums, les fruits épicés, les chocolats, les boissons gazeuses et les bonbons (**Hussain et al., 2017**).

- **Domaine cosmétique**

Le clou de girofle est utilisé pour parfumer l'air sous forme de « pomme d'ambre », où les clous de girofle sont insérés dans une orange pour diffuser l'odeur riche en phénol, comme l'eugénol (**Ghagra, 2019**).

I.2.3.7. Propriétés biologiques

- **Activité antibactérienne**

Le clou de girofle contient entre 9 % et 15 % d'acétate d'eugénol, reconnu pour ses propriétés antibactériennes (**Rakotoatimanana et al., 1999**). Les solutions à forte concentration en eugénol exercent une action bactéricide grâce aux groupements phénoliques (**Dobler et al., 2020**). L'eugénol provoque la lyse bactérienne, en particulier chez les bactéries à Gram négatif, en interagissant avec la membrane cellulaire et en perturbant la structure des acides gras, des phospholipides et la synthèse du matériel génétique. Les terpènes agissent de manière similaire en ciblant la membrane cellulaire, entraînant un gonflement cellulaire et une inhibition des enzymes respiratoires (**Bouacida, 2021**).

- **Activité antioxydantes**

Les antioxydants jouent un rôle crucial en capturant les radicaux libres et en inhibant les processus d'oxydation, ce qui peut prévenir la diminution de la défense antioxydante enzymatique et retarder l'oxydation par des mécanismes directs et indirects (**Nasar et al., 2009**).

- **Activité anti-inflammatoire et analgésique**

L'eugénol présente des propriétés anti-inflammatoires et analgésiques en modifiant la réaction inflammatoire, en agissant sur les récepteurs cellulaires et nerveux, et en éliminant les germes pathogènes, ce qui conduit à une diminution de la douleur (**Bouacida, 2021**).

- **Activité anti-cancéreuse**

L'huile essentielle de clous de girofle contenant de l'eugénol a démontré des propriétés anti-prolifératives et anti-métastatiques contre les cellules cancéreuses du sein, augmentant l'expression des gènes associés à l'apoptose (**Zheng et al., 1992**). De plus, une combinaison

d'eugénol et de 5-fluorouracile a montré une activité cytotoxique induisant l'apoptose des cellules HeLa (**Diniz do Nascimento *et al.*, 2020**).

I.2.3.8. Toxicité

La consommation excessive de clou de girofle peut être toxique et déconseillée pendant la grossesse. Elle peut causer des irritations gastro-intestinales et des symptômes tels que nausées, vomissements, diarrhées et saignements digestifs sévères (**Dernani *et al.*, 2018**).

*chapitre II : Généralités sur
les huiles essentielles*

II.1. Historique

Les premières traces de fabrication et d'utilisation des huiles essentielles remontent à l'an 3000 avant J.C. Ces substances semblent donc avoir accompagné l'évolution de la civilisation humaine depuis ses débuts (**Besombes, 2008**). Les anciens Égyptiens pratiquaient l'embaumement en utilisant des mélanges d'huiles aromatiques à base de cèdre et de basilic, démontrant leur connaissance avancée des plantes aromatiques (**Lardry et Haberkorn, 2007**). Les Grecs et les Romains ont également exploité les matières premières végétales, y compris les huiles essentielles, dans différents domaines tels que la parfumerie, la médecine, les rituels religieux, les coutumes païennes et l'alimentation (**Besombes, 2008**). Ces substances ont été utilisées depuis des millénaires dans différentes cultures à travers le monde pour leurs propriétés thérapeutiques puissantes (**Zhiri et Baudoux, 2005**). La technique de distillation a été développée en Orient il y a plus de 2000 ans et a été perfectionnée par les Arabes au IXe siècle, notamment à des fins médicales. Ibn Sina, également connu sous le nom d'Avicenne, a grandement contribué à la diffusion des huiles essentielles aux Xe et XIe siècles grâce à ses travaux, notamment sur le chamazulène des camomilles (**Jouault et Nancy, 2012**).

II.2. Définition des huiles essentielles (HEs)

L'Association Française de Normalisation (AFNOR, Edition 2000) (**Afnor, 2000**) définit les huiles essentielles comme des produits pouvant être obtenus soit à partir de matières premières naturelles par distillation à l'eau ou à la vapeur d'eau, soit à partir de fruits de Citrus par des procédés mécaniques, et qui sont séparés de la phase aqueuse par des procédés physiques. Ces huiles essentielles sont en réalité des mélanges complexes de métabolites secondaires volatils, isolés soit par hydrodistillation soit par expression mécanique (**Kalemba et Kunicka, 2003**).

II.3. Les caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles

Les HEs constituent un groupe très homogène (**Bruenton, 1993**). Les principales caractéristiques sont les suivantes :

✓ Elles se présentent sous forme liquide à température ambiante.

Elles ne possèdent pas la texture grasse et onctueuse des huiles fixes et ne sont pas sujettes au rancissement

✓ Elles sont volatiles et très rarement colorées.

✓ Les huiles essentielles à forte teneur en monoterpènes ont une faible densité.

- ✓ Leur indice de réfraction varie principalement en fonction de la teneur en monoterpènes et en dérivés oxygénés. Une teneur élevée en monoterpènes entraîne un indice élevé, tandis qu'une teneur élevée en dérivés oxygénés produit l'effet inverse.
- ✓ Elles se dissolvent dans les alcools à titre alcoométrique élevé ainsi que dans la plupart des solvants organiques, mais elles sont peu solubles dans l'eau.
- ✓ Elles possèdent un pouvoir rotatoire du fait qu'elles sont principalement composées de composés asymétriques.
- ✓ Elles sont très altérables, sensibles à l'oxydation et ont tendance à se polymériser, entraînant la formation de produits résineux. Il est donc recommandé de les conserver à l'abri de la lumière et de l'humidité (**Zabeirou et Hachichou, 2005**).

II.4. Localisation des huiles essentielles dans les plantes

Les huiles essentielles sont présentes dans différentes parties des plantes aromatiques. Les fleurs, les boutons floraux et les bractées renferment ces huiles, par exemple dans l'oranger, la rose, la lavande et le clou de girofle. Les feuilles de plantes telles que l'eucalyptus, le basilic, la menthe, le thym, le laurier, la sarriette, la sauge, les aiguilles de pin et de sapin contiennent également des huiles essentielles. Les organes souterrains tels que les racines et les rhizomes, comme le vétiver, l'angélique, le gingembre et l'acore, ainsi que les fruits tels que le fenouil, l'anis et les épicarpes des agrumes, renferment également ces huiles. Les graines, comme celles de la noix de muscade, ainsi que le bois et les écorces, tels que la cannelle, le santal et le bois de rose, contiennent également des huiles essentielles. Ces huiles sont stockées dans des structures cellulaires spécialisées, telles que les cellules à huile essentielle, les cellules à poils sécréteurs et les canaux sécréteurs. Elles jouent probablement un rôle de défense en protégeant la plante contre les insectes, les champignons et en agissant de manière répulsive contre les animaux herbivores (**Bruneton, 2008**).

II.5. Composition chimique des huiles essentielles

Les HEs se composent de mélanges complexes et variables de constituants appartenant principalement à deux groupes distincts sur le plan biogénétique : les terpénoïdes d'une part, et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane, moins fréquents, d'autre part. Le poids moléculaire de ces composés est généralement faible, compris entre 150 et 200 Da (**Benazouz, 2011**).

- Les terpénoïdes

Les terpénoïdes, en particulier les monoterpènes et les sesquiterpènes qui sont les plus volatils, sont les composés prédominants dans les huiles essentielles. Dotés de fonctions variables en termes d'oxydation, ils sont à l'origine de milliers de substances différentes (Bruneton, 1993).

• Les monoterpènes

Les carbures sont quasiment toujours présents dans les huiles essentielles, se présentant sous des formes acycliques, monocycliques ou bicycliques. Ils peuvent parfois représenter plus de 90 % de la composition de l'huile essentielle, notamment dans celles provenant des agrumes et de la térébenthine (Figure 07) (Wichtl et Anton, 1999).

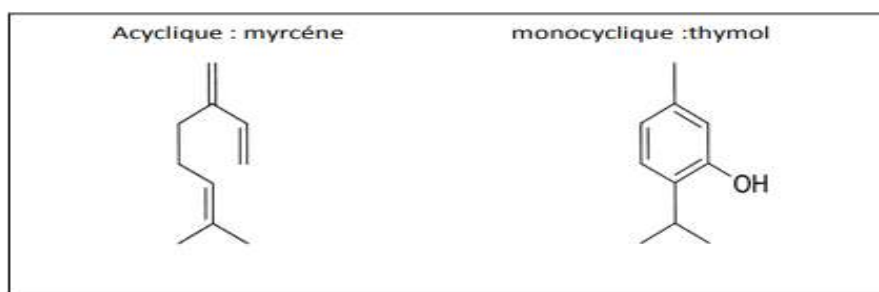


Figure 7 : structure chimique de quelques monoterpènes (Wichtl et Anton, 1999).

• Les sesquiterpènes

Ces composés, de formule molaire $C_{15}H_{24}$, jouent un rôle essentiel en tant qu'agents de défense dans les plantes et possèdent également des propriétés anti-inflammatoires (Figure 08) (Wichtl et Anton, 1999).

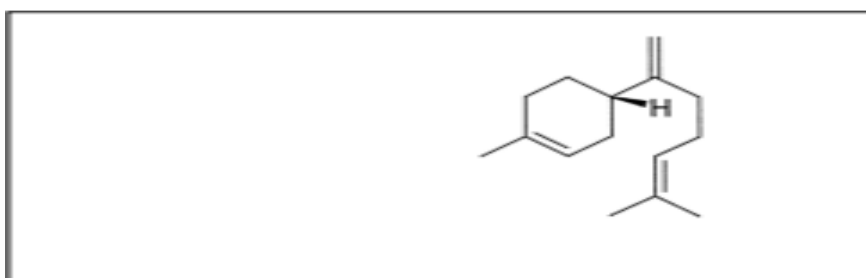


Figure 8 : structure d'un sesquiterpènes (Wichtl et Anton, 1999).

- Composés aromatiques

Moins courants que les composés précédents, les dérivés du phénylpropane (C_6-C_3) se

Caractérisent par la liaison d'un noyau aromatique à une chaîne de trois carbones (**Figure 09**) (**Wichtl et Anton, 1999**).

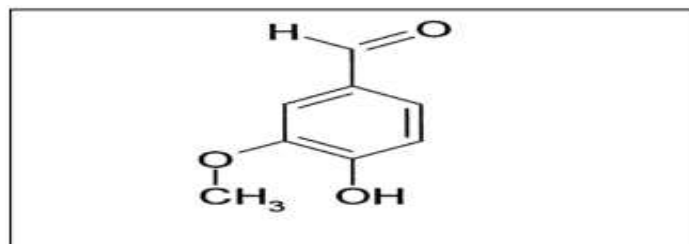


Figure 9 : structure de la vanilline (**Wichtl et Anton, 1999**)

- Composés d'origines diverses

Pendant l'extraction des huiles essentielles, divers composés aliphatiques de faible poids moléculaire sont emportés lors du processus d'hydrodistillation, comprenant des carbures, des acides, des alcools, des aldéhydes, des esters...) (**Wichtl et Anton, 1999**).

II.6. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

• Hydrodistillation

Il s'agit de la méthode la plus simple et de ce fait la plus anciennement utilisée. Le processus d'extraction des huiles essentielles, appelé hydrodistillation, consiste à immerger la matière première dans l'eau et la porter à ébullition (**Figure 10**). On sépare ensuite la matière première et l'eau (**Goudjil, 2016**). Cela peut être réalisé en laissant l'eau au fond de la cuve et en laissant passer un courant de vapeur d'eau à travers la matière première (vapo-hydrodistillation), ou en générant de la vapeur d'eau dans une chaudière à l'extérieur de l'alambic (vapo-distillation). La vapeur d'eau chargée d'huile essentielle est ensuite dirigée vers un condenseur où elle est refroidie par de l'eau froide, ce qui permet de la liquéfier. L'eau aromatisée et l'huile essentielle ainsi obtenues sont ensuite séparées dans un essencier ou vase florentin par décantation (**Besombes, 2008**).

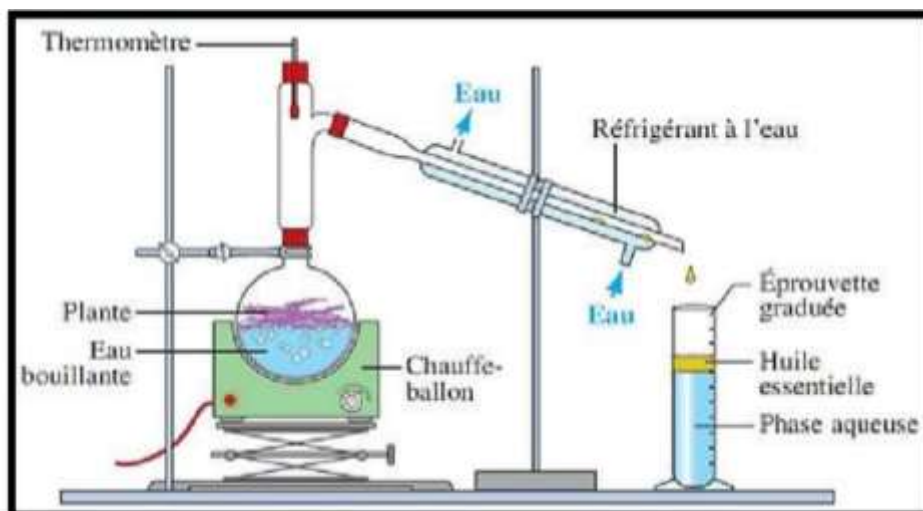


Figure 10 : Schéma du montage de l'extraction par hydrodistillation (Goudjil, 2016).

- Extraction par micro-ondes

Dans les années 1990, une nouvelle méthode a été introduite, appelée extraction par micro-ondes sous vide (Figure 11). Dans cette technique, la matière végétale subit un chauffage par micro-ondes à l'intérieur d'un contenant scellé où la pression est progressivement réduite. Les composés volatils se dégagent alors avec la vapeur d'eau produite par la plante elle-même. Par la suite, ces composés sont collectés en utilisant les méthodes conventionnelles de condensation, de refroidissement et de décantation (Zenasni, 2014).

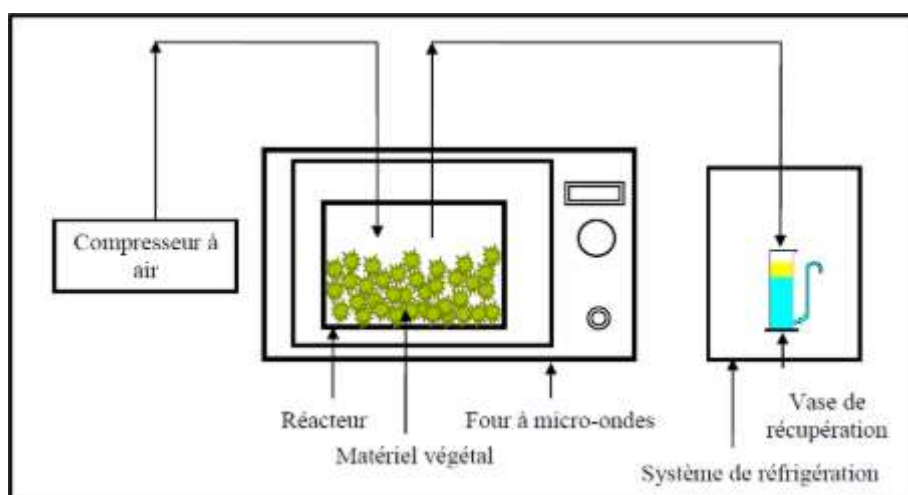


Figure 11 : Entrainement à la vapeur d'eau assisté par microondes (Sahraoui, 2012)

- **Extraction par CO₂ supercritique**

La méthode d'extraction par CO₂ supercritique utilise du dioxyde de carbone comprimé à des pressions et des températures élevées au-delà de son point critique ($P=72.8$ bars et $T= 31.1^{\circ}\text{C}$). Cette forme de CO₂ possède des propriétés d'extraction ajustables et remarquables (**Figure 12**). Les avantages de cette méthode comprennent l'inertie chimique totale, la non-toxicité et l'économie du CO₂, ainsi que la facilité de séparation entre le solvant d'extraction et le soluté. L'extraction par CO₂ supercritique permet d'obtenir des huiles essentielles de haute qualité en peu de temps, mais son installation industrielle est coûteuse et l'équipement est encombrant (**Bouras, 2018**).

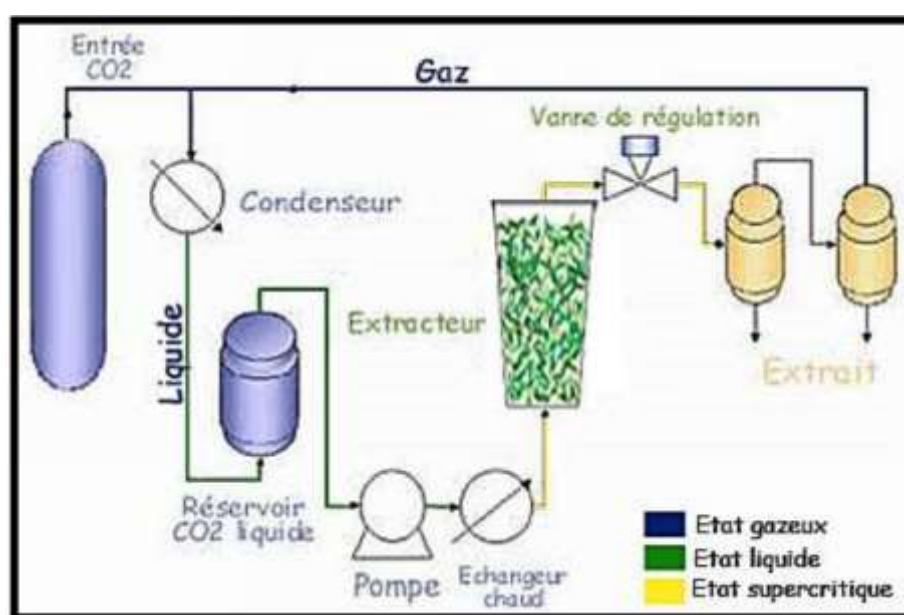


Figure 12 : Schéma du montage de l'extraction par CO₂ supercritique (**Goudjil, 2016**)

- **Enfleurage**

L'enfleurage, une technique ancienne remontant à l'Antiquité égyptienne, est complexe, coûteuse et peu utilisée de nos jours en raison de son faible rendement et de la main-d'œuvre requise (**Buronzio, 2008**). Elle permet d'obtenir des huiles essentielles de haute qualité en déposant des plantes fragiles sur une couche de graisse animale, qui est ensuite épuisée avec de l'alcool pour récupérer les arômes (**France-Ida, 1996**). Cependant, les huiles essentielles obtenues par enfleurage sont principalement utilisées dans l'industrie de la parfumerie et ne répondent pas aux normes des huiles essentielles aromatiques utilisées à des fins thérapeutiques (**Grosjean, 1993**).

II.7. Activités biologiques des huiles essentielles

L'activité biologique d'une huile essentielle dépend de sa composition chimique, des groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et de leurs effets synergiques (Dorman *et al.*, 2000).

- **Activité antioxydante**

Les huiles essentielles agissent en tant qu'antioxydants non enzymatiques. Certains travaux de recherche indiquent que certaines huiles essentielles sont plus efficaces que les antioxydants synthétiques. Les propriétés antioxydantes des huiles essentielles et des extraits de plantes sont principalement attribuables à la présence de groupes hydroxyle dans leur structure chimique (Guemidi et Djerourou, 2017).

- **Activité antimicrobienne**

La lutte contre les souches microbiennes est associée à leur pathogénicité et se réalise principalement par l'utilisation d'antibiotiques. Leur utilisation est assez étendue et englobe également plusieurs domaines. Cependant, leur utilisation excessive a entraîné l'émergence de phénomènes d'antibiorésistance résultant de l'exposition de certaines bactéries et champignons au stress, pouvant conduire à l'échange spontané de gènes de résistance (Aouni *et al.*, 2013). Une grande attention est portée aux extraits bruts de plantes qui commencent à susciter un vif intérêt en tant que source potentielle de molécules naturelles bioactives. Ils font l'objet d'études pour leur possible utilisation comme alternative dans le traitement des maladies infectieuses (Yakhlef *et al.*, 2011).

- **Activité anti-inflammatoire**

Les huiles essentielles, notamment celles contenant des aldéhydes comme l'huile essentielle de gingembre, possèdent des propriétés anti-inflammatoires lorsqu'elles sont prises par voie interne (Abbes, 2014). Elles sont également utilisées en clinique pour traiter des maladies inflammatoires telles que les rhumatismes, les allergies ou les arthrites.

- **L'activité antivirale**

L'activité antivirale découle de la capacité des huiles essentielles à s'insérer dans l'enveloppe virale riche en lipides grâce à leur liposolubilité. Les huiles essentielles sont plus efficaces contre les virus enveloppés, car ceux-ci sont plus sensibles que les virus non enveloppés (Chaibet *et al.*, 2021). Les principales huiles essentielles à activité antivirale sont : l'huile essentielle de *Citrus limon*, celle de *Laurus nobilis*, de *Lavandula angustifolia*, de

Rosmarinus officinalis, de *Thymus vulgaris* et de *Salvia officinalis* (Franchomme *et al.*, 2001).

- **Activité antiparasitaire**

Les phénols et les alcools monoterpéniques ont une action puissante contre les parasites, similaire à celle observée contre les bactéries. Certains oxydes, comme l'ascaridole, sont spécifiques et efficaces dans la lutte contre les parasites, tandis que les molécules cétoniques sont réputées pour leur action antiparasitaire, mais leur utilisation requiert des précautions en raison de leur neurotoxicité (Buronzo, 2008).

- **Activité cicatrisante**

Depuis l'Antiquité, les huiles essentielles sont reconnues pour leurs propriétés cicatrisantes, utilisées notamment pendant les périodes de guerre pour traiter les blessures. Elles favorisent la régénération des tissus endommagés, ont des propriétés antiseptiques pour désinfecter les plaies et protègent contre la dégradation. Les cétones accélèrent le processus de réparation tissulaire grâce à leur pouvoir cicatrisant (Franchomme *et al.*, 2001).

- **Activité broncho-pulmonaire**

Certaines huiles essentielles décongestionnent les voies respiratoires en favorisant l'élimination du mucus et en fluidifiant les sécrétions. Par exemple, l'huile essentielle d'Eucalyptus globuleux peut être employée pour traiter les inflammations respiratoires ou les toux grasses (Victoria, 2017).

- **Activité sédative**

Un grand nombre d'huiles essentielles contribuent à améliorer certains troubles du sommeil et les troubles psychosomatiques, tout en réduisant la nervosité. Des exemples de plantes aux huiles essentielles sédatives sont la menthe et la verveine (Bruneton, 2009).

- **Activité analgésique**

Une grande diversité de molécules est utilisée pour traiter la douleur. Par exemple, l'eugénol présent dans l'huile essentielle de clou de girofle est efficace contre les douleurs dentaires, tandis que le menthol stimule les récepteurs du froid et a un effet vasoconstricteur. L'application d'huile essentielle de menthe poivrée sur les tempes offre un soulagement rapide des migraines (Laurent, 2017).

- **Activité antihistaminique**

Certaines huiles essentielles, comme l'huile essentielle de basilic tropical, ont la capacité d'inhiber la production de leucotriènes, bloquant ainsi la libération d'histamine qui est responsable des réactions allergiques. Elles peuvent ainsi soulager certains symptômes liés aux allergies (**Victoria, 2017**).

- **Activité anticancéreuse**

Ces dernières années, le potentiel thérapeutique diversifié des huiles essentielles a suscité l'intérêt des chercheurs en ce qui concerne leur possible action contre le cancer. Ainsi, les huiles essentielles et leurs constituants volatils font actuellement l'objet d'études visant à découvrir de nouveaux produits naturels ayant des propriétés anticancéreuses (**Edris, 2007**).

II.8. Principaux domaines d'application des huiles essentielles

- **En phytothérapie**

L'aromathérapie est une discipline qui utilise les huiles essentielles pour traiter diverses affections. Son origine remonte à René-Maurice Gattefossé, un chimiste français qui a utilisé l'huile essentielle de lavande pendant la Première Guerre mondiale pour soigner les blessures et les infections. Depuis lors, l'aromathérapie a gagné en popularité parmi les médecins et les pharmaciens, qui ont publié de nombreux ouvrages sur le sujet. Les huiles essentielles sont largement utilisées pour traiter diverses affections internes et externes, notamment les infections bactériennes ou virales, ainsi que les troubles nerveux et humoraux. En médecine dentaire, certaines huiles essentielles ont montré des résultats cliniques satisfaisants pour la désinfection de la pulpe dentaire et la prévention des caries. Par exemple, la Listerine, qui contient des huiles essentielles de thymol et d'eucalyptol, est efficace contre les micro-organismes présents dans la salive et la plaque dentaire. Les huiles essentielles de thym et de romarin sont également utilisées pour soulager la fatigue, les maux de tête, les douleurs musculaires et les problèmes respiratoires (**Rhayour, 2002**).

- **En industrie agro-alimentaire**

Les huiles essentielles sont exploitées ici pour rehausser le goût et pour enrichir la saveur des produits alimentaires élaborés. Récemment, les industriels ont exprimé le souhait d'utiliser des huiles essentielles comme agents de conservation, en remplacement des molécules de synthèse traditionnellement utilisées, telles que les parabènes (**Kaloustian et Hadji-Minaglou, 2012**).

Les huiles essentielles ont été adoptées en raison de leur parfum et de leur contenu naturel en tant que remèdes naturels. Elles servent également d'antioxydants et ont démontré leurs propriétés antibactériennes et antifongiques, à l'instar de l'huile essentielle de thym (*Thymus vulgaris*) qui affiche une activité antifongique supérieure à celle de la plupart des agents chimiques utilisés actuellement (**Kumar et al., 2008**). Les huiles essentielles s'avèrent très efficaces pour prolonger la durée de conservation des aliments. Par exemple, les huiles essentielles de cumin, de coriandre et de thym sont efficaces pour préserver la viande, tandis que la menthe est plus efficace pour contrôler la contamination des produits laitiers (**Chemat et Cravotto, 2012**). En ce qui concerne le goût, il est à noter que les huiles de base à saveur salée proviennent des épices et des herbes, tandis que les huiles de base sont utilisées pour les agrumes afin de donner des saveurs plus sucrées (**Chemat et Cravotto, 2012**). Les nouveaux produits à base d'huiles essentielles mettent du temps à se frayer un chemin sur le marché en raison d'une réglementation complexe. En effet, leur autorisation est assujettie à la réglementation des produits phytopharmaceutiques, nécessitant ainsi la preuve de leur efficacité et de leur innocuité. L'utilisation des huiles essentielles en agriculture biologique exige également leur inscription sur une liste dite "positive" des produits autorisés (**Chemat et Cravotto, 2012**).

- **En parfumerie et cosmétologie**

Les huiles essentielles sont exploitées pour leurs saveurs et leurs parfums dans l'industrie des produits naturels et celle des parfums (incluant l'huile de rose, le bois de santal, l'huile d'eucalyptus, l'huile de cèdre, la cannelle et la Cassia), ainsi que dans les cosmétiques, les produits d'hygiène corporelle, les soins capillaires, les traitements de la peau et les produits bucco-dentaires, ainsi que dans les parfumeries et les compositions olfactives (**Smallfield, 2001**).

Les HEs sont incorporées dans les analgésiques pour la peau et les produits solaires (**Madhavi et al., 1995**). Elles se retrouvent également dans les compositions pour le bain. Lorsqu'elles sont incluses dans les huiles de massage, leur concentration ne doit pas excéder 3 à 4%. L'huile de menthe poivrée occupe la troisième place parmi les arômes les plus populaires dans le monde, après la vanille et le citron (**Millet, 2015**).

II.9. Risques potentiels liés à l'utilisation incorrecte des huiles essentielles**II.9.1. Toxicité des huiles essentielles**

Les huiles essentielles ne manquent pas d'effets indésirables. La volume détermine le poison, des incidents d'intoxication sont signalés chaque année, soulignant la mauvaise utilisation d'une ou plusieurs huiles essentielles. Les variétés les plus concernées incluent l'arbre à thé, les eucalyptus globuleux, la cannelle ou le girofle (**Degryse *et al.*, 2008**).

A. Toxicité cutanéomuqueuse

Une grande variété de réactions cutanées survient suite au contact de la peau avec une huile essentielle. Nous citons :

- La dermocausticité, qui est une cytotoxicité directe entraînant une irritation et une corrosion de la peau et des muqueuses. Les huiles essentielles contenant des molécules phénolées, des aldéhydes aromatiques et des terpéniques sont particulièrement corrosives. Il est recommandé de les utiliser sur une période courte et de les diluer fortement. (**Mayaud, 2006 ; Degryse *et al.*, 2008 ; Schieber, 2013 ; Robert, 2015**).
- Les hypersensibilités sont également possibles, résultant d'une réponse immunitaire excessive contre les molécules constitutives des huiles essentielles. Certains composés tels que les lactones sesquiterpéniques, le cinnamaldéhyde, l'eugénol, le 1,8-cinéole et le géraniol peuvent provoquer des réactions allergiques (**Mayaud, 2006 ; Robert, 2015**).

B. La photosensibilisation

La photosensibilisation est une réaction cutanée associée à certaines huiles essentielles, principalement celles extraites des zestes d'agrumes de la famille des *Citrus*. Ces huiles essentielles contiennent des molécules photo-actives telles que les furanocoumarines et les pyrocoumarines (**Mayaud, 2006**). Deux types de réactions cutanées peuvent se produire : la phototoxicité, qui est une réaction immédiate, et la photo-allergie, qui est une réaction retardée (**Averbeck *et al.*, 1990**). Certains laboratoires produisent des huiles essentielles d'agrumes spécifiques qui éliminent les coumarines phototoxiques non volatiles présentes dans les essences d'agrumes (**Robert, 2015**).

Il est important de noter que certaines huiles essentielles phototoxiques peuvent également être cytotoxiques, comme c'est le cas avec *Cymbopogon citratus* (**Dijoux *et al.*, 2006**).

II.9.2. Autres toxicités organiques

L'utilisation d'huiles essentielles peut entraîner divers effets indésirables en raison de la capacité des molécules à pénétrer dans le corps humain par voie cutanée, orale ou sublinguale. Ces effets peuvent inclure :

- Néphrotoxicité : observée avec le thymol et le carvacrol, qui peuvent provoquer une inflammation et une détérioration des néphrons, en particulier chez les personnes atteintes d'insuffisance rénale (**Mayaud, 2006 ; Robert, 2015**).
- Hépatotoxicité : constatée avec l'utilisation à long terme et à volumes moyennes ou élevées d'huiles essentielles phénolées, ainsi qu'avec l'eugénol et l'iso-eugénol chez les rongeurs (**Burkey et al., 2000**). Des cas d'insuffisance hépatique mortelle ont été rapportés chez les enfants après l'ingestion de quantités élevées d'eugénol (**Eisenhut, 2007**).
- Hématotoxicité : signalée avec des concentrations élevées d'eugénol et d'iso-eugénol (**Hemaiswarya et Doble, 2009**).
- Neurotoxicité : observée avec des composés tels que le camphre, la menthone et l'eucalyptol, qui peuvent traverser la barrière hémato-encéphalique. Leur action sur les lipides peut entraîner la destruction des gaines de myéline, entraînant des dysfonctionnements neuronaux pouvant se manifester par divers symptômes, tels que l'excitation, la stupeur, la dépression ou même le coma (**Robert, 2015**). Les molécules phénolées sont également associées à des spasmes potentiels (**Jilani et Dicko, 2012**).

II.10. Précautions d'emploi des huiles essentielles

Les toxicités citées précédemment ont conduit à l'établissement des précautions d'utilisation suivantes (**Franchomme et al, 2001**).

- Il est recommandé d'utiliser uniquement des huiles essentielles ayant une traçabilité complète et n'ayant pas été modifiées après l'extraction.
- Il est conseillé de conserver les flacons dans un endroit approprié et hors de la portée des enfants.
- Il est impératif de ne jamais administrer les HES par voie intraveineuse ou intramusculaire, en cas de besoin, il est recommandé de diluer dans un corps gras (tel que de l'huile végétale).

- Il est préconisé d'éviter l'exposition solaire pour les huiles essentielles photosensibilisantes et les essences.
- Il est crucial de faire attention aux posologies en respectant la prescription de l'aromathérapeute adaptée au patient et à la pathologie, la volume journalière recommandée, et en limitant la durée de prise au minimum nécessaire.
- Il est essentiel de prendre des précautions particulières avec les patients sensibles ou fragiles, tels que les enfants de moins de 8 ans, les femmes enceintes ou allaitantes, les personnes âgées, les individus présentant des antécédents allergiques, ainsi que les personnes souffrant d'insuffisance rénale ou hépatique.
- En cas d'absorption accidentelle, il est recommandé d'ingérer 1 à 3 cuillères à soupe d'huile végétale (comme de l'huile d'olive), de ne pas boire d'eau et de consulter rapidement un médecin.
- En prenant en considération toutes ces précautions, le personnel médical peut employer un traitement adapté pour le patient tout en maîtrisant le rapport bénéfice/risque.

*chapitre III : Matériels et
méthodes*

III.1. Objectif de l'étude

Cette étude vise à évaluer, l'efficacité antibactérienne des huiles essentielles de poivre noir, de gingembre et de girofle sur diverses souches bactériennes d'origine alimentaire.

Cette étude s'est déroulée en deux phases distinctes. La première phase a impliqué une enquête ethnobotanique utilisant un questionnaire pour explorer les usages généraux des plantes aromatiques et des huiles essentielles. La seconde phase de l'étude était consacrée à une investigation expérimentale, subdivisée en deux parties distinctes. Dans la première partie, nous avons extrait les huiles essentielles des trois plantes aromatiques, avant d'évaluer leur activité antibactérienne dans la seconde partie.

III.2. Enquête ethnobotanique

Pendant le mois de février 2024, une enquête ethnobotanique a été réalisée afin de recueillir des données à l'aide d'un questionnaire (voir Annexe 1), comportant des questions précises sur les personnes enquêtées et les plantes étudiées. Le questionnaire a été initialement rédigé en français puis traduit en arabe pour faciliter le processus de l'enquête, nous avons ciblé les femmes pendant notre période d'étude, en particulier parce qu'elles sont le groupe le plus enclin à utiliser des épices et des huiles dans la cuisine, afin de mener une enquête sur leur connaissance et leur utilisation des huiles essentielles.

Le questionnaire était structuré en six parties distinctes :

- La première section visait à recueillir des renseignements de base sur les participantes tels que leur âge, leur niveau d'études, leur profession et leur lieu de résidence.
- La deuxième section cherchait à évaluer les connaissances générales des participantes concernant les huiles essentielles.
- La troisième section se penchait sur les habitudes culinaires des participantes, notamment leur utilisation des épices.
- La quatrième section portait spécifiquement sur l'utilisation que les participantes faisaient du girofle, du gingembre et du poivre noir dans leur cuisine.
- La cinquième section visait à évaluer les connaissances des participantes sur les bienfaits potentiels pour la santé de ces trois épices.
- Enfin, la dernière section s'intéressait aux connaissances des participantes quant aux huiles essentielles de ces épices et à leur emploi de celles-ci.

III.3. Evaluation de l'activité antibactérienne des HEs du gingembre, du poivre noir et du girofle

III.3.1. Matériel utilisé

III.3.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude a été acheté chez un herboriste à Ferdjioua, il comprend les éléments suivants:

- Pour le poivre noir, nous avons analysé les graines de *Piper Nigrum* L (**Figure 13**).
- En ce qui concerne le gingembre, nous avons examiné les rhizomes (**Figure 14**).
- Les boutons floraux ont été utilisés pour le du clou de girofle (**Figure 15**).



Figure 13 : Les graines de poivre noir (*Piper Nigrum* L)



Figure 14 : Les rhizomes de gingembre (*Zingiber officinale* L)



Figure 15 : Les clous de girofle (*Syzygium aromaticum* L)

III.3.1.2. Matériel bactériologique

Dans le cadre de cette étude, quatorze souches bactériennes ont été sélectionnées afin de représenter une diversité de profils de sensibilité aux antibiotiques. Ces souches proviennent de deux sources distinctes : huit souches ont été isolées à partir de différents aliments, tandis que les six autres sont des souches de référence provenant de collections de cultures ATCC (American Type Culture Collection).

Huit souches bactériennes sont issues des sources alimentaires (**Tableau V**). On y retrouve notamment des espèces de *Salmonella*, de *Staphylococcus aureus* et du genre *Pseudomonas*, provenant de viandes de volaille, d'ovins et de bovins, ainsi que du lait. Ces souches ont été choisies pour leur importance en termes de sécurité alimentaire et de santé publique.

Tableau V: Souches bactériennes originaires de sources alimentaires

Numéro de souche	Espèce	Gram	Source
1	<i>Salmonella</i> Typhimurium	-	Viande de volaille
2	<i>Salmonella</i> Kentucky	-	Viande de volaille
3	<i>Salmonella</i> Enteritidis	-	Viande de volaille
9	<i>Salmonella</i> Typhimurium	-	Viande ovine
11	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	Viande de volaille
12	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	Lait
13	<i>Pseudomonas</i> sp	-	Lait
16	<i>Salmonella</i> Richmond	-	Viande bovine

Le second tableau (**Tableau VI**) recense quant à lui les six souches bactériennes de référence, incluant les espèces *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*. Ces souches proviennent de collections de cultures reconnues et servent de références dans de nombreuses études microbiologiques, et représentent également des espèces souvent impliquées dans les toxi-infections alimentaires.

Tableau VI : Souches bactériennes de références ATCC

Souche	Espèce	Gram	Référence
6	<i>Listeria monocytogenes</i>	+	ATCC 19111
7	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	ATCC 25923
8	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	ATCC 6538
10	<i>Bacillus cereus</i>	+	ATCC 14579
14	<i>Escherichia coli</i>	-	ATCC 8739
18	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	ATCC 9027

III.3.1.3. Matériel et équipement du laboratoire

Les instruments, équipements, réactifs et produits utilisés pour l'extraction des huiles essentielles et l'évaluation de leur activité antibactérienne sont détaillés dans l'annexe 2.

III.3.2. Méthodes

III.3.2.1. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles de poivre noir, de gingembre et de girofle ont été extraites dans les laboratoires pédagogiques du centre universitaire Abdelhafid Boussouf de Mila.

Ces huiles ont été extraites par hydrodistillation des graines, des rhizomes et des clous séchés des plantes à l'aide d'un appareil de type Clevenger (**Figure 16**). L'appareil se compose d'un ballon à fond rond avec un col rodé reposant dans un chauffe-ballon, d'un dispositif de condensation comprenant un réfrigérant permettant la décantation de l'huile essentielle, et d'un robinet. Dans le ballon, 100 g de matière végétale (poivre noir et gingembre) et nous avons divisé 150 g de clous de girofle, en mettant 100 g une fois et 50 g une autre fois, sont

immergés dans 500 ml d'eau distillée. L'ensemble est porté à ébullition pendant environ 3 heures. Le distillat obtenu se compose d'huile essentielle et d'eau. Après décantation, deux phases sont séparées : une phase organique (l'huile essentielle) et une phase aqueuse. L'huile essentielle est recueillie à l'aide d'une seringue stérile, puis pesée pour déterminer le rendement. Elle est ensuite conservée à 4°C dans un flacon hermétiquement fermé.



Figure 16 : Extraction de l'huile essentielle par l'appareil de type Clevenger (photo réelle).

III.3.2.2. Calcul du rendement de l'extraction

Le rendement en huile essentielle se définit comme le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse sèche du matériel végétal à traiter. Ce rendement, exprimé en pourcentage, se calcule à l'aide de la formule suivante (Selvakumar *et al.*, 2012) :

$$\mathbf{Rd = m/m_0 \times 100}$$

Rd : représente le rendement en huile essentielle exprimé en pourcentage.

m : désigne la masse en gramme de l'huile essentielle .

m₀ : la masse en gramme de la matière végétale sèche

III.3.2.3. Tests de l'activité antibactérienne

La méthode de diffusion des disques a servi à évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles de gingembre, de poivre noir et de girofle, en raison de sa simplicité et de son efficacité pour évaluer la sensibilité des souches bactériennes. Ensuite, les concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB) ont été déterminées par micro-dilution en

milieu liquide, permettant également de déterminer si l'activité antibactérienne de l'huile essentielle est bactériostatique ou bactéricide.

Méthode de diffusion de disques (aromatogramme)

Nous avons employé la méthode d'aromatogramme (**Figure 17**) afin d'évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles de gingembre, de poivre noir et de girofle.

L'aromatogramme repose sur une technique employée en bactériologie médicale nommée antibiogramme qui évalue l'impact d'un produit antimicrobien sur une souche en mesurant les zones d'inhibition autour des disques imprégnés des différents produits à tester. La présence d'inhibition se traduit par des zones de stérilité autour des disques contenant des principes actifs. Leur diamètre permet d'évaluer l'effet des composés traités sur la croissance des bactéries. Selon le diamètre d'inhibition, la souche est qualifiée de sensible ou résistante (**Fauchère, 2002**). Le protocole de cette méthode comporte les étapes suivantes (**Figure 18**) :

✓ **Préparation de la suspension bactérienne**

Afin d'obtenir des cultures bactériennes jeunes et des colonies bien isolées, les souches à tester sont préalablement ensemencées sur des boîtes de Petri contenant de la gélose nutritive (GN) et incubées pendant 24 heures. Quelques colonies bien distinctes sont ensuite prélevées et mises en suspension dans 5 ml d'eau physiologique stérile à 0,9% de NaCl. La densité de cette suspension a été évaluée visuellement à l'aide d'un standard de McFarland, correspondant à une concentration d'environ $1,5 \times 10^8$ UFC/ml (**Gayathiri et al., 2018**). Si nécessaire, la concentration est ajustée par ajout d'eau physiologique ou de culture fraîche afin d'obtenir la densité cible. L'ensemencement des tests doit être réalisé dans les 15 minutes suivant la préparation de cet inoculum.

✓ **Ensemencement sur le milieu Mueller Hinton**

Un écouvillon stérile est trempé dans la suspension bactérienne préparée, en éliminant l'excès de liquide en le pressant contre la paroi interne du tube.

La surface de la boîte de Petri contenant le milieu Mueller Hinton préalablement solidifié est alors striée 3 fois, en tournant la boîte de 60 degrés entre chaque strie. Cela permet d'obtenir un ensemencement uniforme de la gélose avec la suspension bactérienne, sans excès de liquide, afin de réaliser correctement les tests d'activité antimicrobienne qui suivront.

✓ Dépôts des disques

À l'aide d'une pince stérile, deux disques sont déposés sur la géloseensemencée avec la suspension bactérienne. Ces disques sont imprégnés de 5 µl d'huile essentielle à tester.

Un disque imbibé de 5 µl de DMSO est ajouté comme témoin négatif, et deux disques contenant des antibiotiques (amoxicilline, norfloxacine ou rifampicine) sont déposés comme témoins positifs.

Les boîtes de Petri sont ensuite fermées et laissées à température ambiante pendant 30 minutes, afin de permettre la diffusion des composés dans la gélose. Enfin, les boîtes sont placées à l'étuve à 37°C pendant 24 heures.

✓ Lecture

Après incubation, le diamètre des zones d'inhibition identifiées par une zone dépourvue de croissance bactérienne autour du disque est mesuré en millimètres à l'aide d'un pied de coulisse ou d'une règle. Les résultats sont indiqués par le diamètre en chiffre de la zone d'inhibition et peuvent être représentés par des symboles en fonction de la sensibilité des souches aux huiles (**Tableau VII**).

Tableau VII: Interprétation des résultats selon les diamètres des zones d'inhibition (**Ponce *et al.*, 2003**).

Sensibilité des souches	Zone d'inhibition
Non sensible ou résistante (-)	Diamètre < 8mm
Sensible (+)	Diamètre compris entre 9 à 14 mm
Très sensible (++)	Diamètre compris entre 15 à 19 mm
Extrêmement sensible (+++)	Diamètre > 20 mm

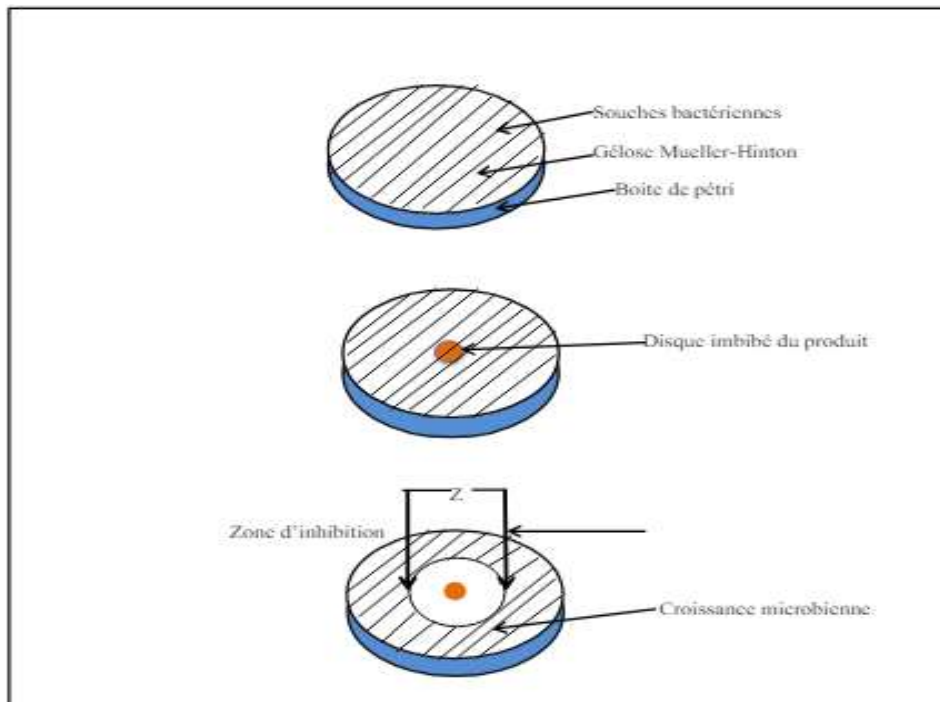


Figure 17 : Illustration de la méthode des aromagrammes sur boîte de Pétri (Zaika, 1988).



a) Ensemencement des souches bactériennes



b) Dépôt des disques dans les boîtes de Pétri



c) Mise des huiles essentielles et du DMSO

Figure 18 : Etapes de la méthode de l'aromatogramme

- **Evaluation de l'activité antibactérienne de la phase volatile des trois huiles par la méthode du micro-atmosphère**

La méthode des micro-atmosphères a été utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne de la fraction volatile des huiles essentielles. Elle a été décrite par **Gulluce *et al.* (2007)**.

✓ **Principe**

Ce procédé implique le dépôt d'un disque de papier filtre imprégné de l'huile essentielle au centre du couvercle d'une boîte de Pétri, sans que celle-ci ne soit en contact avec le milieu ensemencé par les micro-organismes. La boîte est ensuite hermétiquement fermée et placée couvercle vers le bas dans une étuve à 37°C (**Figure19**). Cela entraîne l'évaporation des substances volatiles dans l'enceinte de la boîte, ce qui inhibe les cellules sensibles de l'inoculum. Ainsi, l'huile essentielle agit uniquement sous forme de vapeurs qu'elle développe à 37°C. La lecture du test porte donc sur la croissance ou non de l'inoculum.

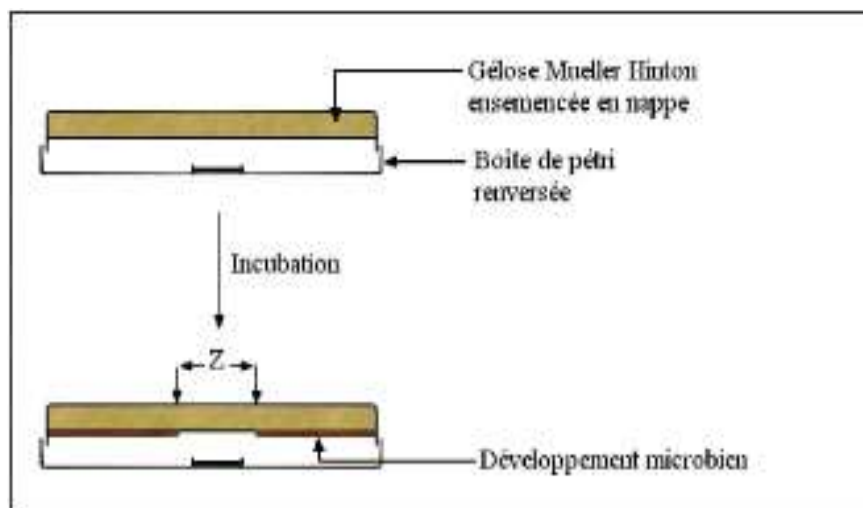


Figure 19 : Illustration de la méthode de micro-atmosphère (**Bousbia, 2004**).

- **Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)**

✓ **Principe**

Il s'agit de déterminer la plus faible concentration de la molécule à tester qui inhibe toute croissance visible d'une souche bactérienne après 18 heures d'incubation dans un milieu de croissance spécifique. C'est l'approche la plus utilisée pour évaluer *in vitro* l'activité bactériostatique d'une nouvelle molécule à activité antibactérienne (**Carryn, 2013**).

✓ Technique

Par le biais de la méthode de dilution, la valeur de la CMI peut être déterminée. Cette méthode peut être appliquée en gélose et en bouillon. Dans la méthode de dilution en bouillon (il s'agit habituellement du milieu Mueller-Hinton) une série de dilutions en base 2 des huiles essentielles est préparée dans des microplaques à 96 puits. Pour cela nous avons utilisé le protocole adopté par **Chebaibi *et al.* (2016)**. Les concentrations testées étaient : 25%, 12,5%, 6,25%, 3,125%, 1,56%, 0,78%, 0,39%, 0,19%, 0,09%, 0,04% et 0,02%. Les dilutions ont été réalisées dans du DMSO pour faciliter la solubilisation des huiles essentielles. Ensuite, 160 µl de BMH inoculé avec 20 µl de suspension bactérienne sont ajoutés dans chaque puits.

Chaque ligne de la microplaque correspond à une souche bactérienne différente. Des puits contenant du BMH inoculé avec la souche spécifique sont utilisés comme contrôles positifs, tandis que ceux contenant uniquement du DMSO et du BMH non inoculé servent de contrôles négatifs. Après 18h d'incubation à 37°C, la CMI correspond à la plus faible concentration d'huile essentielle pour laquelle aucune croissance microbienne n'est observée.

- **Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)**

La CMB correspond à la plus faible concentration d'huile capable d'éliminer 99,9% des bactéries. Après avoir établi la CMI par dilution en milieu liquide, la CMB est déterminée en transférant un échantillon des tubes sans croissance dans un milieu frais exempt de la molécule à tester (**Prescott *et al.*, 2010 ; Carryn, 2013**).

Ainsi, des prélèvements des puits avec des concentrations supérieures à la CMI (sans croissance) sont repiqués sur gélose nutritive et incubés 24h à 37°C.

*chapitre IV : Résultats et
Discussion*

IV. Résultats et discussion

IV.1. Résultats de l'enquête ethnobotanique

Les données obtenues du questionnaire ont été enregistrées et analysées sur Excel. Les questions considérées comme importantes ont été examinées en détail à l'aide de graphiques en pourcentage pour rendre la comparaison des données plus facile.

- Adresses des femme enquêtées

Le graphique suivant représente les différentes communes de la wilaya de Mila où nous avons mené des entretiens avec un groupe de femmes que nous avons enquêtées sur les trois plantes aromatiques : le poivre noir, le gingembre et le clou de girofle (**Figure 20**).

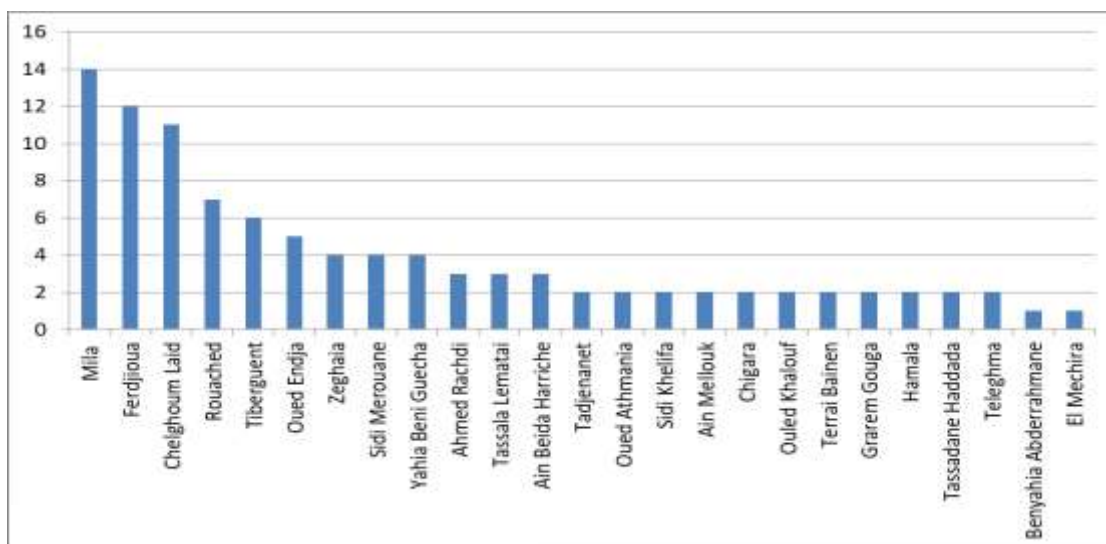


Figure 20 : Adresses des femme enquêtées

- Type de région

Selon l'enquête, 59% des personnes interrogées habitent en zone urbaine, tandis que 41% résident en zone rurale (**Figure 21**)

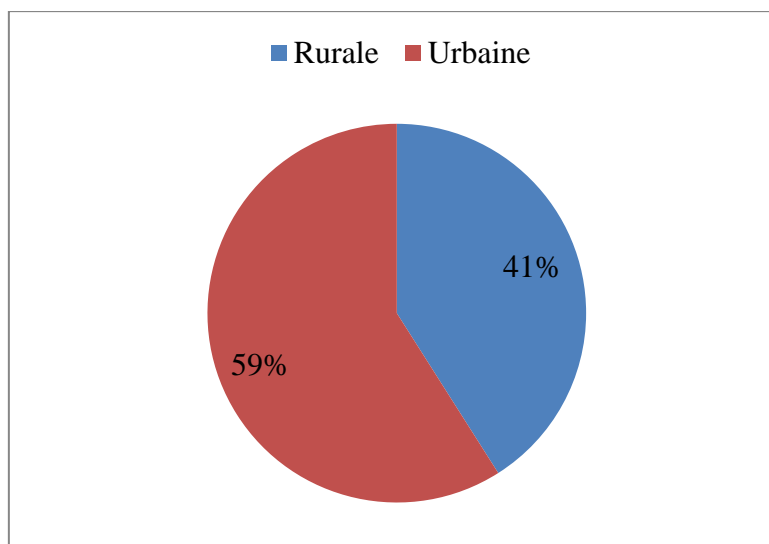


Figure 21 : Répartition de la population selon le milieu de vie

- **Catégories d'âge**

Dans ce questionnaire, nous avons ciblé les personnes âgées de 18 ans à plus de 60 ans. Un taux de 42 % des répondantes avaient entre 18 et 34 ans, 30 % entre 35 et 49 ans, 23 % entre 50 et 64 ans, et 5 % avaient plus de 65 ans (**Figure 22**).

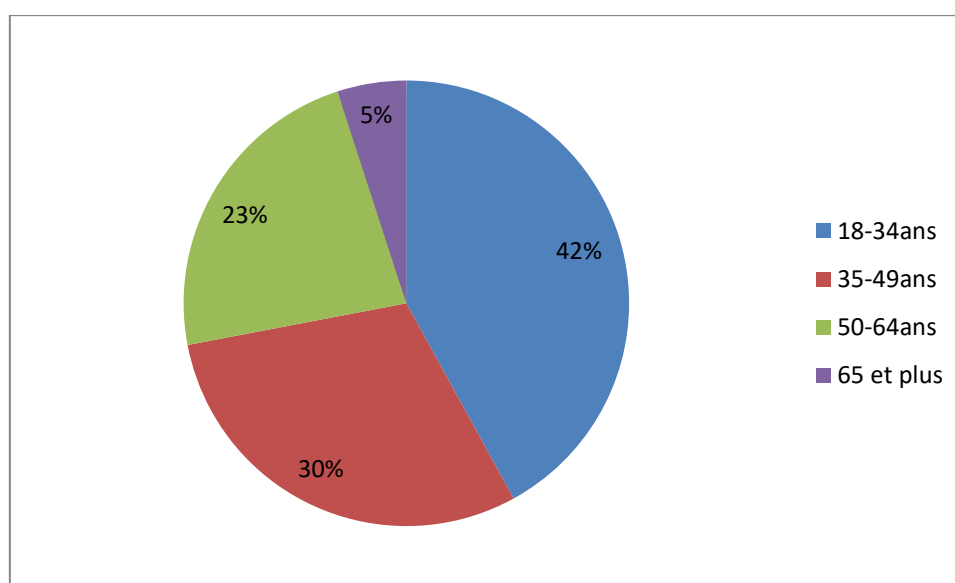


Figure 22 : Répartition des personnes enquêtées en fonction des classes d'âge

- **Niveau d'étude**

D'après les données recueillies, le niveau académique des personnes interrogées se répartit comme suit : 29% ont un niveau d'études primaire, 13% ont un niveau moyen, 16% ont un niveau secondaire, tandis que 42% sont de niveau universitaire (**Figure 23**).

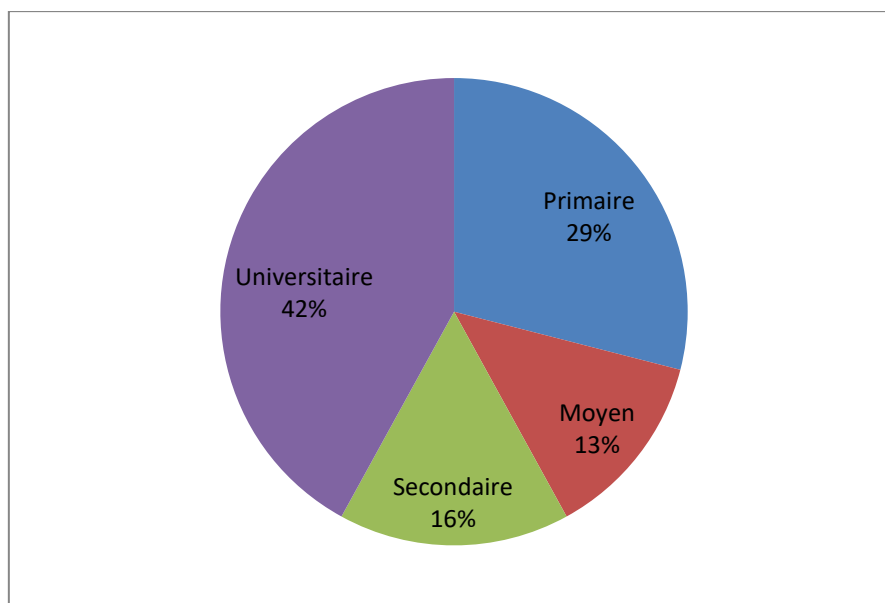


Figure 23 : Répartition des personnes enquêtées en fonction de leurs niveaux d'études

- **Profession**

En ce qui concerne la répartition des participantes en fonction de leur métier, nos résultats montrent que 14% sont des étudiantes, 26% sont des travailleurs et 60% appartiennent à la catégorie des personnes sans emploi (**Figure 24**).

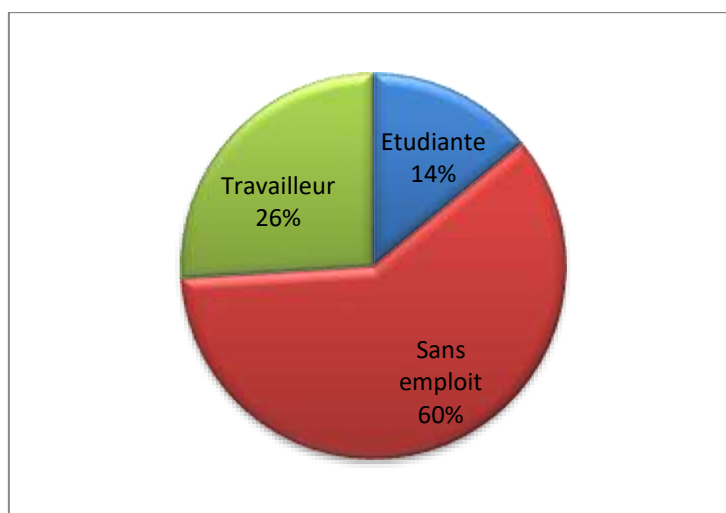


Figure 24 : Répartition des personnes enquêtées en fonction de leurs professions

- **Niveau d'intérêt pour les huiles essentielles**

L'analyse des réponses des femmes interrogées montre que 84% d'entre elles s'intéressent aux huiles essentielles, contre 16% qui ne le sont pas (**Figure 25**).

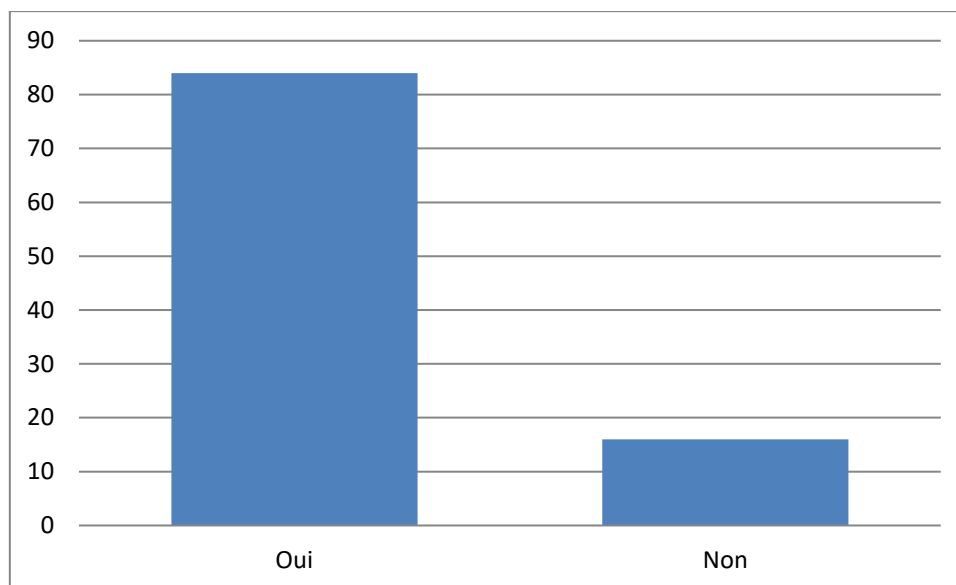


Figure 25 : Taux d'intérêt pour les huiles essentielles

- **Niveau de connaissance des huiles essentielles**

Parmi les femmes ayant déclaré s'intéresser aux huiles essentielles, 60% ont une connaissance moyenne de celles-ci, 19% ont une connaissance élevée, et 5% ont une connaissance faible (**Figure 26**). De plus, il a été observé que les femmes de plus de 45 ans ont moins de connaissances sur les huiles essentielles que les plus jeunes.

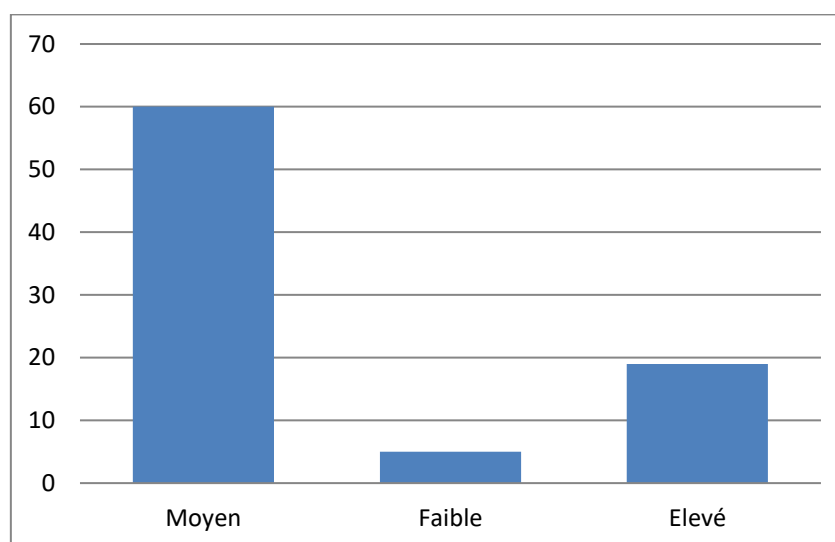


Figure 26 : Taux de connaissance des huiles essentielles

- **Niveau d'utilisation des huiles essentielles**

D'après notre étude, nous avons observé que 87% des participantes utilisent des huiles essentielles, tandis que 13% n'en utilisent pas (**Figure 27**).

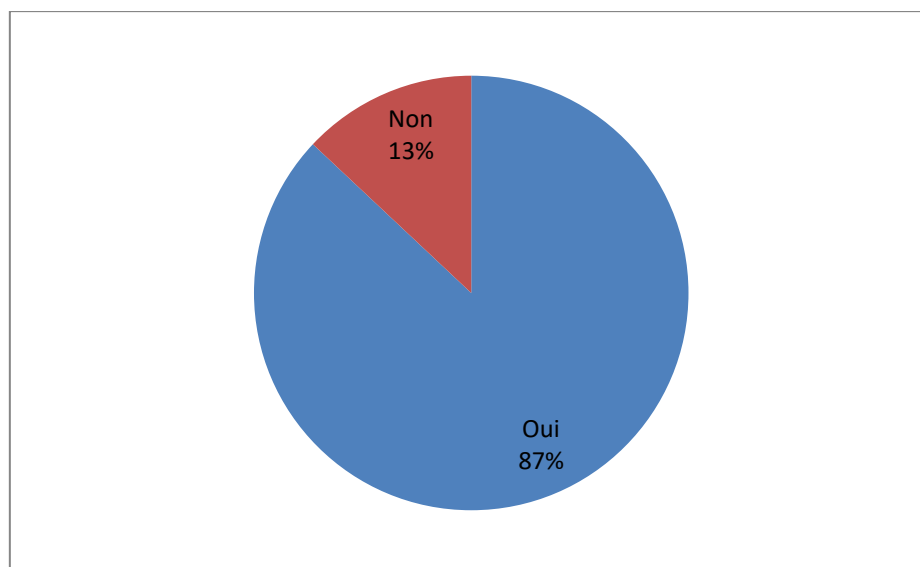


Figure 27 : Taux d'utilisation des huiles essentielles

- **Raisons d'utilisation des huiles essentielles**

Selon les résultats de l'étude, 49% des répondantes ont utilisé des huiles essentielles dans leur cuisine pour la préparation de leurs plats. Par ailleurs, 18% les ont utilisées à des fins de santé, pour traiter certaines maladies. Enfin, 20% des répondantes les ont utilisées pour des soins de beauté et d'hygiène personnelle (**Figure 28**).

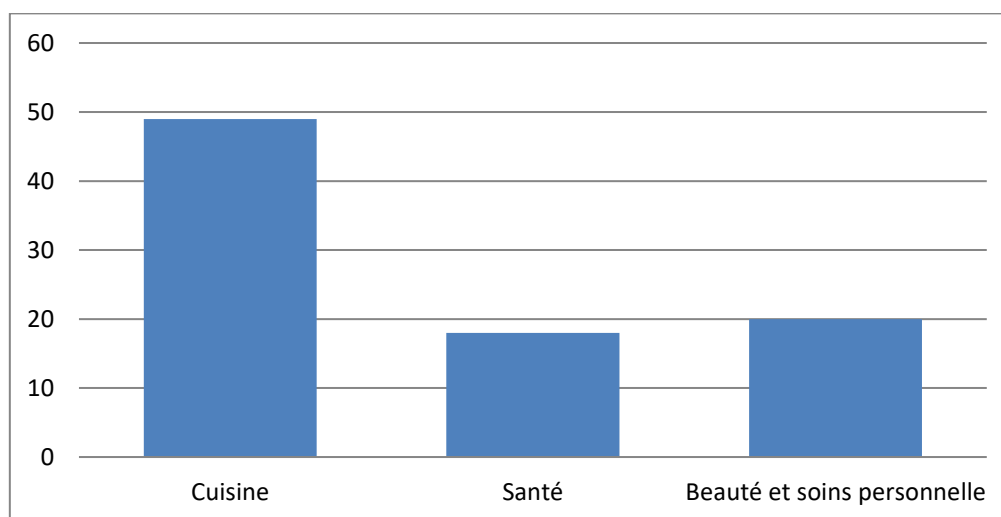


Figure 28 : Raisons d'utilisation des huiles essentielles

- **Fréquence de cuisson**

D'après les données présentées dans la (**Figure 29**), la majorité des femmes interrogées, soit 57%, exercent la cuisson quotidiennement et 25% cuisinent plusieurs fois par semaine. À

l'inverse, 12% cuisinent rarement et 6% une fois par semaine, ces dernières étant principalement des femmes âgées.

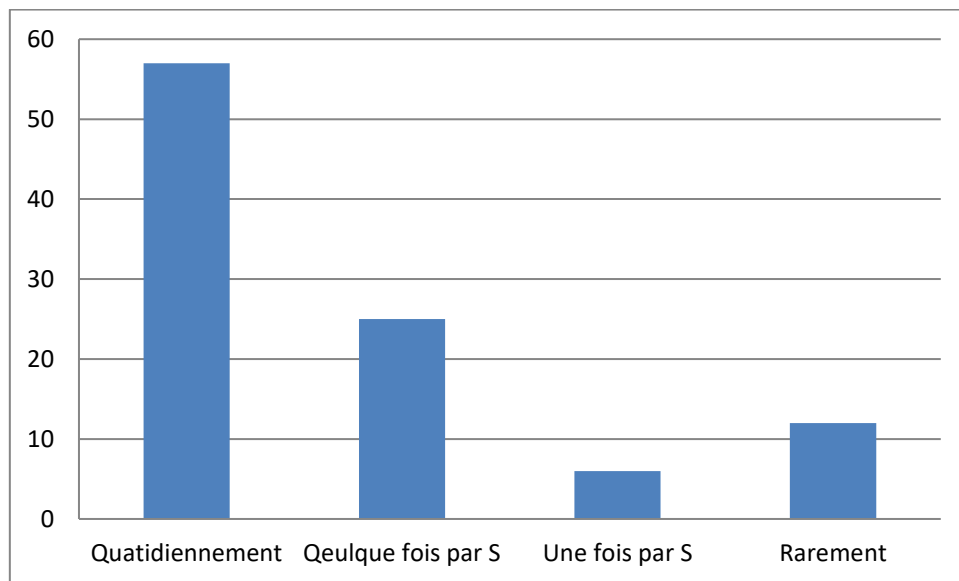


Figure 29 : Fréquence de cuisson

- **Utilisation de poivre noir dans la préparation des plats**

Un taux de 72% des femmes interrogées ont affirmé utiliser du poivre noir, comme illustré dans la (Figure 30).

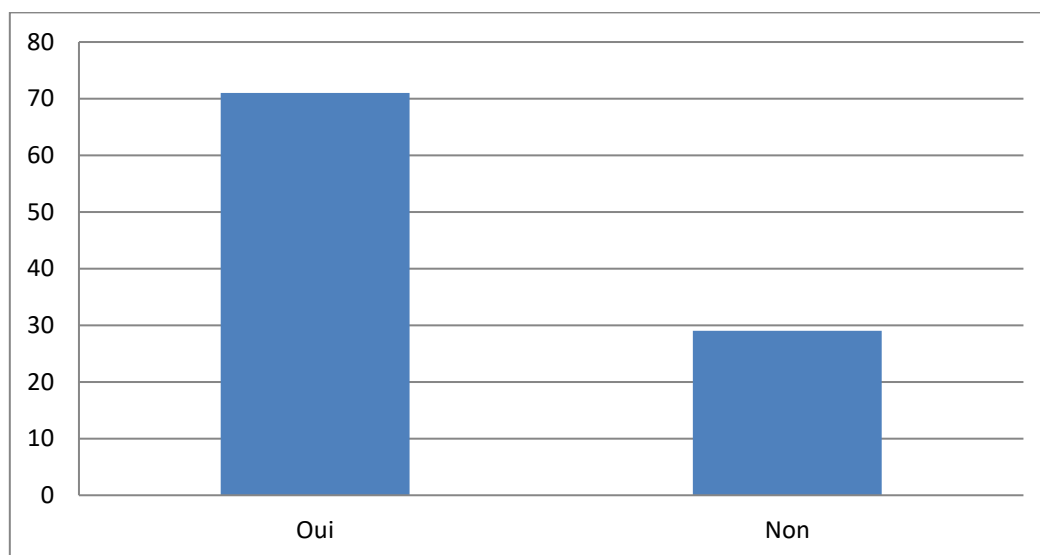


Figure 30 : Utilisation de poivre noir dans la préparation des plats

- **Plats dans lesquels le poivre noir est ajouté**

Parmi ceux qui ont répondu oui, nous avons constaté que la majorité ajoute du poivre noir à tous leurs plats, à hauteur de 49%, tandis que 13% l'ajoutent aux plats traditionnels et seulement 9% dans les soupes (**Figure 31**).

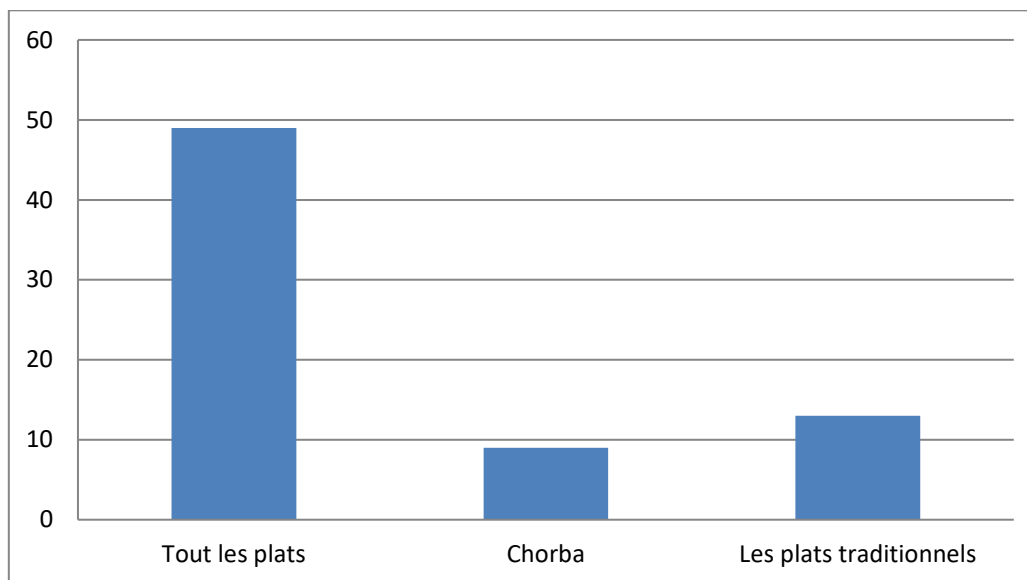


Figure 31 : Plats dans lesquels le poivre noir est ajouté

- **Utilisation de gingembre dans la préparation des plats**

Un taux de 82% des répondantes ne consomment pas de gingembre (**Figure 32**).

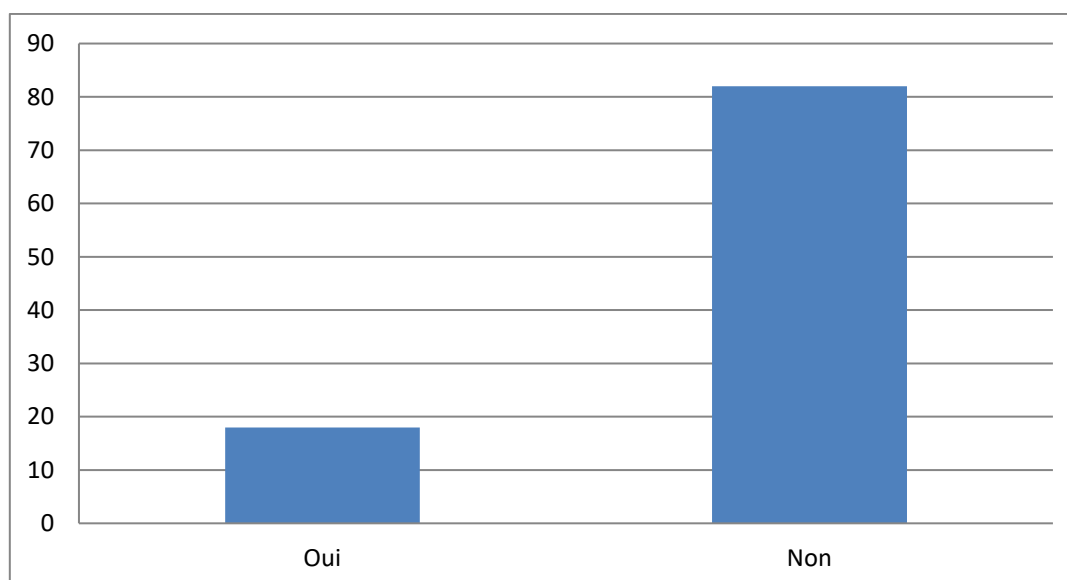


Figure 32 : Utilisation de gingembre dans la préparation des plats

- **Plats dans lesquels le gingembre est ajouté**

À partir des réponses affirmatives, nous avons constaté qu'une petite proportion utilise fréquemment le gingembre dans la préparation de leurs plats. Environ 10 % l'utilisent pour assaisonner la viande et le poisson, 5 % l'ajoutent dans le thé, et seulement 3 % l'incorporent dans le riz (**Figure 33**).

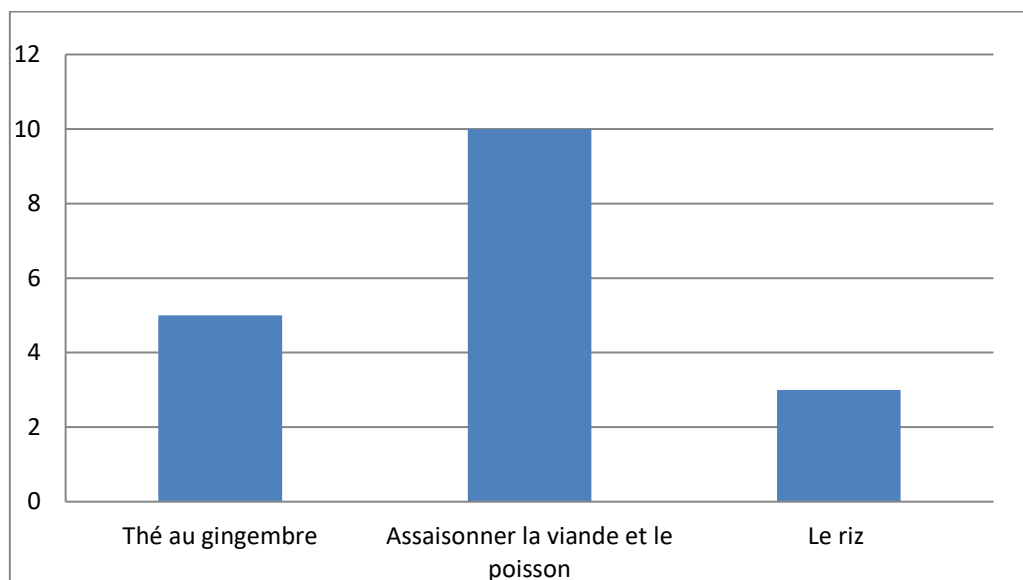


Figure 33 : Plats dans lesquels le gingembre est ajouté

- **Utilisation de girofle dans la préparation des plats**

Selon nos observations, il ressort que 40 % des répondants ont déjà utilisé le clou de girofle (**Figure 34**).

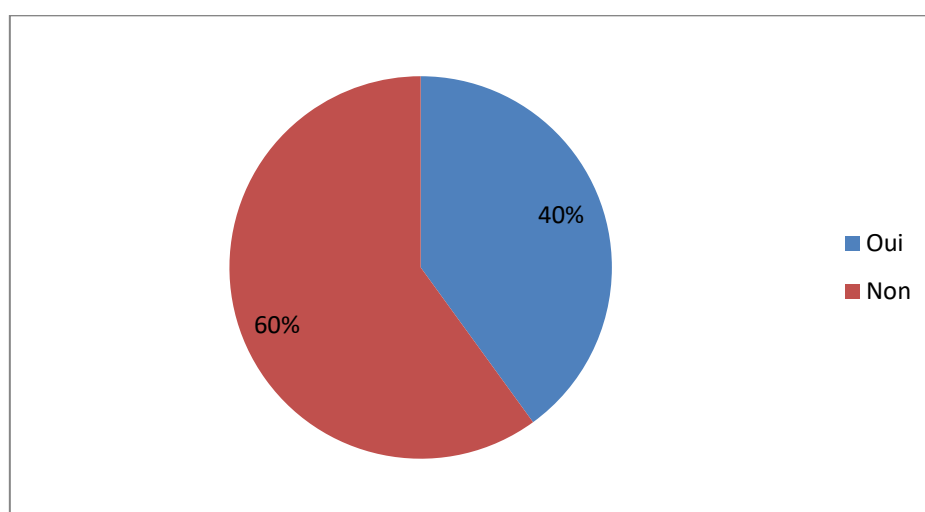


Figure 34 : Utilisation de girofle dans la préparation des plats

- **Plats dans lesquels le girofle est ajouté**

En interrogeant celles qui ont répondu oui, nous avons découvert que 56 % d'entre eux ajoutent du clou de girofle dans le makrode, 25 % l'ajoutent dans le tajine lahlou et seulement 18 % l'incorporent dans la préparation des gâteaux (**Figure 35**).

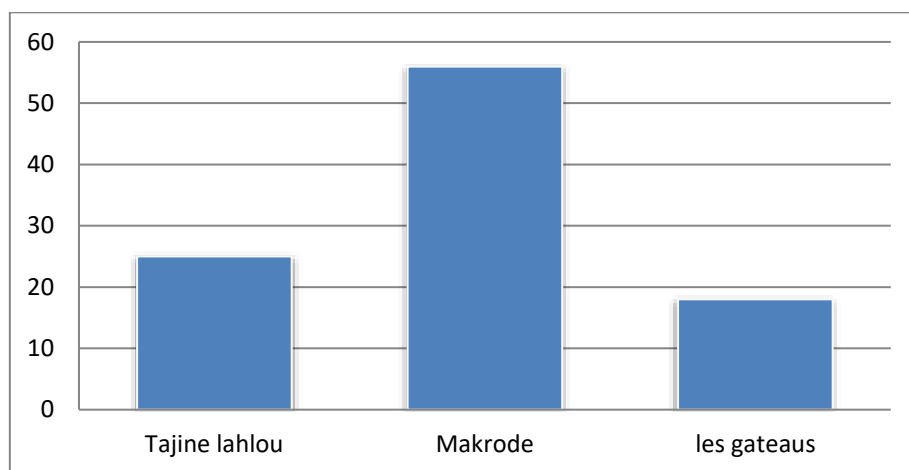


Figure 35 : Plats dans lesquels le girofle est ajouté

Ces résultats révèlent des habitudes d'utilisation des épices qui semblent refléter des traditions culinaires bien établies, avec une place prédominante pour le poivre noir, une utilisation plus limitée du gingembre, et une présence plus spécifique du clou de girofle dans certains plats traditionnels.

- **Niveau de croyance que le poivre noir, le gingembre et le girofle a des bienfaits pour la santé**

D'après les résultats de l'enquête, une grande majorité de femmes pensent que le poivre noir, le gingembre et le clou de girofle ont, en plus de leurs propriétés aromatiques, des avantages pour la santé lors de leur utilisation en cuisine.

A l'inverse, la proportion de femmes qui pensent le contraire est très faible. En effet, pratiquement aucune d'entre elles ne méconnaît les bienfaits du gingembre en particulier. Ces résultats montrent que les femmes sont très conscientes des atouts santé de ces épices courantes en cuisine, ce qui est un point positif en termes de sensibilisation et d'éducation nutritionnelle du public. Celles qui ignorent ces propriétés sont peu nombreuses et se composent principalement de personnes âgées et ayant un faible niveau d'éducation. Cela laisse penser que la connaissance des vertus santé des épices est probablement liée au niveau d'information et d'éducation des individus (**Figure 36,37,38**).

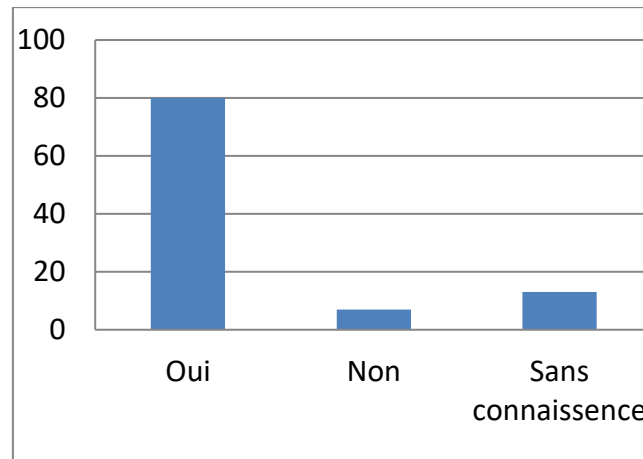


Figure 36 : Niveaux de croyance aux bienfaits du poivre noir

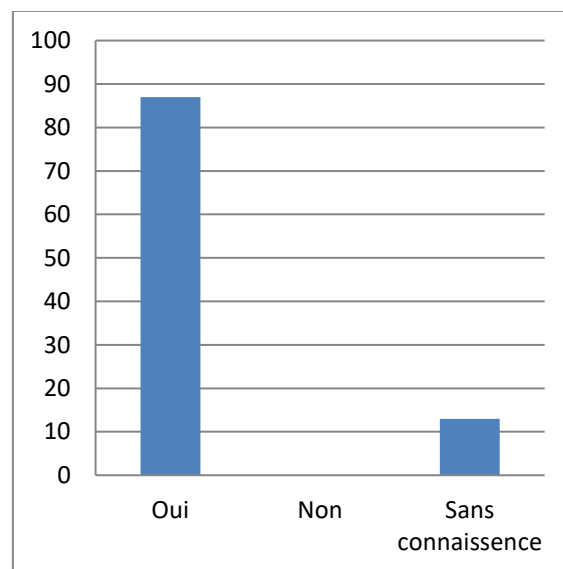


Figure 37 : Niveaux de croyance aux bienfaits du gingembre

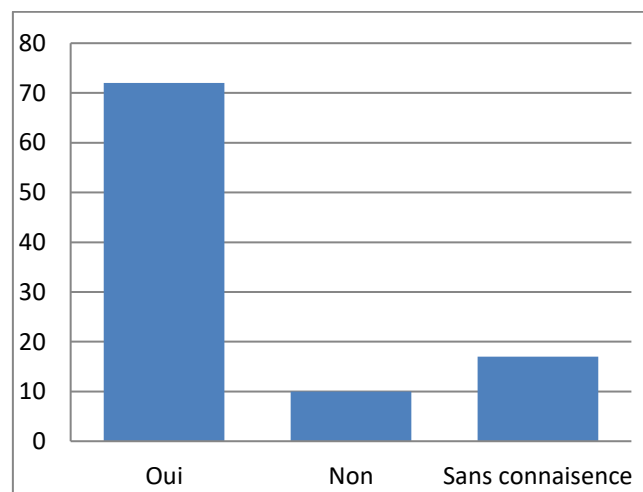


Figure 38 : Niveaux de croyance aux bienfaits du girofle

- Les bienfaits potentiels des trois épices étudiées

- Poivre noir

Selon les réponses affirmatives, une grande proportion de femmes considère que le poivre noir possède des propriétés anti-inflammatoires (32%) et anti-oxydantes (30%). En revanche, seulement 18% pensent qu'il a des bienfaits pour renforcer le système immunitaire. Cependant, aucune des répondantes n'estime que le poivre noir présente des avantages pour améliorer la digestion. Au contraire, elles considèrent qu'une consommation excessive peut nuire au système digestif (**Figure 39**).

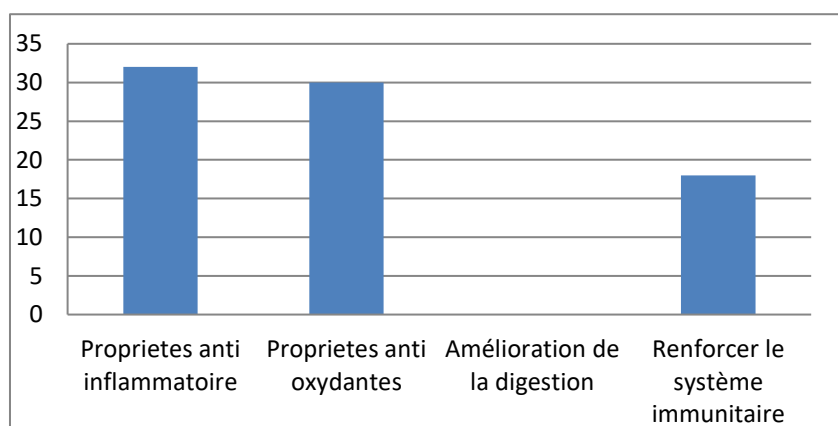


Figure 39 : Les bienfaits potentiels de poivre noir

- Gingembre

D'après les réponses affirmatives, nous avons constaté que la majorité croit que le gingembre a des propriétés anti-inflammatoires à hauteur de 29 % et qu'il renforce le système immunitaire à hauteur de 26 %. 21 % pensent qu'il a des avantages pour améliorer la digestion, tandis qu'une faible proportion, soit 11 %, pense qu'il a des propriétés anti-inflammatoires. Nous avons remarqué grâce à cette enquête que la plupart des femmes, qu'elles soient jeunes ou âgées, sont conscientes des bienfaits du gingembre (**Figure 40**).

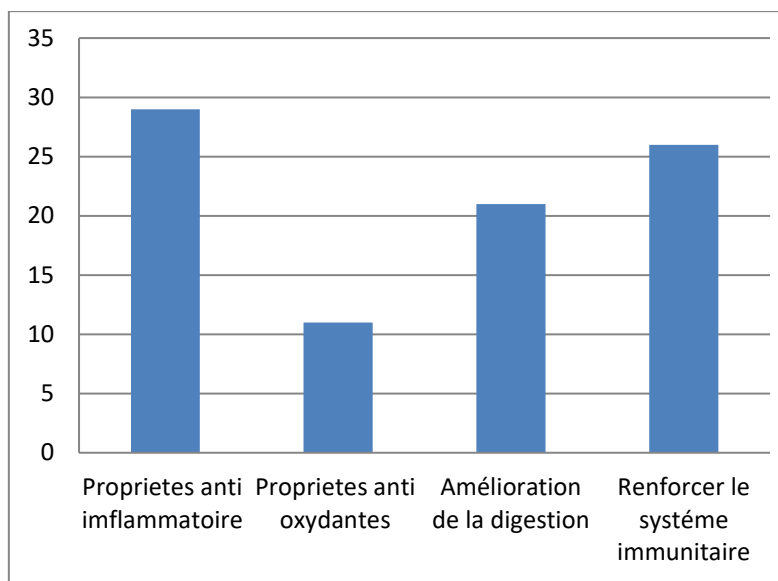


Figure 40 : Les bienfaits potentiels de gingembre

➤ **Girofle**

Concernant le clou de girofle et selon les réponses positives, nous avons constaté que la majorité des femmes croient qu'il a des propriétés anti-inflammatoires à hauteur de 41 % et des bienfaits pour renforcer le système immunitaire à hauteur de 27%. Seule une faible proportion, soit 17%, pense qu'il a des propriétés anti-oxydantes, et seulement 15% d'entre elles croient qu'il a des avantages pour améliorer la digestion (Figure 41).

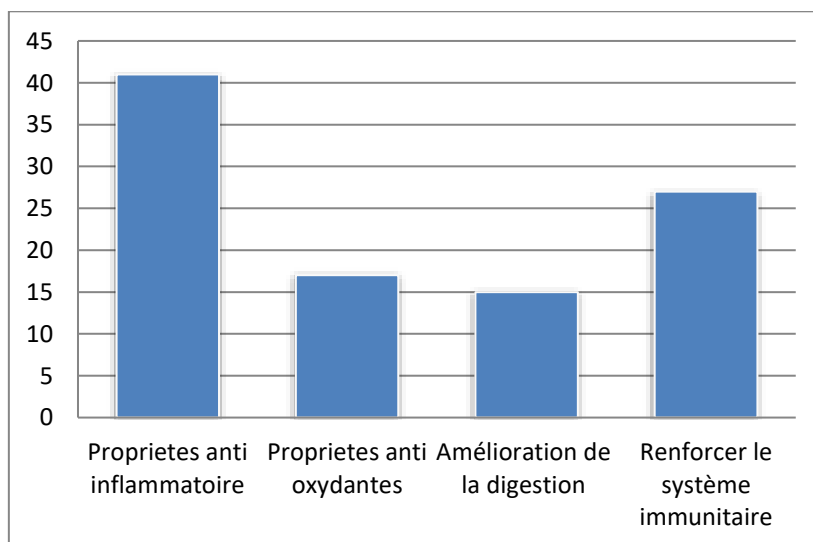


Figure 41 : Les bienfaits potentiels de girofle

- **Connaissance sur l'extraction des HEs du poivre noir, du gingembre et du girofle**

Selon les résultats, 79% des participantes savent qu'il est possible d'obtenir des huiles essentielles à partir du poivre noir, du girofle et du gingembre, contre 21% qui n'en ont pas connaissance (**Figure 42**).

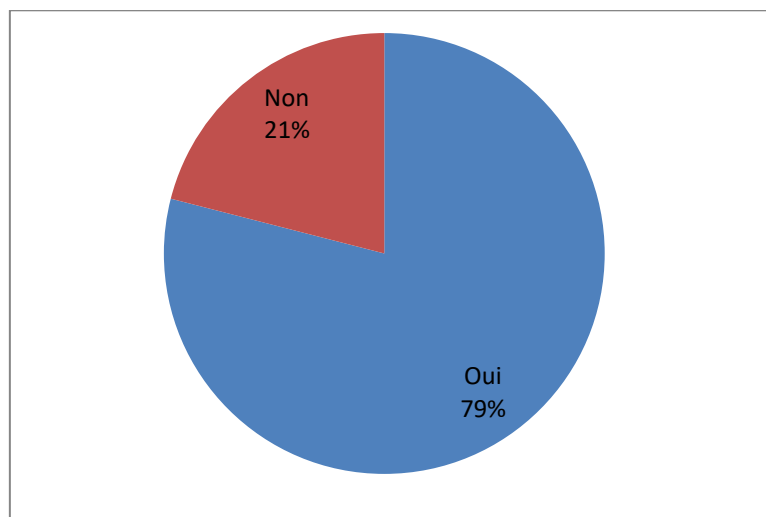


Figure 42 : Niveau de connaissance des femmes sur les huiles essentielles d'épices

- **Utilisation d'huile essentielle du poivre noir**

D'après les résultats de l'enquête, il apparaît que la totalité des femmes interrogées n'ont jamais utilisé l'huile essentielle de poivre noir (**Figure 43**). Ce constat révèle que malgré le fait que la grande majorité des femmes (79%) soient au courant de la possibilité d'extraire des huiles essentielles à partir d'épices comme le poivre noir, leur utilisation effective de ces huiles reste encore limitée. Ceci pourrait être à la présence de différentes barrières comme l'accessibilité, le coût et les habitudes, etc.

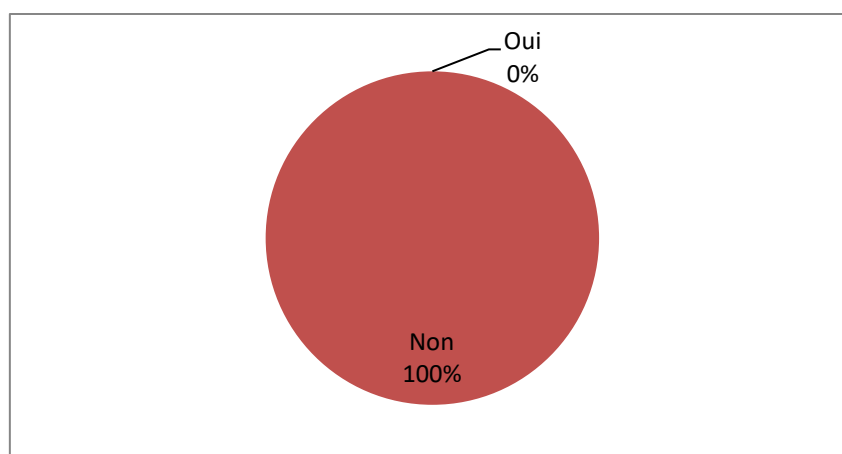


Figure 43 : Utilisation de l'huile essentielle du poivre noir

- **Utilisation de l'huile essentielle de gingembre**

Seulement un très faible pourcentage de femmes utilise l'huile essentielle de gingembre, soit 25%, tandis que 75% ne l'utilisent pas (**Figure 44**).

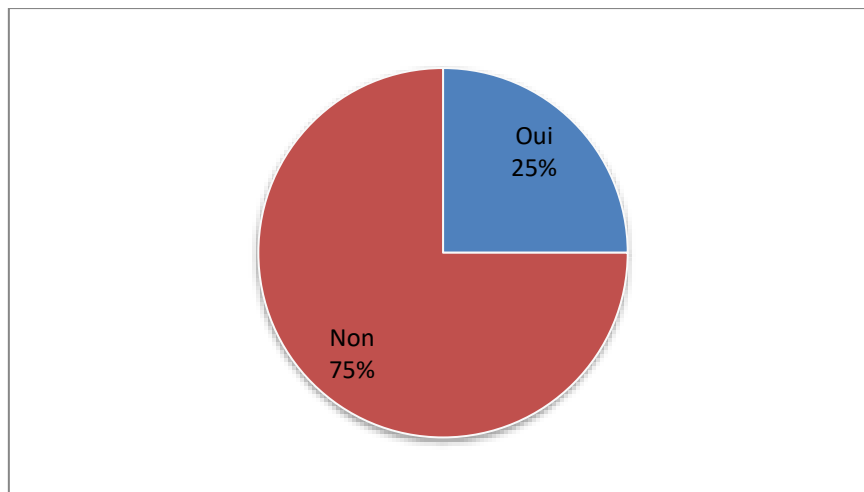


Figure 44 : Utilisation d'huile essentielle de gingembre

- **Modes d'utilisation d'huile essentielle de gingembre**

D'après nos observations, la plupart (11%) des personnes qui ont répondu oui utilisent l'huile essentielle de gingembre pour l'aromathérapie. Ce sont surtout des personnes âgées qui l'utilisent pour soulager les douleurs. Une proportion plus faible (9%) l'utilise pour la cuisine.

Enfin, seulement 5% des répondantes, principalement parmi les jeunes, utilisent cette huile essentielle de gingembre dans leurs soins de la peau (**Figure 45**).

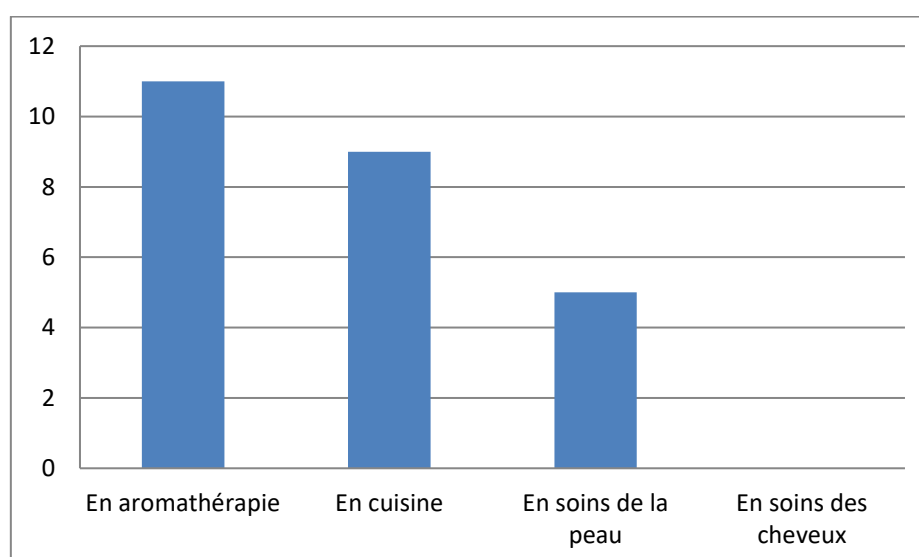


Figure 45 : Modes d'utilisation d'huile essentielle de gingembre

- **Utilisation de l'huile essentielle du girofle**

Dans notre étude, contrairement à l'huile essentielle de poivre noir et de gingembre, nous avons trouvé qu'un pourcentage élevé de femmes utilisent l'huile essentielle de clou de girofle, soit 67%, tandis que 33% ne l'utilisent pas (**Figure 46**).

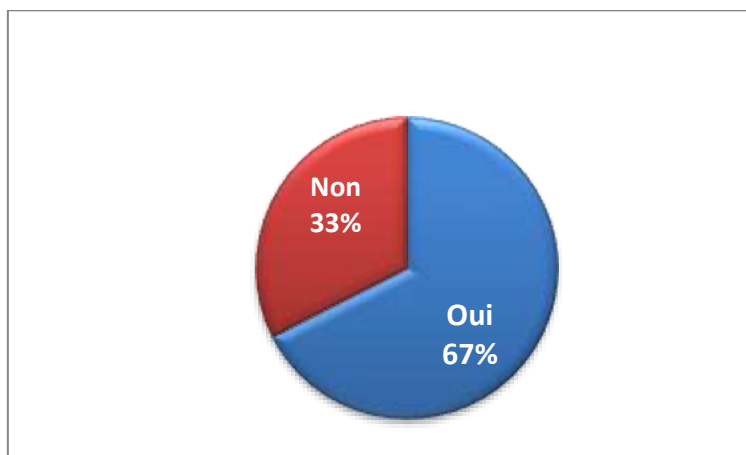


Figure 46 : Utilisation de l'huile essentielle du girofle

- **Modes d'utilisation d'huile essentielle de girofle**

D'après les données recueillies (**Figure 47**), parmi les femmes qui ont répondu oui, la plus grande proportion d'entre elles utilise l'huile essentielle de clou de girofle dans l'aromathérapie, avec un taux de 59%. 26% l'utilisent pour les soins des cheveux, tandis qu'une petite fraction, soit 15%, l'utilise pour les soins de la peau.

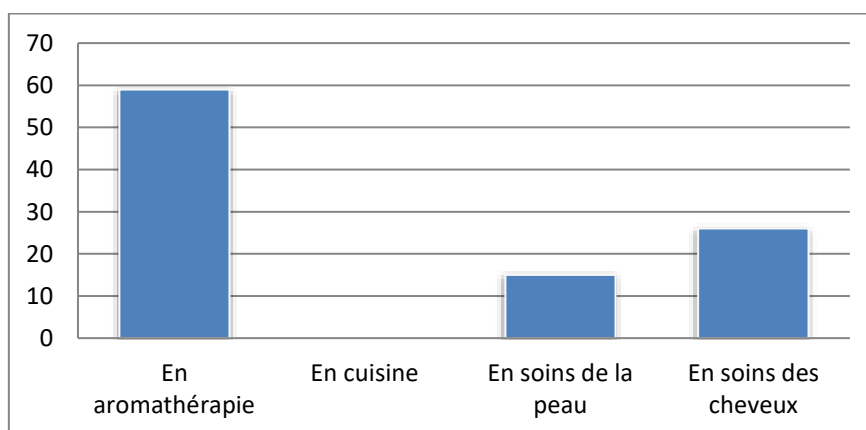


Figure 47 : Modes d'utilisation d'huile essentielle de girofle

- **Effets résultant de l'utilisation de l'huile essentielle de gingembre**

En analysant les réponses des enquêtées, nous avons constaté que les femmes qui utilisent l'huile essentielle de gingembre ont remarqué qu'elle avait des résultats et des effets

significatifs. Parmi ceux-ci, 7% ont remarqué sa forte efficacité pour soulager la toux. Nous avons également observé que 5% des femmes qui l'utilisent ont constaté qu'elle aide à perdre du poids, tandis que 4% ont remarqué son efficacité pour soulager la douleur, la plupart d'entre elles étant des femmes âgées (**Figure 48**). Ces différents effets positifs rapportés par les utilisatrices de l'huile essentielle de gingembre montrent que cette épice dispose de nombreux atouts santé

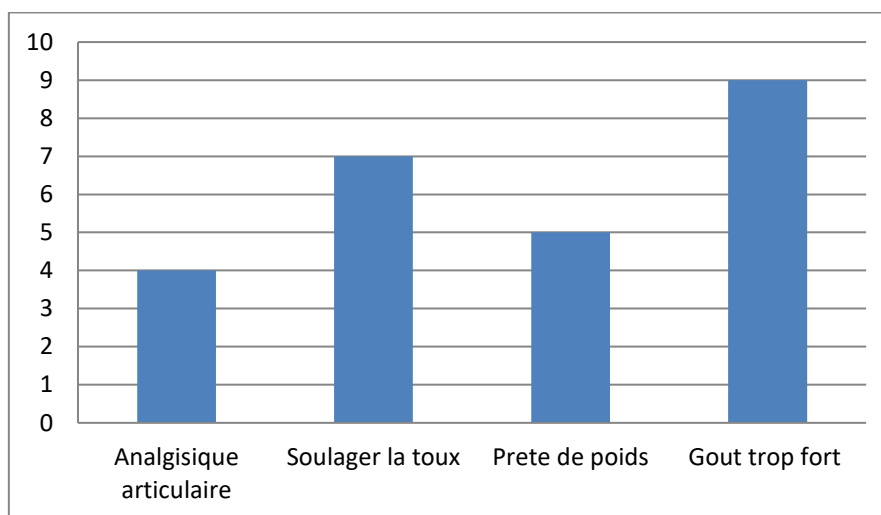


Figure 48 : Effets résultant de l'utilisation de l'huile essentielle de gingembre

- **Effets résultant de l'utilisation de l'huile essentielle de girofle**

D'après les conclusions, nous avons trouvé que les femmes qui ont utilisé l'huile essentielle de clou de girofle ont remarqué qu'elle avait un effet efficace dans le traitement des douleurs dentaires de 59% ainsi que dans l'épaississement des cheveux de 26%. Quant à 15% des jeunes, ils ont constaté de bons résultats dans le traitement de l'acné (**Figure 49**). Cela confirme l'intérêt croissant pour les huiles essentielles et les soins naturels.

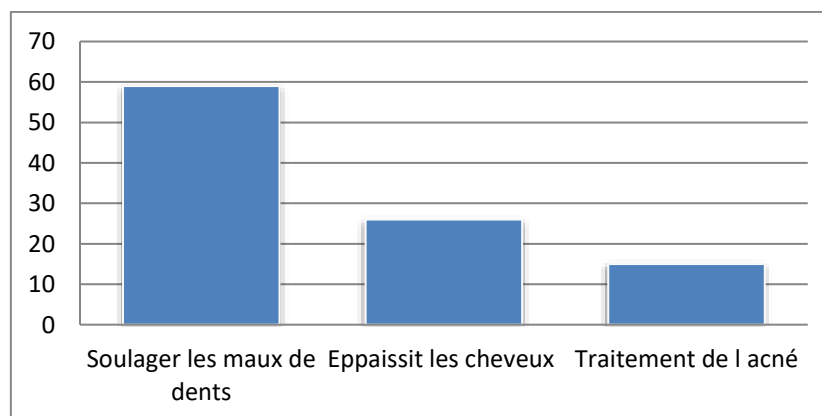


Figure 49 : Effets résultant de l'utilisation de l'huile essentielle de girofle

- **Niveau de connaissance de la possibilité d'utiliser les huiles essentielles comme conservateur naturel**

D'après les chiffres recensés (**Figure 50**), 45% des femmes étaient au courant que certaines huiles essentielles peuvent être utilisées comme conservateurs, contrairement à 55%.

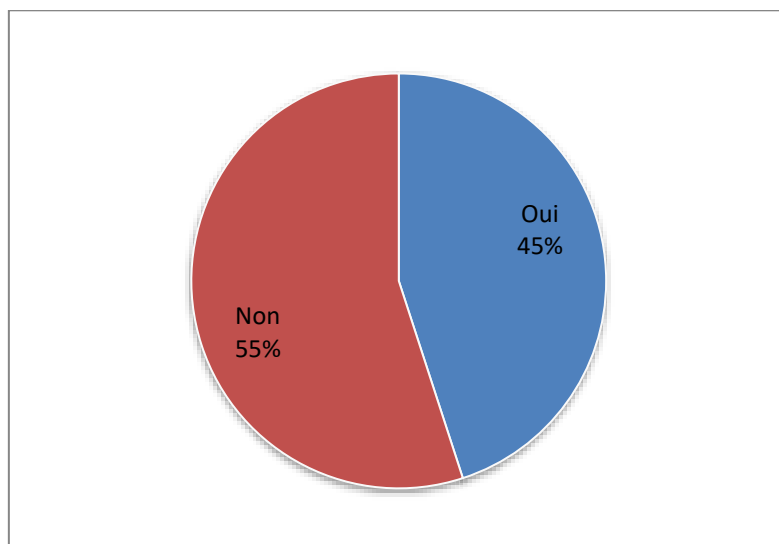


Figure 50 : Niveau de connaissance de la possibilité d'utiliser les huiles essentielles comme conservateur naturel

- **Degré d'acceptation des HEs des trois épices**

Les chiffres représentés ci-dessous (**Figure 51**) montrent que l'utilisation régulière d'huiles essentielles d'épices comme le poivre noir, le girofle et le gingembre dans la cuisine n'est pas encore complètement acceptée, malgré la connaissance de leurs propriétés bénéfiques. En effet, près de la moitié des femmes interrogées (44%) ne seraient pas prêtes à les inclure dans leurs recettes, même en sachant leurs vertus antibactériennes et conservatrices. Cela suggère qu'il y a encore des méfiances auprès d'une partie du public féminin. Cependant, le fait qu'un pourcentage non négligeable (43%) soit ouvert à cette utilisation culinaire des huiles essentielles est encourageant. Cela montre qu'il y a un potentiel d'adoption, à condition de bien communiquer sur les avantages de ces produits.

Le fait que 13% des femmes soient indécises indique également qu'un travail de sensibilisation et de démonstration pourrait convaincre une part significative de ce public cible.

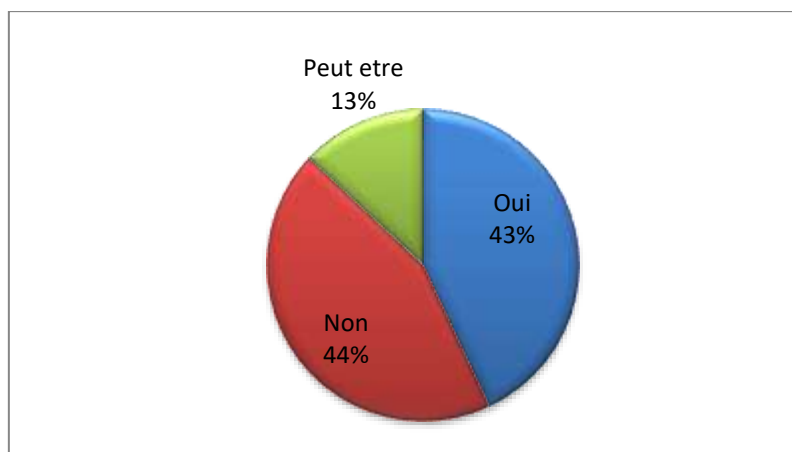


Figure 51 : Attitudes des femmes enquêtées face à l'utilisation culinaire des HEs

- **Préoccupations concernant l'utilisation des HEs des trois épices étudiés**

Pour ce qui est des craintes ou des problèmes que les femmes rencontrent concernant l'utilisation d'huiles essentielles de poivre noir, de gingembre et de clou de girofle, il y a eu une variation et une divergence dans les réponses (**Figure 52**). La plus grande proportion de femmes, soit 39%, craignait les effets potentiels sur la santé, 20% craignaient la force de leur goût ou de leur odeur, 12% redoutaient les interactions avec les médicaments, et 13% manquaient de connaissances sur les volumes. Une petite proportion de 9% craignait de développer des allergies à ces huiles essentielles, et 5% étaient préoccupées par leur coût. Une très faible proportion, soit 2%, craignait des problèmes d'accessibilité aux huiles essentielles.

En résumé, ces résultats montrent que pour favoriser davantage l'adoption des huiles essentielles en cuisine, il faudra travailler prioritairement sur la dissipation des craintes sanitaires, sensorielles et d'utilisation, à travers une communication et une formation adaptée des consommateurs.

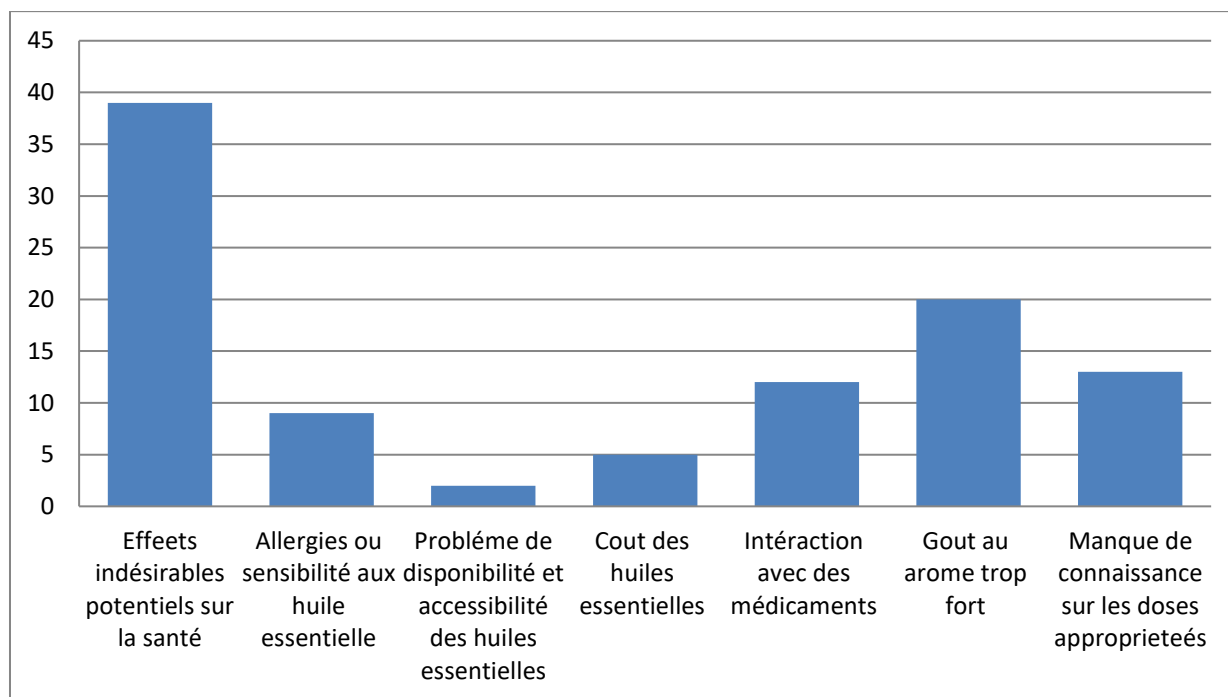


Figure 52 : Préoccupation concernant l'utilisation des HEs des trois épices étudiés

IV.2. Résultats de l'étude expérimentale sur les huiles essentielles

IV.2.1. Rendement en huiles essentielles

Le rendement de l'huile essentielle (HEs) extraite par hydrodistillation à partir de poivre noir, de gingembre et de clous de girofle est présenté ci-dessous (**Tableau VIII**).

Tableau VIII: Taux de rendement en HE des trois plantes étudiées

Plante	Poids végétal (g)	Poids d'HE (g)	Rendement (%)
Poivre noir	100	0,21	0,21
Gingembre	100	0,10	0,10
Le clou de girofle	100	1,60	1,60

Le rendement en huile essentielle de poivre noir est inférieur à ceux rapportés par Kurian *et al.* (2002), Utpala *et al.* (2008) et Rmili *et al.* (2014) qui ont enregistré des rendements allant de 1,24 à 5,06 %, révélant une richesse en molécules bioactives. Cependant, le

rendement en huile dépend de plusieurs facteurs, notamment la variété, la région de culture, l'âge du produit, les parties de la plante utilisées et les méthodes d'extraction employées. À titre d'exemple, Dosoky *et al.* (2019) ont rapporté pour six différentes variétés de *P. nigrum* cultivés dans l'État de Pará au Brésil, ("Bragantina", "Cingapura", "Clonada", "Equador", "Guajarina" et "Uthirankota") des rendements en huile essentielle de 0,86%, 0,21%, 0,85%, 0,64%, 1,49% et 1,06%, respectivement.

Concernant l'huile essentielle de gingembre, notre rendement de 0,10% diffère de ceux obtenus dans d'autres études. Beggas et Bendoukhane (2017) ont en effet rapporté un rendement de 13,62% pour 50 g de poudre, tandis qu'Amari (2016) a obtenu un rendement de 5,37% pour 25 g de poudre. Nos résultats sont également différents de ceux d'Ogudo *et al.* (2014), qui ont trouvé un rendement de 1,62% pour 25 g de poudre. Cette variabilité des rendements en huile essentielle de gingembre pourrait être liée à des facteurs tels que l'origine géographique, les conditions agronomiques et l'état des rhizomes (frais ou secs), comme l'ont suggéré Mishra *et al.* (2012).

Quant au rendement en huile essentielle des clous de girofle, il est nettement supérieur à celui obtenu par Hamad *et al.* (2017), qui ont enregistré un rendement de 0,75%. En revanche, nos résultats sont significativement inférieurs à ceux de Banouh et Azzouz (2019), qui ont obtenu un taux de 3,4%.

Ces variations enregistrées dans les rendements en huile essentielle reposent sur de nombreux facteurs. Ces paramètres incluent la composition chimique et les caractéristiques physiques de la matière végétale, la méthode de séchage, de broyage et les conditions d'extraction utilisées, l'espèce, la période de récolte, les pratiques culturelles, la technique d'extraction, les facteurs climatiques (chaleur, froid), la géographie (altitude, nature du sol, taux d'exposition au soleil) et la nature des plantes aromatiques (Descamps-Marie, 2008 ; Marzouki *et al.*, 2009 ; Olle *et al.*, 2010 ; Alka *et al.*, 2017).

IV.2.2. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles extraites

Les caractéristiques organoleptiques des huiles extraites de chaque plante étudiée sont présentées dans le tableau IX.

Tableau IX: Propriétés organoleptiques des HE du poivre noir et du gingembre et girofle

Huile essentielle	Couleur	Odeur	Saveur
Huile de poivre noir	Transparent	Forte odeur épicée	Piquante
Huile de gingembre	Jaune très clair	Forte odeur épicée	Piquante
Huile de girofle	Jaune clair	Forte odeur épicée	Piquante

IV.3. Résultats de l'étude de l'activité antibactérienne des trois huiles essentielles testées

Quatorze souches d'origine alimentaire ont été sélectionnées pour cette étude, six souches à Gram négatif (du genre *Salmonella*, *Escherichia* et *Pseudomonas*) et huit souches à Gram positif appartenant aux genres *Staphylococcus*, *Bacillus* et *Listeria*.

IV.3.1. Résultats de l'aromatogramme

L'activité antibactérienne se mesure par la méthode d'aromatogramme, qui détermine la sensibilité des différentes espèces bactériennes à une huile essentielle donnée. Généralement, les micro-organismes sont classés comme susceptibles, intermédiaires ou résistants, en fonction du diamètre de la zone d'inhibition (**Wilkinson, 2006**).

L'étude menée par le laboratoire de recherche en sciences appliquées à l'alimentation de Laval (RESALA) a rapporté que les huiles essentielles ont majoritairement un effet antibactérien (**Atmani et Baira, 2015**). Cet effet se divise en trois phases générales : Premièrement, les molécules de l'huile essentielle attaquent la membrane de la bactérie. Deuxièmement, l'huile essentielle acidifie l'intérieur de la bactérie pour bloquer la production d'énergie et de composants de structure. Enfin, si la bactérie survit, l'huile attaque directement le matériel génétique de cette dernière (**Atmani et Baira, 2015**).

Néanmoins, les résultats de cette étude (**Tableau X**) révèlent une variation dans l'efficacité de l'huile essentielle de poivre noir, de gingembre et de clou de girofle, ainsi que des trois antibiotiques testés (Amoxicilline, Rifampicine et Norfloxacine) vis-à-vis des souches étudiées.

Tableau X: Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées par aromatogramme

Souches bactériennes	Diamètres						
	AML	RD	NOR	HEpn	HEg	HEgif	DMSO
<i>Salmonella Typhimurium</i>	R	R	ND	6 mm (-)	6 mm (-)	18 mm (++)	6 mm (-)
<i>Salmonella Kentucky</i>	R	R	R	6 mm (-)	6 mm (-)	17 mm (++)	6 mm (-)
<i>Salmonella Enteritidis</i>	I	R	ND	6 mm (-)	6 mm (-)	15 mm (++)	6 mm (-)
<i>Listeria monocytogenes</i>	R	ND	I	6 mm (-)	8 mm (-)	28 mm (+++)	6 mm (-)
<i>Staphylococcus aureus</i>	R	ND	S	6 mm (-)	6 mm (-)	16 mm (++)	6 mm (-)
<i>Staphylococcus aureus</i>	R	ND	S	6 mm (-)	6 mm (-)	13 mm (+)	6 mm (-)
<i>Salmonella Typhimurium</i>	R	S	S	6 mm (-)	6 mm (-)	20 mm (+++)	6 mm (-)
<i>Bacillus cereus</i>	S	S	S	6 mm (-)	8 mm (-)	26 mm (+++)	6 mm (-)
<i>Staphylococcus aureus</i>	R	ND	R	6 mm (-)	6 mm (-)	13 mm (+)	6 mm (-)
<i>Staphylococcus aureus</i>	R	ND	R	6 mm (-)	6 mm (-)	12 mm (+)	6 mm (-)
<i>Pseudomonas sp</i>	R	ND	S	6 mm (-)	6 mm (-)	24 mm (+++)	6 mm (-)
<i>Escherichia coli</i>	S	ND	S	6 mm (-)	6 mm (-)	20 mm (+++)	6 mm (-)
<i>Salmonella Richmond</i>	S	ND	R	6 mm (-)	6 mm (-)	22 mm (+++)	6 mm (-)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	R	ND	R	8 mm (-)	6 mm (-)	13 mm (+)	6 mm (-)

AML : Amoxicilline ; RD : Rifampicine ; NOR : Norfloxacin ; Hepn : Huile essentielle du poivre noire ; HEg : Huile essentielle du gingembre ; HEgif : Huile essentielle du girofle ; S : sensible ; I : intermédiaire ; R : Résistante ; ND : Non défini

L'huile essentielle de girofle semble avoir une très forte activité antibactérienne contre un large spectre de bactéries. Elle a montré des diamètres d'inhibition allant de 12 à 28 mm pour les souches testées. Cette activité est particulièrement remarquable contre les bactéries Gram-positives comme *Listeria monocytogenes* avec un diamètre d'inhibition de 28 mm et *Bacillus cereus* avec un diamètre de 26 mm.

L'huile essentielle de girofle a également été efficace contre certaines bactéries Gram-négatives résistantes aux antibiotiques testés, comme *Salmonella* Typhimurium avec qui la zone d'inhibition était de 20 mm de diamètre, *Salmonella Kentucky* (17 mm) et *Pseudomonas* sp. (24 mm).

Ces résultats concordent avec les données de la littérature, dans lesquelles l'huile essentielle de clou de girofle avait une bonne activité antibactérienne. On peut citer les résultats de **Dikwa et al. (2019)**, **Selles et al. (2020)**, **Teles et al. (2021)** et **Al-Mijalli et al. (2023)**.

Les résultats ont également indiqué que cette activité ne dépend pas du profil de sensibilité aux antibiotiques. Ceci est en accord avec les résultats de **Nait Irahah et al., (2020)**.

De nombreuses études ont montré que les huiles essentielles ont tendance à agir plus fortement sur les bactéries à Gram positif que sur les bactéries à Gram négatif probablement en raison des différences de composition de la paroi cellulaire (**Slavin et al., 2017 ; Khameneh et al., 2019 ; Helal et al., 2019 ; Yu et al., 2020 ; Teles et al., 2021**). Cependant, dans la présente étude, ainsi que dans celle de **Nait Irahah et al. (2020)**, cette tendance générale n'a pas été observée. Cela souligne la complexité des interactions entre les huiles essentielles et les différentes souches bactériennes, qui ne se résument pas uniquement à la classification Gram. Ces résultats atypiques méritent d'être approfondis afin de mieux comprendre les mécanismes spécifiques impliqués dans l'activité antibactérienne des huiles essentielles, au-delà des simples différences Gram positif/Gram négatif. Une analyse plus détaillée des composés actifs et de leurs cibles cellulaires pourrait permettre d'expliquer ces observations.

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* peut être attribuée à son composé majoritaire, l'eugénol (**Selles et al., 2020**) qui agit sur les bactéries de plusieurs manières (**Nazzaro et al., 2013**):

- Il modifie la membrane cellulaire, affectant le transport des ions et de l'ATP, et changeant le profil des acides gras bactériens.

- Il inhibe diverses enzymes bactériennes comme l'ATPase et la carboxylase d'histidine.
- Il démontre la capacité de désintégrer la membrane cellulaire.

Ces effets résultent de la dénaturation des protéines par l'eugénol et de sa réaction avec les phospholipides de la membrane, ce qui altère sa perméabilité (**Guan et al., 2007**) et entraîne la mort de l'organisme (**Devi et al., 2010**), ainsi que le ciblage des plasmides de la résistance R (**Nait Irahah et al., 2020**).

En ce qui concerne l'huile essentielle de gingembre, elle n'a pas montré d'activité antibactérienne, avec des diamètres d'inhibition de seulement 6 à 8 mm (considérés comme une absence d'activité) contre l'ensemble des souches bactériennes testées.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux de (**Kamazeri et al., 2012**) qui ont rapporté que l'huile essentielle de gingembre inhibe totalement la croissance des bactéries suivantes : *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*. De même, cette HE présente une activité très élevée contre *Staphylococcus aureus*, avec un diamètre d'inhibition de l'ordre de 18,3 mm. Une autre étude récente menée par **Galgano et al. (2022)** a révélé que l'HE de gingembre a réussi à réduire la croissance bactérienne de toutes les souches étudiées. Cependant ces mêmes auteurs ont observé que parmi plusieurs huiles essentielles testées, seule l'efficacité de l'HE de gingembre était de manière volume-dépendante. Il est donc possible que l'activité antibactérienne de notre huile ne soit pas observable aux volumes que nous avons testés. Des études complémentaires évaluant l'effet de différentes concentrations de notre huile seraient nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

A l'instar de l'HE de gingembre, celle de poivre noir n'était pas active contre toutes les souches étudiées (diamètres de 6 à 8 mm). Nos résultats ne sont pas conformes à ceux de **Shiva et al., (2013)** qui ont observé une activité antibactérienne contre toutes les bactéries testées avec des zones d'inhibition allant à 18 mm obtenue avec 100 µl de l'HE. Cela pourrait être attribué à la différence des volumes de poivre noir utilisée. En effet, nous avons utilisé 5 µL d'huile, alors qu'eux en ont utilisé 100 µL. Il est possible que l'utilisation des mêmes quantités d'huile essentielle de poivre noir aurait conduit à des résultats similaires. Ces auteurs avaient également constaté que le poivre noir était plus actif contre les bactéries Gram positives que Gram négatives. Quant aux travaux de **Ram et al. (2010)** qui ont porté sur l'extrait de *Piper nigrum*, ils ont montré que cet extrait était capable d'inhiber la croissance de trois souches bactériennes : *Bacillus sp.*, *E. coli* et *S. aureus*.

D'autres facteurs pourraient également intervenir, tels que la qualité de la plante de poivre noir utilisée pour extraire l'huile ou la résistance variable des souches bactériennes.



Figure 53 : Activité antibactérienne de l'HE de gingembre sur *Salmonella* Enteritidis (photo réelle)

Plusieurs études ont montré que l'activité antibactérienne des extraits végétaux dépend de nombreux paramètres tels que le type de microorganismes, la concentration, la nature de l'extrait, ainsi que la composition en métabolites secondaires (Ghedadba *et al.*, 2014). De plus, des facteurs écologiques comme la température, l'humidité ou la nature du sol peuvent influencer la composition chimique des huiles essentielles (Oliveira *et al.*, 2005). La période de récolte est également un élément déterminant, notamment pour les espèces de la famille des Lamiacées (Hussain, 2009 ; Bounatirou *et al.*, 2007). Enfin, la variabilité des résultats observés peut s'expliquer par des différences de méthodologie, de microorganismes testés et d'huiles essentielles utilisées (Pattnaik *et al.*, 1997 ; Ghasemian, 2019).

IV.3.2. Résultats du test de micro-Atmosphère

Concernant l'activité antibactérienne de la fraction volatile des huiles, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau XI.

Tableau XI : Valeurs des diamètres d'inhibition par la phase volatile des souches testées

Souche	HEpo	HEg	HEgif
<i>Salmonella</i> Typhimurium	0	0	0
<i>Salmonella</i> Kentucky	0	0	0
<i>Salmonella</i> Enteritidis	0	0	0
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	0	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0
<i>Salmonella</i> Typhimurium	0	0	0
<i>Bacillus cereus</i>	0	0	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0
<i>Pseudomonas</i> sp	0	0	0
<i>Escherichia coli</i>	0	0	0
<i>Salmonella</i> Richmond	0	0	16
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	0	0

Au cours de notre étude, nous avons observé l'absence de toute zone d'inhibition causée par les composés volatils des huiles de poivre noir et de gingembre pour toutes les souches bactériennes examinées, qu'elles soient de Gram positif ou de Gram négatif (Figure 54).

En ce qui concerne l'huile essentielle de girofle, nous n'avons observé aucune zone d'inhibition pour les souches bactériennes testées, à l'exception de *Salmonella* Richmond à Gram négatif, qui a montré une inhibition de 16 mm.

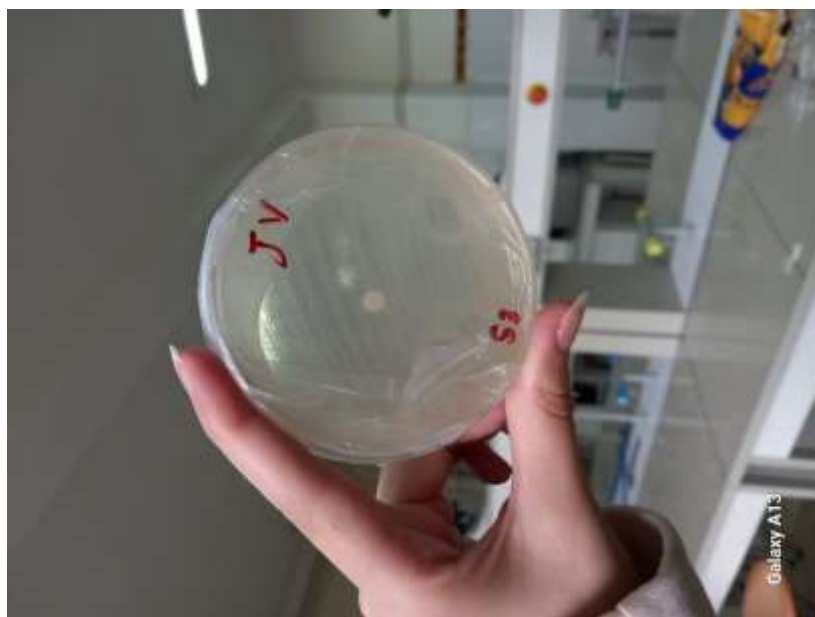


Figure 54 : Résultat de méthode microatmosphère de l'HE de gingembre sur *Salmonella* Enteritidis (photo réelle)

IV.3.3. Détermination des concentrations minimales inhibitrice CMI et bactéricide CMB

Les résultats de l'évaluation des concentrations minimales inhibitrices et bactéricides de l'huile essentielle de girofle sont présentés dans le tableau XII

Tableau XII : Valeurs des CMI et CMB de l'HE de girofle

Souches	CMI (v/v)	CMB (v/v)	Rapport CMB/CMI
<i>Salmonella</i> Typhimurium	3,12 %	6,25%	2
<i>Salmonella</i> Kentucky	0,39%	0,78%	2
<i>Salmonella</i> Enteritidis	0,78%	>25%	32
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,19%	>25%	132
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,78%	3,12%	4
<i>Staphylococcus aureus</i>	1,56%	<1,56%	1
<i>Salmonella</i> Typhimurium	1,56%	3,12%	2
<i>Bacillus cereus</i>	0,78%	<1,56%	2
<i>Staphylococcus aureus</i>	3,12%	6,25%	2
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,78%	1,56%	2
<i>Pseudomonas</i> sp	1,56%	3,12%	2
<i>Escherichia coli</i>	0,78%	1,56%	2
<i>Salmonella</i> Richmond	3,12%	>25%	8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0,78%	1,56%	2

La méthode de micro-dilution en milieu liquide sur plaque a été utilisée pour déterminer les CMI (**Figure 55**). Cette technique s'avère performante et efficace pour déterminer la sensibilité des bactéries aux agents antimicrobiens **Kumari et al. (2023)**, et permet d'identifier les plus faibles concentrations d'antimicrobiens nécessaires pour inhiber la croissance bactérienne. Cela présente deux avantages importants :

- Aspect économique : la connaissance des CMI permet d'utiliser la quantité minimale d'agent antimicrobien, évitant ainsi un gaspillage de ressources.
- Aspect sanitaire : l'utilisation des concentrations minimales inhibitrices réduit les risques d'intoxication liés à l'application de quantités excessives d'antimicrobiens notamment dans le cas des huiles essentielles où les volumes précises tolérées ne sont pas encore complètement connues.

Parmi les trois huiles essentielles étudiées, nous nous sommes concentrés uniquement sur la détermination de la CMI de l'huile essentielle de girofle. Cela s'explique par le fait que cette huile a montré l'activité antibactérienne la plus encourageante par rapport aux deux autres.

Les tests sur l'huile essentielle de clou de girofle ont révélé que les valeurs de la CMI et de la CMB varient selon les souches bactériennes. Les résultats ont montré que les CMI les plus efficaces ont été observées sur la bactérie *Listeria monocytogenes*, avec une valeur de 0,19%. Ces données sont en accord avec les résultats de l'aromatogramme, qui ont révélé le plus grand diamètre d'inhibition (28 mm) pour cette même souche bactérienne. Ces observations soulignent l'efficacité particulière de l'HE de girofle contre *Listeria monocytogenes*, qui est une bactérie pathogène capable de contaminer une grande variété de produits alimentaires crus et transformés. Les intoxications alimentaires causées par la consommation d'aliments contaminés par cette bactérie ont un impact économique et sanitaire important à l'échelle mondiale (**de Oliveira et al., 2013**). Nos résultats corroborent ceux de **Iseppi et al. (2024)** qui ont rapporté une bonne activité antibactérienne contre *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes* et *Staphylococcus aureus*.

En revanche, la concentration la moins efficace a été enregistrée avec une souche *Staphylococcus aureus*, et souche *Salmonella* Typhimurium et *Salmonella* Richmond à 3,12%. Les autres souches ont été inhibées par l'huile essentielle de clou de girofle à des concentrations allant de 0,39% à 1,56%. Cette variabilité dans la réponse d'une souche à l'autre au sein de la même espèce bactérienne (*Staphylococcus aureus* et *Salmonella*

Typhimurium) souligne l'importance de tester plusieurs souches représentatives pour évaluer l'activité d'un agent antimicrobien.



Figure 55 : Evaluation des CMI de l'HE du girofle vis-à-vis les différentes souches bactériennes testées (photo réelle)

Cependant, les valeurs des CMB (**Figure 56**) présentaient à leurs tours une variabilité, entraînant des rapports CMB/CMI inférieurs ou égaux à 4 pour la plupart des souches testées. Ceci indique que l'huile essentielle de clou de girofle possède une action bactéricide sur ces bactéries. *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Enteritidis et *Salmonella* Richmond ont toutes montré des rapports supérieurs à 4, indiquant ainsi que le clou de girofle avait un effet bactériostatique sur celles-ci.

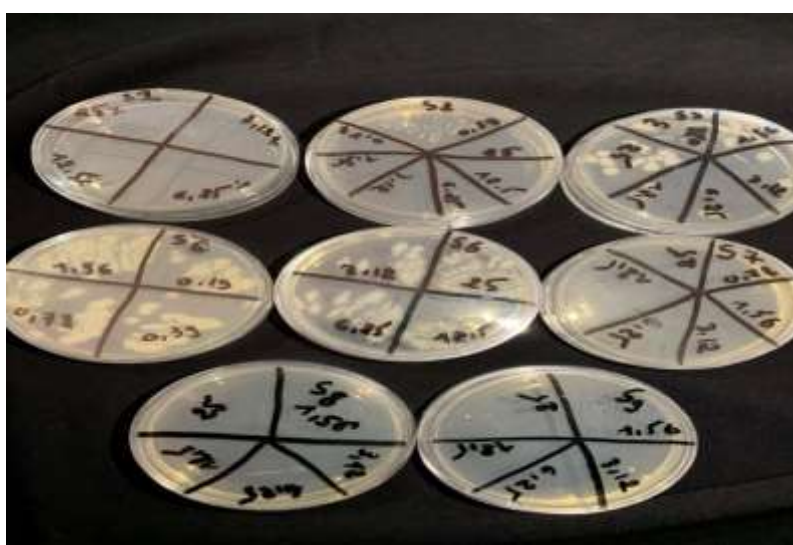


Figure 56 : Evaluation des CMB de l'HE du girofle vis-à-vis les différentes souches bactériennes testées (photo réelle)

Algiannis et al. (2001) proposent une classification basée sur les valeurs des actions inhibitrices des extraits de plantes, selon les valeurs obtenues de CMI. Lorsque la valeur est égale à 500 µg/ml, les extraits sont considérés comme de puissants inhibiteurs. Si elle se situe entre 600 et 1500 µg/ml, ils sont des inhibiteurs modérés, et si la valeur dépasse 1600 µg/ml, les extraits sont de faibles inhibiteurs.

Cependant, les CMI obtenues dans notre étude ne peuvent pas être directement comparés aux valeurs de cette classification. En effet, les CMI ont été déterminées ici en utilisant des dilutions volumétriques (v/v) plutôt que des concentrations massiques (µg/ml).

Le volume des huiles essentielles influence l'activité antibactérienne : plus le volume de l'huile essentielle augmente, plus les chances d'inhibition sont importantes (**Emiroğlu et al., 2010**). Cependant, nous ne pouvons pas déterminer des valeurs seuils pour obtenir des efficacités, en effet, **Gill et Holley, 2004** ont observé une croissance bactérienne à fortes volumes et l'inhibition à faibles volumes trouvées avec l'extrait préparé des clous de girofle mais ils n'ont fourni aucune explication à ce phénomène. Cela pourrait être dû à une saturation des sites de fixation ou des canaux de passage de l'agent antibactérien. Il est donc nécessaire d'approfondir les études concernant ce point (**Manou et al., 1998**).

Les études ont montré que le volume de l'huile essentielle joue un rôle dans son activité antibactérienne (**Emiroğlu et al., 2010**). En général, plus le volume d'huile essentielle augmente, plus les chances d'inhibition des bactéries sont importantes. Cependant, **Gill et Holley (2004)** ont observé un phénomène intéressant avec l'extrait de clous de girofle. Ils ont constaté une inhibition bactérienne à faibles volumes, mais à l'inverse, une croissance bactérienne à fortes volumes de l'extrait.

Cette dynamique complexe de l'activité antibactérienne en fonction de la concentration souligne la nécessité d'approfondir les études sur ce sujet. Il serait important de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents afin de pouvoir optimiser l'utilisation de l'huile essentielle de girofle comme agent antimicrobien.

Conclusion et perspective

Conclusion et perspective

Actuellement, les plantes aromatiques bénéficient d'un avantage significatif grâce à la découverte progressive des applications de leurs huiles essentielles dans les soins de santé, ainsi que de leurs utilisations dans divers domaines d'intérêt économique. En raison de leurs multiples usages, ces plantes voient leur demande croître de manière significative sur les marchés mondiaux, en particulier en raison de leurs propriétés médicinales, telles que leurs effets anti-inflammatoires, antiseptiques, antiviraux, antifongiques et bactéricides.

Cette étude a permis d'évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles de trois plantes aromatiques sur quatorze souches bactériennes appartenant aux genres *Salmonella*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Bacillus* et *Listeria*.

Lors de l'hydrodistillation du poivre noir, le rendement en huile essentielle a été de 0,21 % pour 100 g de matière première. L'huile extraite présente une couleur transparente, une odeur forte et épicée, ainsi qu'un aspect limpide et une saveur piquante. Pour l'huile essentielle de gingembre, le rendement a été de 0,10 % pour 100 g de matière première. Cette huile présente une couleur jaune très clair, une odeur forte et épicée, ainsi qu'un aspect limpide et une saveur piquante. En ce qui concerne l'huile essentielle de clou de girofle, nous avons enregistré un rendement de 1,60 % à partir de 150 g de matière première. Elle présente une couleur jaune clair, une odeur intense et épicée, une clarté remarquable et une saveur piquante. Ce résultat est jugé satisfaisant même si cette technique est longue et donne généralement des rendements très faibles.

En ce qui concerne l'étude de l'activité antibactérienne, les résultats obtenus ont révélé un effet antibactérien intéressant de l'huile essentielle de girofle qui possède une forte activité antibactérienne contre diverses bactéries, avec des diamètres d'inhibition de 12 à 28 mm. Elle est particulièrement efficace contre les bactéries Gram-positives comme *Listeria monocytogenes* (28 mm) et *Bacillus cereus* (26 mm). Elle est aussi active contre des bactéries Gram-négatives résistantes, comme *Salmonella Typhimurium* (20 mm). En revanche, l'huile essentielle de gingembre n'a montré aucune activité antibactérienne, avec des diamètres d'inhibition de 6 à 8 mm. L'huile essentielle de poivre noir a également montré une absence d'activité antibactérienne avec les mêmes diamètres.

Les tests en micro-atmosphère ont montré que les huiles de poivre noir et de gingembre n'avaient aucun effet sur les bactéries étudiées, Gram positif ou Gram négatif. L'huile

Conclusion et perspective

essentielle de girofle n'a inhibé aucune souche bactérienne, sauf *Salmonella* Richmond de Gram négatif, avec une zone d'inhibition de 16 mm.

Selon le rapport CMB/CMI, l'huile essentielle de clou de girofle montre une forte action bactéricide contre la plupart des souches testées. De plus, elle a un effet bactériostatique sur *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Enteritidis et *Salmonella* Richmond.

À la fin de ce mémoire, il est crucial de poursuivre ce travail en explorant plusieurs pistes de recherche. Il serait pertinent d'approfondir l'étude sur le gingembre, le poivre noir et le clou de girofle, d'améliorer le processus d'extraction et de tester leur effet antibactérien sur une gamme plus étendue de souches bactériennes.

Conclusion et perspective

Dans une perspective d'approfondissement et de poursuite de ce travail, il serait intéressant également de compléter ce travail par :

- Évaluer l'activité antibactérienne des huiles de poivre noir et de gingembre à des concentrations plus élevées afin de mieux caractériser leur potentiel dans ce domaine. Bien que les résultats aient montré une faible activité aux volumes testés, il pourrait être intéressant d'explorer leurs effets à des doses plus importantes.
- Tester l'activité antibactérienne de ces huiles essentielles sur d'autres genres bactériens pertinents dans le domaine alimentaire et sanitaire, comme *Campylobacter* et *Clostridium*. Cela permettrait d'évaluer plus largement leur spectre d'activité.
- Étudier les effets synergiques potentiels de mélanges d'huiles essentielles sur l'activité antibactérienne. Par exemple, évaluer l'activité d'un mélange binaire ou ternaire d'huiles de girofle, de poivre noir et de gingembre pourrait permettre d'observer des effets antibactériens plus marqués.

Étudier les formulations combinant les huiles essentielles avec d'autres agents antibactériens, des conservateurs alimentaires ou des ingrédients thérapeutiques.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbes, A. 2014. Evaluation de l'activité anti-oxydante des huiles essentielles d'*Ammoides verticillata* « Noukha » de la région de Tlemcen, mémoire de master, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- Afnor, 2000 : Huiles essentielles. Ed. Para graphic. Tome 2 – Volume 1 monographie relative aux huiles essentielles 323 P.
- Afnor, 2000 : Huiles essentielles. Ed. Para graphic. Tome 2 – Volume 2 monographie relative aux huiles essentielles 663 P.
- Afnor, 2000 : Huiles essentielles. Ed. Para graphic. Tome1 – Echantillonnage et méthode d'analyse 471 P.
- Aggarwal, B. B., Shishodia, S. (2006). Molecular targets of dietary agents for prevention and therapy of cancer. *Biochemical pharmacology*, 71(10), 1397-1421.
- Ahmad, A., Husain, A., Mujeeb, M., Khan, S.A., Alhadrami, H.A.A., Bhandari, A. 2015. Quantification of total phenol, Flavonoid content and pharmacognostical evaluation including HPTLC fingerprinting for the standardization of *Piper nigrum* Linn fruits. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 5(2),101–107.
- Ahmad, N., Fazal, H., Abbasi, B. H., Farooq, S., Ali, M., et al. 2012. Biological role of *Piper nigrum* L. (Black pepper): a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. S1945-S1953.
- Akinyemi, A.J., Thome, G.R., Morsch, V.M., Stefanello, N., Goularte, J.F., BelloKlein, A., Oboh, G., Chitolina Schetinger, M.R. 2015. Effect of dietary supplementation of ginger and turmeric rhizomes on angiotensin-1 converting enzyme (ACE) and arginase activities in L-NAME induced hypertensive rats. *Journal of Functional Foods*. 17, 792–801.
- Al-Amin, Z.M., Thomson, M., Al-Qattan, K. K., Peltonen-Shalaby, R., Ali, M. 2006. Anti-diabetic and hypolipidaemic properties of ginger (*Zingiber officinale*) in streptozotocin-induced diabetic rats. *The British journal of nutrition*, 96 (4), 660-666.
- Algiannis, N., Kalpotzakis, E., Mitaku, S., Chinou, I.B. 2001. Composition and antimicrobial activity of essential oils of two *Origanum species*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40, 4168-4170.

Références Bibliographiques

- Ali, M., Shinkafi, S., Farouk, S.N.F. 2018. Phytochemistry and antibacterial activity of black pepper (*Piper nigrum*) Seeds extracts on some food-borne pathogens. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 1(1), 1–8.
- Alice, D. (2011). Faisabilité de la mise en place d'une indication géographique sur le Clou de girofle à Madagascar. Thèse de doctorat. Ecole Supérieure d'Agro-Développement International (ISTOM), France.
- Alka, S., Rahul, S.N. 2017. Black Pepper (*Piper nigrum*) Fruit Extract Activity against Some Pathogenic Bacterial Strains by Disc Diffusion Method. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6(3):561-566
- Amari, S. (2016). Étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante de deux extraits de la plante *Zingiber officinale*. Mémoire de Master en Sciences Biologiques.
- Anggraini, R., Jayuska, A., Alimuddin, A. H. 2018. Isolasi dan karakterisasi minyak atsiri lada hitam (*Piper nigrum* L.) asal sajingan kalimantan barat. Jurnal Kimia Khatulistiwa, 7(4), 124– 133.
- Anita, N., Sartini A.G. (2020). Ginger candy (*Zingiber officinale*) reduces the frequency of vomiting of first-trimester pregnant women with emesis gravidarum. Enfermería Clínica, 30 (Supplement4), 536–538.
- Anonyme (01)
(<http://www.agriculture.gov.mg/wpcontent/uploads/2014/pdf/Girofler.pdf>)
- Aouni, M., Pelen, F., Soulimani, R. 2013. Étude de l'activité antimicrobienne d' un mélange de 41 huiles essentielles et domaines d'application. Phytothérapie, 11(4), 225-236.
- Atmani, H., Bair., K. 2015. Mise en évidence de l'activité antibactérienne et antifongique et l'étude des caractères physico-chimique de l'huile essentielle du clou de girofle *Syzygium aromaticum*. Mémoire de Master. Université Frères Mentouri. Constantine.
- Averbeck, D., Averbeck, S., Dubertret, L., Young, A. R., Morlière, P. 1990. Genotoxicity of bergapten and bergamot oil in *Saccharomyces cerevisiae*. Journal of Photochemistry and Photobiology B. 7 (2-4), 209-229.

Références Bibliographiques

- Azam, R., Jabeen, A., Alam ,T., Mushtaq, S., Mohmad, S.H. 2014. Zanjabil (*Zingiber officinalis*): A Review. Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation. 3(4), 278-282.
- Banouh, R., Azzouz, A. 2019. Evaluation de l'activité antibactérienne, antifongique et activité antioxydante de l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*). Mémoire de master. Université de Bouira.
- Batiha, G. E. S., Alkazmi, L. M., Wasef, L. G., Beshbishy, A. M., Nadwa, E. H., amp; Rashwan, E. K. 2020. *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities. Biomolecules, 10(2), 202.
- Beggas, L., Bendoukhane, M. 2017. Etude de l'activité antioxydante de gingembre « *Zingiber officinale* ». Mémoire Master. Université des Frères Mentouri, Constantine.
- Bekhechi, C., Abdelomahid, D. 2010. Les huiles essentielles. Ed : No 5145. Office des publication universitaires. P. 55
- Benazouz, M.A. 2011. Les huiles essentielles, importance et potentialités : mise à jour bibliographique des derniers recherches sur leurs emplois et toxicité et analyse la composition des huiles essentielles de quinze plantes des plus consommées au Maroc. Thèse, Université Mohammed V-Maroc.
- Besombes, C., 2008. Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermomécanique d'herbes aromatiques : applications généralisées. Thèse de doctorat : Université de La Rochelle.
- Bouacida, K. 2021. Étude de l'effet de l'eugénol extrait de la plante *Syzygium aromaticum* sur le biofilm dentaire, mémoire de mastère: Biotechnologie végétale, Département de biologie, Université de SFAX, 64.
- Boullard B. 2001. Plantes médicinales du monde : Croyances et réalités. Paris : Ed. ESTEM. 511-512 P.
- Bounatirou, S., Smiti, S., Miguel, M. G., Faleiro, L., Rejeb, M. N., Neffati, M., ...& Pedro, L. G., 2007. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of the

- essential oils isolated from Tunisian *Thymus Capitatus* hoff. et link. Food Chemistry, 105, 146-155.
- Bouras, M. 2018. Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
 - Bousbia, N. 2004. Extraction et identification de quelques huiles essentielles (nigelle, coriandre, origan, thym, romarin), étude de leurs activités antibactériennes. Thèse de magister, Option science alimentaires, INRA. Algérie
 - Braga, M.E.M., Moreschi, S.R.M., Meireles, M.A.A. 2006. Effects of supercritical fluid extraction on curcuma longa L. and *Zingiber officinale* R. Starches. Carbohydrate Polymers, 63, 340-346
 - Bremness, L., Fletcher, N., Ward, M., Griggs, P., Desgranges, T., Baudoux, M., Garnaud, V. 2005. Les plantes aromatiques et médicinales : [700 espèces]. Larousse.
 - Bruneton J. 1993. Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales. Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 915 p.
 - Bruneton J., 2008. Pharmacognosie-phytochimie, plantes médicinales, 2ème éd., Paris, Tec & Doc – Edition médicales internationales, p1188
 - Bruneton, J. (2009). Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales 4ème édition. Technique et documentation. Paris, 1269 p
 - Burkey, J. L., Sauer, J.-M., McQueen, C. A., Glenn S. I. 2000. Cytotoxicity and genotoxicity of methyleugenol and related congeners — a mechanism of activation for methyleugenol. Mutat. Res. Mol. Mech. Mutagen. 453(1), 25-33
 - Buronzo, A. M. 2008. Grande guide des huiles essentielles santé beauté marocaine : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires. Memory performance. Physiology ,435.
 - Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – A review. International Journal of Food and Microbiology. 94, 223-253.
 - Carryn, 2013. Résistance aux antibiotiques rôle du laboratoire de bactériologie. 5p.

Références Bibliographiques

- Chaibet, D., Cherfaoui, N., Hamedoune, C., Selimane, R. 2021. Contribution à l'étude de l'huile essentielle extraite de *Bupleurum spinosum* L. Mémoire de Master. Tizi Ouzou : Université UMMTO.
- Chebaibi, A., Marouf, Z., Rhazi-Filali, F., Fahim, M., Ed-Dra, A. 2016. Évaluation du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles de sept plantes médicinales récoltées au Maroc. *Phytotherapie*, 14(6), 355-362.
- Chelak, S.K., Saraf, S, Saraf, S. 2015. Preformulation and formulation study of anticancer principle of piperine. *World Journal of Pharmacological Research*. 4(12), 722-737.
- Chemat, F., Cravotto, G. 2012. Microwave-assisted extraction for bioactive compounds: theory and practice. Vol. 4. Springer Science & Business Media.
- Cholis N. 2010. *Ensiklopedia Obat-Obatan Alami*. Jawa Tengah : Alprin Semarang Selatan. 1–130 p.
- Citronberg, J., Bostick, R., Ahearn, T., Turgeon, D.K., Ruffin, M.T., Djuric, Z., Sen A., Brenner D.E., Zick S.M. 2013. Effects of ginger supplementation on cellcycle biomarkers in the normal-appearing colonic mucosa of patients at increased risk for colorectal cancer: Results from a pilot, randomized, and controlled trial. *Cancer Prev. Research* 6, 271–281.
- Damanhour, Z.A, Ahmad, A. A. 2014. Review on therapeutic potential of *Piper nigrum* L. (black pepper): the king of spices. *Medical aromatic plants*. 3(3), 161.
- Dang, Q.T, Phan, N. 2014. Optimization of supercritical CO₂ extraction of oleoresin from black pepper (*Piper nigrum* L .) and antioxidant capacity of the oleoresin. *International food Research Journal*. 21(4), 1489–1493.
- Dayem, A.A., Choi, H.Y., Yang, G. M., Kim, K., Saha, S.K., Cho, S.G. 2016. The anti-cancer effect of polyphenols against breast cancer and cancer stem cells: molecular mechanisms. *Nutrients*. 8(9), 581.
- Degryse A.-C., I. Delpla, Voinier M.-A. 2008. Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles. Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique. (E.H.E.S.P.). Rennes. France.
- Dey, B. K., and Mukherjee, S. S. 2021. Potential of clove and its nutritional benefits in physiological perspective: A Review. *Int. J. Physiol. Nutr. Phys. Educ*. 6 (1), 103–106.

Références Bibliographiques

- Dhanik, J., Arya, N., & Nand, V. (2017). A Review on *Zingiber officinale*. Journal of pharmacognosy and phytochemistry, 6, 174-184
- Dijoux, N., Guingand, Y., Bourgeois, C., Durand, S., Fromageot, C., Combe, C., Ferret, P. J. 2006. Assessment of the phototoxic hazard of some essential oils using modified 3T3 neutral red uptake assay. Toxicology in vitro, 20(4), 480–489.
- Diniz do Nascimento, L., Moraes, A. A. B., Costa, K. S. D., Pereira Galúcio, J. M., Taube, P. S., Costa, C. M. L., Neves Cruz, J., de Aguiar Andrade, E. H., Faria, L. J. G. 2020. Bioactive Natural Compounds and Antioxidant Activity of Essential Oils from Spice Plants: New Findings and Potential Applications. Biomolecules, 10(7), 988.
- Dobler, D., Runkel, F., Schmidts, T. 2020. Effect of essential oils on oral halitosis treatment: a review. European Journal of Oral Sciences, 128(6), 476–486.
- Dorman, H.J., Deans, S.G., 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. Journal of Applied Microbiology, 88 (2), 308-16.
- Dosoky, N. S., Satyal, P., Barata, L. M., da Silva, J. K. R., Setzer, W. N. 2019. Volatiles of Black Pepper Fruits (*Piper nigrum* L.). Molecules (Basel, Switzerland), 24(23), 4244.
- Dr. Xavier Gruffat. 2024. Plantes médicinales, Poivre noir. <https://www.creapharma.ch/poivre-noir.htm>
- Edris A. E. 2007. Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: A review-Phytother. p 308-323. Ellipses (Ed) paris, 602.
- Eisenhut, M. 2007. The toxicity of essential oils. International Journal of Infectious Diseases, 11 (4) 365
- Emiroğlu, Z. K., Yemiş , G. P., Coşkun, B. K., Candoğan, K. 2010. Antimicrobial activity of soyedible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. Meat science, 86 (2), 283-288.
- Fauchère, J.-L. et J.-L. Avril. 2002. Bactériologie générale et médicale. Ellipses Editions Paris, 365.
- Faucon M. 2012. Traité d'aromathérapie scientifique et médicale : fondements, aide à la prescription : monographies : huiles essentielles, huiles végétales, hydrolats aromatiques. Paris : Ed. Sang de la Terre. 879 p.

Références Bibliographiques

- Favier, A. (2006, November). Stress oxydant et pathologies humaines. In Annales pharmaceutiques françaises. Elsevier Masson. 64(6), pp. 390-396.
- Febriyanti, A. P., Iswarin, S. J., Susanti, S. 2018. Penetapan Kadar Piperin dalam Ekstrak Buah Lada Hitam (*Piper Nigrum* Linn.) Menggunakan Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (Lc–ms/ms). Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa, 1(2), 69-79.
- Forlemu, A. L., Amadou, B. A. 2021. Production of cake using herbs and spices as flavourants (Clove, Ginger, Lemongrass). International Journal of Innovative Analyses and Emerging Technology 1 (3), 1–7.
- France-Ida. J. (1996). Bref survol de diverses méthodes d'extraction d'huiles essentielles, Info-essence Ed.
- Franchomme, P., Jollois, R., D. Pénoël, Mars J. 2001. L'aromathérapie exactement : encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles : fondements, démonstration, illustration et applications d'une science médicale naturelle. Editions Roger Jollois, Limoges, France.
- Ganesh, P, Kumar, R.S., Saranraj, P. 2014. Phytochemical analysis and antibacterial activity of pepper (*Piper nigrum* L.) against some human pathogens. Central European Journal of Experimental Biology. 3(2), 36-41.
- Gayathiri, E., Bharathi, B., Priya, K. 2018. Study of the enumeration of twelve clinical important bacterial populations at 0.5 Mcfarland standard. International journal of current research and technology. 6(2), 880-892.
- Gaziano, R., Moroni, G, Buè, C., Tony Miele, M., Vallebona, P.S., Pica, F. 2016. Antitumor effects of the benzophenanthridine alkaloid sanguinarine: evidence and perspectives. World Journal of Gastrointestinal Oncology. 8(1), 30-39.
- Ghagra, K. 2019. Etude les propriétés physicochimique et biologique de clou du girofle (*Syzerium aromaticum* L.). Mémoire de master. Université de Biskra.
- Ghasemian, A., Eslami, M., Hasanvand, F., Bozorgi, H., Al-Abodi, H. R. 2019. Eucalyptus camaldulensis properties for use in the eradication of infections. Comparative immunology, microbiology and infectious diseases, 65, 234-237.

Références Bibliographiques

- Ghedadba, N., Bousselsela, H., Hambaba, L., Benbia, S., Mouloud, Y. 2014. Évaluation de l'activité antioxydante et antimicrobienne des feuilles et des sommités fleuries de *Marrubium vulgare* L. *Phytothérapie*, 12(1), 15-24
- Gigon, F. 2012. Le gingembre, Une épice contre la nausée. *Phytothérapie*. 10, 87-91
- Gill, A.O., Holley, R.A. 2004. Mechanisms of bactericidal action of cinnamaldehyde against *Listeria monocytogenes* and of eugenol against *L. monocytogenes* and *Lactobacillus Sakei*. *Applied and environmental microbiology*. 70 (10), 5750-55
- Gorgani, L., Mohammadi, M., Najafpour, G.D., Nikzad, M. 2017. Piperine — The bioactive compound of black pepper: From isolation to medicinal formulations. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 16,129–140.
- Goudjil, M. B. 2016. Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques. Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah– Ouargla
- Grosjean, N. 1993. L'aromathérapie, santé et bien-être par les huiles essentielles, Albin Michel Ed., Paris
- Guemidi, CH., et Djerourou, N., 2017. Effets antimicrobiens de l'extrait à l'éthanol de *Thymus vulgaris* (Thym) récolté dans la région de Naama sur la croissance des germes spécifiques du yaourt : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, mémoire de master, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- Gulluce, M., Şahin, F., Sokmen, M., Ozer, H., Daferera, D., Sokmen, A., Polissiou, M., Adiguzel, A., Ozkan H. 2007 Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. *Food chem.*, 103,1449–1456.
- Gurib-Fakim, A. 2006. Medicinal plants: Traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular Aspects of Medicine*, 27(1), 93.
- Haddouche, N., Dernani, H. 2018. Etude de l'activité antibactérienne et hémolytique de l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum*. Mémoire de fin d'études : Physiologie cellulaire et physiopathologie. Bouira : Université akli mound oulhadj, 55 pages
- Hamad, A., Mahardika, M., G. P., Yuliani., I. D., A. E., Hartanti, D. 2017. Chemical constituents and antimicrobial activities of essential oils of *Syzygium polyanthum* and *Syzygium aromaticum*. *RASĀYAN Journal of Chemistry*, 10(2), 564-569

Références Bibliographiques

- Hamidi, A., 2013. Etude phytochimique et activité biologique de la plante *limoniastrum guyonianum*. Mémoire de magister. Ouargla : université kasdi merbah, 86p
- Hemaiswarya, S., Doble, M. 2009. Synergistic interaction of eugenol with antibiotics against Gram negative bacteria », *Phytomedicine*, 16 (11), 997-1005
- Heywood, V.H., 1996. Les plantes à fleurs : 306 familles de la flore mondiale. Paris : ed. nathan. 11 ; 13- 15 P
- Hikmayanti, NPE., Hariyanti, Aulia, C ., Viransa VP. 2016. Kandungan piperin dalam ekstrak buah lada hitam dan buahlada putih (*Piper nigrum*.L) yang diekstraksi dengan variasi konsentrasi etanol menggunakan metode KLT-Densitometri. *Media farm.* 13(2),173–185.
- Hussain, A., 2009. Characterisation and biological activities of essential oils of some species of Lamiaceae. Thèse de Doctorat. Université d'Agriculture. Pakistan. p 249
- Hussain, S., Hegde, L., Sharatbabu, AG., Hegde, N., Shantappa, T., Gurumurthy, S., et al. 2017. Evaluation of local black pepper (*Piper nigrum* L.) genotypes for yield and quality under arecanut based crop-ping system. *Int J Pure Appl Biosci.* 5:1396-400.
- Hussain, S., Rahman, R., Mushtaq, A., and Zerey-Belaskri, A. 2017. Clove: A review of a precious species with multiple uses. *Int. J. Chem. Biochem. Sci. (Ijcb)* 11, 129–133.
- Indiarito, R., Qonit, M.A.H. 2020. A review of irradiation technologies on food and agricultural products. *International journal of scientific and technology research*, 9(1), 4411–4414.
- Indiarito, R., Pranoto, Y., Santoso, U., supriyanto. 2019. In vitro antioxidant activity and profile of polyphenol compounds extracts and their fractions on cacao beans. *Pakistan journal of biological sciences*, 22(1), 34–44.
- Indiarito, R., Rezaharsamto, B. 2020. The physical, chemical, and microbiological properties of peanuts during storage: A review. *International Journal of scientific and technology research*, 9(3), 1909–1913.
- Institut européen des substances végétales (IESV). 2015. Les plantes médicinales [en ligne] disponible sur : https://www.iesv.org/wp-content/uploads/2015/11/yiesvlip-rv04_bd_sanstrait-coupe.pdf

Références Bibliographiques

- Jeena, K., V. Liju, B., Umadevi, N. P., Kuttan, R. 2014. Antioxidant, anti-inflammatory and antinociceptive properties of black pepper essential oil (*Piper nigrum* Linn), Journal of essential oil-bearing plants, 17(1) 1-12.
- Jilani, Dicko, A. 2012. The therapeutic benefits of essential oils », in nutrition, wellbeing and health,
- Jirovetz, L., Buchbauer, G., Stoilova, I., Stoyanova, A., Krastanov, A., Schmidt, E. 2006. Chemical composition and antioxidant properties of clove leaf essential oil . Journal of agricultural and food chemistry, 54(17), 6303-6307.
- Jolad, S.D., Lantz, R.C., Solyom, A.M., Chen, G.J., Bates, R.B., Timmermann, B.N. 2004. Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS induced PGE (2) production. Phytochemistry, 65(13) ,1937-1954.
- Jouault, S.J.U.d.L., Nancy, 2012. La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité.
- Jung, M.Y., Lee, M.K., Park, H.J., Oh, E.B., Shin, J.Y., Park, J.S., Jung, S.Y., Oh, J.H., Choi, D.S. 2018. Heat-induced conversion of gingerols to shogaols in ginger as affected by heat type (dry or moist heat), sample type (fresh or dried), temperature and time. Food Sci. Biotechnol. 27, 687–693.
- Kalembe, D., Kunicka, A. 2003. Antibacterial and antifungal properties of essential oil
- Kaloustian, J., Hadji Minaglou, F. 2012. La connaissance des huiles essentielles : qualilogie et aromathérapie. Paris : Édition Spinger ;
- Kamazeri, S., Amirah, T., Othman, AS., Muhammad, T., Susanti, D., Qaralleh, H ., 2012. Kambing dengan bahan pengenyal yang berbeda. Agri TECH, 27(1), 1-6. [In bahasa indonesia].
- Karsha, P., Laxmi, O. 2010. Antibacterial activity of black pepper with special reference to its mode of action on bacteria. Ind J Nat prod resour. 1(2): 2013-215.
- Kasote, D., Katyare, S., Hegde, MV., Bae, H., 2015. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. Int J Biol Sci.; 11(8): 982-991.
- Khan, A. U., Talucder, M. S. A., Das, M., Noreen, S., Pane, Y. S. 2021. Prospect of the black pepper (*Piper nigrum* L.) as natural product used to an herbal medicine. Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences, 9(F), 563-573.

Références Bibliographiques

- Khan, M., Siddiqui, M., Antimicrobial activity of fruits of *Piper longum*. Nat Prod Rad. 2007; 6: 111 -113.
- Kumar, A., et al. 2008. Assessment of *Thymus vulgaris* L. essential oil as a safe botanical preservative against post harvest fungal infestation of food commodities . 9(4): p. 575-580.
- Kumar, A., S, Vinay, K.,S. 2017. Biological action of *Piper nigrum* - the king of spices. Journal européenne de la recherche biologique .11 :223-233
- Kumar, N.,V., Murthy, P.,S., Manjunatha, J.,R., Bettadaiah, B.,K. 2014. Synthesis and quorum sensing inhibitory activity of key phenolic compounds of ginger and their derivatives. Food chem. 159:451–457.
- Kurian, P.S., Backiyarani, S., Josephraj Kumar, A., Murugan, M. 2002. Varietal evaluation of black pepper (*Piper nigrum* L.) for yield, quality and anthracnose disease resistance in Idukki District, Kerala. Journal of Spices Aromatic Crops.11:122–4.
- Kusnadi, D.C., Bintoro, V.P., Al-Baarri, A.N. 2012. Daya Ikat Air, Tingkat Kekenyalan dan Kadar Protein Pada Bakso Kombinasi Daging Sapi dan Daging Kelinci. Jurnal aplikasi teknologi. Pangan, 1(2), 28-31. [In bahasa indonesia].
- Lailiyah, N., Ibrahim, M., Chunafa, A., Feri, E., 2021 Anti-Obesity Properties of Black Pepper (*Piper nigrum*): Completing Puzzle using Computational Analysis. Journal of smart bioprospecting and Technology 2: 3
- Lardry, J., Haberkorn, V. 2007. L'aromathérapie et les huiles essentielles. La revue, 7(61), 14-17.
- Laurent, J. 2017. Conseils et utilisation des huiles essentielles les plus courantes en officine. [Thèse]. Toulouse : Université de toulouse
- Leakey, R., Coutts MP. 1989. The dynamics of rooting in triplochiton scleroxylon cuttings: Their relation to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. Tree Physiol. 5(1):135-46.
- Li, H., Liu, Y., Luo, D., Ma, Y., Zhang, J., Li ,M., Yao, L., Shi, X., Liu, X., Yang, K. Ginger for health care: An overview of systematic reviews
- Li, S., Li, S., Gan, R., Song, F., Kuang, L., Li, H. 2013. Antioxidant capacities and total phenolic contents of infusions from 223 medicinal plants. Ind. Crop.Prod. 51:289–298.

Références Bibliographiques

- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., and chandra, N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4 (8), 118–126. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- Madhavi, D.L.S., Deshpande, Salunkhe, D., K. 1995. Food antioxidants: Technological: Toxicological and health perspectives. CRC Press.
- Mahady, K., Shaker, O., Wafay, H., Nassar, Y., Hassan, H., Hussein, A. 2012. Effect of some medicinal plant extracts on the oxidative stress status in Alzheimer's disease induced in rats. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 16(3): 31-42
- Manou, I., Bouillard, L., Devleeschouwer, M.J., Barel, A.O. 1998. Evaluation of the preservative properties of *Thymus vulgaris* essential oil in topically applied formulations under challenge test. *Journal of applied microbiology*. 84, 368-376
- Marie, C., Descamps. Publisher, ÉdiScience, 2008. ISBN, 2100519395, 9782100519392. Length, 328 pages. Export Citation, BiBTeX EndNote RefMan.
- Marzouki, H., Elaissi, A., Khaldi, A., Bouzid, S., Falconieri, D., Marongiu, B., Porcedda, S. 2009. Seasonal and geographical variation of *Laurus nobilis* L. essential oil from Tunisia. *Open Natural Products Journal*, 2, 86-91.
- Mathew, P., Mathew, P., Kumar, V. 2006. Multivariate analysis in fifty cultivars/ landraces of 'black pepper' (*Piper nigrum* L.) occurring in Kerala, India. *Rev bras plant med*. 8:80-5
- Mayaud, L. 2006. Etude de l'activité antimicrobienne de 13 huiles essentielles par des techniques de microbiologie », Thèse d'exercice, Université Claude Bernard, Lyon, France
- Mbaveng, A. T., Kuete, V. 2017. *Syzygium aromaticum*. In *Medicinal Spices and vegetables from Africa* Academic Press. pp. 611-625.
- Menghani, E., Rana, A., Saraswat, P., Pareek, A. 2014. Antibacterial potentials of two Indian spices. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 5(3), 666-672.
- Millet, F. 2015. *Le grand guide des huiles essentielles : Santé-hygiène-beauté-bien-être maison-cuisine*. Edition Marabout.

Références Bibliographiques

- Mishra, R. K., Kumar, A., Kumar, A. 2012. Pharmacological Activity of *Zingiber officinale*. International journal of pharmaceutical and chemical sciences. 1(3), 1422-1427.
- Mohd Yusof, Y.A. 2016. Gingerol and Its Role in Chronic Diseases. Advances in Experimental Medicine and Biology. 929, 177–207.
- Muro Buronzo A. Le grand guide des huiles essentielles santé beauté bien-être. Edition Hachette, 2008.
- Nasar-Abbas, S.M., Siddique, K.H.M., Plummer, J.A., White, P.F., Harris, D., Dods, K., D'Antuono, M. 2009. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. LWT-Food science and technology. 42,1703-1711
- O'Brien, R.D. (2004). Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications. Boca Raton : CRC Press.
- O'Bryan, C. A., Pendleton, S.J., Philip, G., Crandall Ricke, S.C. 2015. Potential of plant essential oils and their components in animal agriculture - in vitro studies antibacterial mode of action. Front Veterinary Science. 2, 35.
- Ogudo, B.U., Lawal, T.O., Adeniyi, B. A. 2014. Extracts of *Zingiber officinale* Rosc. (Ginger) and *Curcuma longa* Linn. (Turmeric) Rhizomes inhibited Nontuberculous Mycobacteria in vitro. Biology, Agriculture and Healthcare, 12 (4), 95-103 p.
- Okwu D. 2001. Evaluation of the chemical composition of indigenous spices and flavouring agents. Global Journal of Pure and Applied Sciences.7(3), 455–459.
- Oliveira, M.J., Iani, F.P.C., Oliveira, C.B.A., Santos, M.R., Souza, P.S., Santos, S.C., Seraphin, J.C. Ferri, P.H., 2005. Influence of growth phase on the essential oil composition of *Hyptissua veolens*. Biochemical Systematics and Ecology. 33, 275-285
- Olle, M., Bender, I., Koppe, R. 2010. The content of oils in umbelliferous crops and its formation. Agronomy Research, 8(3), 687-696.
- Oussou, K.R., Yolou, S. F., Tue, Bi B., Kanko, C., Boti, J.B., Ahibo, C. 2010. Etude chimique Bio-Guidée de l'huile essentielle de *Ocimum Gratissimum*. Journal Casanova, 40(1), 50-59

Références Bibliographiques

- Panjaitan, E.N., Saragih, A. and Purba, D. 2012. Gel formulation of red ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Extract. Journal of pharmaceutics and pharmacology, 1(1), 9-20.
- Parthasarathy, V.A., Bhageerathy, C., Zackariah, T.J. 2008. Chemistry of spices. cabi. Cambridge. England. P21-25, 97, 211, ISBN: 978 1 84593 408 7.
- Pattnaik, S., Subramanyam, V. R., Bapaji, M., Kole, C.R. 1997. Antibacterial and antifungal activity of aromatic constituents of essential oils. Microbios. 89 (358), 39-46
- Paulkumar, K., Gnanajobitha, G., Vanaja, M., Rajeshkumar, S., Malarkodi, C., Pandian, K., Annadurai, G. 2014. Piper nigrum leaf and stem assisted green synthesis of silver nanoparticles and evaluation of its antibacterial activity against agricultural plant pathogens. Scient World Journal, 829894.
- Pinson, C. (2012). Curcuma et gingembre – un concentré de bienfaits pour votre santé et votre beauté. Ed. Eyrolles. 31-59
- Ponce, A. G., Fritz, R., Del Valle, C., Roura, S. I. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. LWT-Food science and technology. 36(7), 679-684
- Poprac P., Jomova K., Simunkova M., Kollar V., Rhodes C.J., Valko M. 2017. Targeting free radicals in oxidative stress-related human diseases. Trends in pharmacology Science. 38, 592–607.
- Prescott, Harley, Klein, Wiley, Sherwood, Woolverton. 2010. Microbiologie 3eme edition. p:840 .
- Przygodzka, M., Zieliński, H., Ciesarová, Z., Kukurová, K., Lamparski, G. 2015. Study on sensory quality, Antioxidant properties, and maillard reaction products formation in rye-buckwheat cakes enhanced with selected spices. Journal of Chemistry. 1–9.
- Rakotoatimanana B.V. et al., 1999. Contribution à l'optimisation d'une unité de production d'huiles essentielles », mémoire de fin d'études, Département génie chimique, Ecole supérieure polytechnique d'Antananarivo ESPA
- Ram Kumar, P., Pranay, J. 2010. Études comparatives sur L'activité antimicrobienne du poivre noire (*piper nigrum*) et Turmeric (*curcuma longa*) extraits. journal international de biologie appliquée et de technologie pharmaceutique. 501-492.

Références Bibliographiques

- Randriamamonjy, V. C. 2004. Essai de la culture de gingembre sous couverture végétale dans la région de beforona : Expérimentations menées au CDIA marolafa. Mémoire d'ingénieur : Agriculture. Antananarivo : Université d'Antananarivo, Ecole supérieure des sciences agronomiques, 110p.
- Ravindran, P. N., Nirmal Babu., K. Ginger. 2005. The genus zingiber. Edition Internationale de Softcover. USA: CRC Press, 576p.
- Ravindran, P.N., Nirmal Babu, K. and Shiva, K.N. 2005. Botany and Crop Improvement of Ginger. In: Ravindran, P.N. and Nirmal, B.K., Eds., Ginger: The Genus Zingiber, CRC Press, New York, 15-85.
- Rehman, R., Akram, M., Akhtar, N., Jabeen, Q., Saeed, T., Ali Shah S.M., Ahmed, K., Shahhen, G., Asif, H.M. 2011. *Zingiber officinales* Roscoe (Pharmacological activity). J. Med. Plants res, 5 (3), 344-348
- Rhayour, K. 2002. Etude du mécanisme de l'action bactéricide des huiles essentielles sur *Esherichia coli*, *Bacillus subtilis* et sur *Mycobacterium phlei* et *Mycobacterium fortuitum*. Thèse de Doctorat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. P 170.
- Rmili, R., Ramdani, M., Ghazi, Z., Saidi, N., El Mahi, B. 2014. Composition comparison of essential oils extracted by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation from *Piper nigrum* L. Journal of Mater Environmental Science. 5:1560–7.
- Robert T. 2015. Huiles essentielles et antibiotiques : alternative et complémentarité. Thèse d'exercice, Université de Montpellier. UFR des sciences pharmaceutiques et biologiques, France.
- Rong, X., Peng, G., Suzuki, T., Yang, Q., Yamahara, J., Li, Y. 2009. A 35-day gavage safety assessment of ginger in rats. Regul Toxicol Pharmacol, 54(2), 118-123.
- Ross, I.A. 2010. Medicinal plants of the world: chemical constituents, traditional and modern medicinal uses. Volume 3. Humana press: New York.
- Saeed, S., Tariq, P. 2008. In vitro antibacterial activity of clove against Gram negative bacteria. Pakistan Journal of Botanic, 40(5), 2157-2160.
- Sahraoui, N. (2012) Mise au point d'un nouveau procédé d'extraction d'huiles essentielles assisté par microondes : Application à la valorisation des plantes locales et comparaison

avec les procédés conventionnels. Thèse de doctorat. Ecole nationale polytechnique d'Alger.

- Sallie, M., Lesly, M. 1999. Choosing and using spices. Lorenz. London. P47,68, ISBN: 1 84081 174.
- Sasidharan, I., Menon, A.N. 2010. Comparative chemical composition and antimicrobial activity of berry and leaf essential oils of *Piper nigrum* L. Intel J Bio Med Res.1(4), 215–218.
- Schadich, E., Hlavac, J., Volna, T., Varanasi, L., Hajduch, M., Dzubak, P. 2016. Effects of ginger phenylpropanoids and quercetin on Nrf2-ARE pathway in human BJ fibroblasts and HaCaT keratinocytes. BioMed Research International, 2173275.
- Schieber, S. 2013. Les huiles essentielles en milieu hospitalier: application dans le service de soins intensifs hématologiques de l'hôpital pasteur de colmar, Thèse d'exercice, Université de Strasbourg, France
- Schlieck, T. M., Petrolli, T. G., Bissacotti, B. F., Copetti, P. M., Bottari, N. B., Morsch, V. M., et al. 2021. Addition of a blend of essential oils (Clove, Rosemary and oregano) and vitamin E to replace conventional chemical antioxidants in dog feed: Effects on food quality and health of beagles. Archives of Animal Nutrition. 75 (5), 389–403.
- Selvakumar, G., Panneerselvam, P., Ganeshamurthy, A.N., Maheshwari, D.K. 2012. Bacterial mediated alleviation of abiotic stress in crops. In: Maheshwari DK (ed) Bacteria in Agrobiolgy: Stress Management. Springer : New York, NY, USA, pp 205–224.
- Semwal, R. B., Semwal, D.K., Combrinck, S. Viljoen, A.M. 2015. Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. Phytochemistry, 117, 554–568.
- Shango, A.J., Majubwa, R.O., Maerere, A.P. 2021. Morphological characterization and yield of pepper (*Piper nigrum* L.) types grown in Morogoro district, Tanzania. CABI Agriculture Bioscience, 2:1-13.
- Shanmugapriya, K., Saravana, P.S., Payal, H., Mohammed, S.P., Williams, B. 2012. Antioxidant potential of pepper (*Piper nigrum* Linn.) leaves and its antimicrobial potential against some pathogenic microbes. Indian Journal of Natural Products and Resources. 3(4): 570-577.

Références Bibliographiques

- Sharifi-Rad, M., Varoni, E., Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Matthews, K., Ayatollahi, S., Kobarfard, F., Ibrahim, S., Mnayer, D., Zakaria, Z., Sharifi-Rad, M., Yousaf, Z., Iriti, M., Basile, A., Rigano, D. 2017. Plants of the genus zingiber as a source of bioactive phytochemicals: From tradition to pharmacy. *Molecules*, 22(12), 2145.
- Shiva, S.K., Neeti, R., Udaysree, S. 2013. Activité antimicrobienne du poivre noir (*Piper nigrum* L.). *Global Journal of Pharmacology* .87-90. Singh, G, Marimuthu, P, Catalan, C.A., de Lampasona, M.P. 2004. Chemical, Antioxidant and antifungal activities of volatile oil of black pepper and its acetone extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1878–1884.
- Smallfield, B. 2001. Introduction to Growing herbs for Essential oils, Medicinal and culinary purposes: Bruce Smallfield. *Crop & Food Research*.
- Sophie, B. 2015. Le giroflier : Historique, description et utilisation de la plante et de son huile essentielle. Diplôme d'Etat de Docteur : Pharmacie. Université de Lorraine, 114 p.
- Subroto, E., Tensiska, Indiarito, R., Marta, H. and Wulan, A.S. 2018. Physicochemical and sensorial properties of recombined butter produced from milk fat and fish oil blend. *Bioscience Research*. 15 (4), 3720-3727
- Sueishi, Y., Masamoto, H. and kotake, Y. 2019. Heat treatments of ginger root modify but not diminish its anti-oxidant activity as measured with multiple free radical scavenging (multis) method. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 64(2), 143–147.
- Suk, S., Kwon, G.T., Lee, E., Jang, W.J., Yang, H., Kim, J.H., Thimmegowda N.R., Chung, M., Kwon, J.Y., Yang, S., et al. 2017. Gingerenone A, a polyphenol present in ginger, suppresses obesity and adipose tissue inflammation in high-fat diet fed mice. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61:1700139.
- Suvarna, Y., Rahaman, S.K. Abdul. 2019. Pharmaco-therapeutic properties of black pepper: A systematic review. *Asian Journal of Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences*. 7(1), 293-304
- Syafitri, D.M., Levita, J., Mutakin, M., Diantini, A. 2018. A Review: Is ginger (*Zingiber officinale* var. Roscoe) Potential for future phytomedicine? *Indonesian Journal of Applied Sciences*. 8,30.

Références Bibliographiques

- Tainter, R. D., Grenis, T. A. 1993. Spice and seasoning food science and technology. New York: VCH Publishers.
- Tang, H., Chen, W., Dou, Z.M., Chen, R., Hu, Y., Chen, W. *et al.* 2017. Antimicrobial effect of black pepper petroleum ether extract for the morphology of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Typhimurium. *Journal of Food Science and Technology*. 54(7), 2067-76.
- Tasleem, F., Azhar, I., Ali, S. N., Perveen, S., Mahmood, Z. A. 2014. Analgesic and anti-inflammatory activities of *Piper nigrum* L. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 7S1, S461–S468.
- Ternes, W., Krause, E. L. 2002. Characterization and determination of piperine and piperineisomers in eggs. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374(1),155-160.
- Thapa, A., Datta, S., Dey, A.N., Baisare, P. 2017. Advance propagation techniques in important spice crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6 (9),1979-1985.
- Thompson, E.H., Wolf, I.D. Allen, C.E. 1973. Ginger rhizome: A new source of proteolytic enzyme. *Journal of Food Science*, 38(4), 652-655
- Tiven, N.C., Suryanto, E., Rusman, R., 2007. Komposisi Kimia, Sifat Fisik dan Organoleptik Bakso Daging Kambing dengan Bahan Pengenyal yang Berbeda. *Agritech* 27 (1).
- Tritanti, A., Pranita, I. 2019. The making of red ginger (*zingiber officinale* rovb var. *rubra*) natural essential oil. *Journal of physics : Conference series*, 1273, 012053.
- Tysnes, O.-B., Storstein, A. 2017. Epidemiology of parkinson’s disease. *Journal of neural Transmission*.124(8), 901–905.
- Utpala P, Asish GR, Zachariah TJ, Saji KV, George JK, Jayarajan K, Mathew PA, Parthasarathy VA. 2008. Spatial influence on the important volatile oils of *Piper nigrum* leaves. *Current Science*. 94:1632–5.
- Vasala, P. A. 2012. Ginger. In peter, K.V. (Ed.) *Handbook of herbs and spices*. Vol. 1: Woodhead publishing, USA p. 195-206.
- Vasavirama, K., Upender, M. 2014. Piperine: A valuable alkaloid from piper species. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 4(4), 34-38.

Références Bibliographiques

- Victoria, V. 2017. L'aromathérapie dans la prise en charge des troubles mineurs de santé. Thèse. Paris.
- Walstab, J., Krueger, D., Stark, T., Hofmann, T., Demir, I.E., Ceyhan, G.O., Feistel, B., Schemann, M., Niesler, B. 2013. Ginger and its pungent constituents noncompetitively inhibit activation of human recombinant and native 5-HT₃ receptors of enteric neurons. *Neurogastroenterology & Motility*. 25, 439–447.
- Wichtl, M., Anton, R. 1999. Plantes thérapeutiques. Technique et Documentation Ed, Paris, France.
- Wilkinson, J.M. 2006. Methods for testing the antimicrobial activity of extracts. Chapitre VIII. In: Ahmad, I., Aqil, F., Owais, M. Modern phytomedicine: turning medicinal plants into drugs. Ed. Wiley-VCH Verlag GMBH & Co. Kga, Weinheim, pp.157-165.
- Wright, L. 2020. Le poivre, de l'épice au médicament. Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Toulouse III Paul Saratier, France.
- Xue, Q., Xiang, Z., Wang, S., Cong, Z. 2022. Recent advances in nutritional composition, phytochemistry, bioactive, and potential applications of *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae). *Frontiers in nutrition*, 9, 1002147.
- Yagmur, Z., Caru, S. 2015. Zoom sur le gingembre. Ed : Réseau sante diabète. Disponible sur : www.reseausantediabete.be.
- Yakhlef, G., Laroui, S., Hambaba, L., Aberkane M.C., Ayachi, A. 2011 Évaluation de l'activité antimicrobienne de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis*, plantes utilisées en médecine traditionnelle. *Phytothérapie*, 9(4), 209-218
- Yeh, H., Chuang, C., Chen, H., Wan, C., Chen, T., Lin, L. 2014. Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT-Food Science and Technology*. 55, 329–334.
- Ying, X., Yu, K., Chen, X., Chen, H., Hong, J., Cheng, S., Peng, L. 2013. Piperine inhibits LPS induced expression of inflammatory mediators in RAW 264.7 cells, *Cellular Immunology*, 285 49-54.
- Young, I.S., Woodside, J.V. 2001. Antioxidants in health and disease. *Journal of Clinical Pathology*. 54, 176-186.

Références Bibliographiques

- Zabeirou ; Hachimou. 2005. Étude comparative entre les huiles essentielles de la menthe verte (*Mentha Spicata* L) et de la Poivree (*Mentha Piperita* L) dans la région d'ouargla . Mémoire de DES biochimie –Université de Kasdi Merbah Ouargla.
- Zaika, L. L. 1988. Spices and herbs - their antimicrobial activity and its determination. Journal of Food Safety. 9- 2, (97-118)
- Zenasni, L. 2014. Etude du polymorphisme chimique des huiles essentielles de *Thymus satureioides* Coss et d'*Origanum compactum* benth gu genre Nepta et évaluation de leur propriété antibactérienne. Thèse de doctorat, Univerisité Mohammed-Agdal, Rebat. Maroc.
- Zhang, S., Kou, X., Zhao, H., Mak, K. K., Balijepalli, M. K., Pichika, M. R. 2022. *Zingiber officinale* var. rubrum: Red Ginger, Medicinal Uses. Molecules (Basel, Switzerland). 27(3), 775.
- Zheng, G.Q., Kenny, P.M., Lam, K.T. 1992. Sesquiterpènes from clove (*Eugenita caryophyllata*) as potential anticarcinogenic agents. Journal of Natural Production. 55, 999-1003.
- Zhiri, A., Baudoux, D. 2005. Huiles essentielles chémotypées et leurs synergies. Luxembourg, *Éditions Inspir*.

Annexes

Annexes

Annexe I

Questionnaire



Centre universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie



Enquête sur l'utilisation des huiles essentielles
culinaires

Section 1 : Informations générales

Commune :

Région : Rurale Urbaine

Age : 0-17 18-34 35-49 50-64 65 et plus

Niveau intellectuel : Primaire Moyen Secondaire Universitaire

Profession :

Section 2 : Connaissance des huiles essentielles

Êtes-vous familière avec les huiles essentielles ? Oui Non

Si oui, quel est votre niveau de connaissance des huiles essentielles ?

Faible Moyen Élevé

Avez-vous déjà utilisé des huiles essentielles dans votre vie quotidienne ? Oui

Non

Si oui, à quelles fins les avez-vous utilisées ? Santé Beauté et soins personnels

Cuisine

Autre

Section 3 : Pratiques culinaires

À quelle fréquence cuisinez-vous ? Quotidiennement Plusieurs fois par semaine

Une fois par semaine Rarement

Section 4 : Utilisation culinaire

Utilisez-vous fréquemment le poivre noir dans la préparation de vos plats ? Oui
Non

Si oui, dans quels plats l'incorporez-vous régulièrement ?

.....

Utilisez-vous fréquemment le gingembre dans la préparation de vos plats ? Oui
Non

Si oui, dans quels plats l'incorporez-vous régulièrement ?

.....

Utilisez-vous fréquemment le clou de girofle dans la préparation de vos plats ? Oui
Non

Si oui, dans quels plats l'incorporez-vous régulièrement ?

.....

Section 5 : Connaissances sur les bienfaits potentiels des trois épices étudiés

Pensez-vous que le poivre noir, le clou de girofle et le gingembre peuvent avoir des bienfaits pour la santé autres que leur aspect aromatique dans la cuisine ?

Poivre noir : Oui Non Je ne sais pas

Gingembre : Oui Non Je ne sais pas

Girofle : Oui Non Je ne sais pas

Si oui, quels sont, selon vous, les bienfaits potentiels du poivre noir ?

Propriétés anti-inflammatoires Propriétés antioxydantes Amélioration de la digestion
 Renforcement du système immunitaire

Autre

Si oui, quels sont, selon vous, les bienfaits potentiels du gingembre ?

Propriétés anti-inflammatoires Propriétés antioxydantes Amélioration de la digestion
 Renforcement du système immunitaire

Autre

Si oui, quels sont, selon vous, les bienfaits potentiels du girofle ?

Propriétés anti-inflammatoires Propriétés anti-oxydantes Amélioration de la digestion Renforcement du système immunitaire
 Autre

Section 6 : Connaissance et utilisation des huiles essentielles du poivre noir, de girofle et du gingembre

Savez-vous qu'il est possible d'obtenir des huiles essentielles du poivre noir, du girofle et du gingembre ?

Oui Non

Avez-vous déjà utilisé de l'huile essentielle du poivre noir ? Oui Non

Si oui, comment l'avez-vous utilisée ? En aromathérapie En cuisine En soins de la peau

En soins des cheveux Autre

Avez-vous déjà utilisé de l'huile essentielle du gingembre ? Oui Non

Si oui, comment l'avez-vous utilisée ? En aromathérapie En cuisine En soins de la peau

En soins des cheveux Autre

Avez-vous déjà utilisé de l'huile essentielle du girofle ? Oui Non

Si oui, comment l'avez-vous utilisée ? En aromathérapie En cuisine En soins de la peau En soins des cheveux Autre

Si vous avez utilisé des huiles essentielles du poivre noir, de girofle ou du gingembre, pourriez-vous décrire les résultats ou les effets que vous avez observés ?

Poivre noir :

Gingembre :

Girofle :

Êtes-vous consciente que certaines huiles essentielles puissent être utilisées comme agents de conservation naturels ? Oui Non

Seriez-vous prête à inclure régulièrement des huiles essentielles du poivre noir, du girofle et du gingembre dans vos recettes culinaires si vous connaissiez leurs propriétés antibactériennes et conservatrices ?

Oui, certainement Peut-être, selon les avantages perçus Non, je ne suis pas
intéressée

Avez-vous des préoccupations concernant l'utilisation des huiles essentielles de poivre noir, de girofle et de gingembre ?

- a) Effets indésirables potentiels sur la santé
- b) Allergies ou sensibilités aux huiles essentielles
- c) Problèmes de disponibilité et accessibilité des huiles essentielles
- d) Coût des huiles essentielles
- e) Interaction avec des médicaments
- f) Goût ou arôme trop fort
- g) Manque de connaissances sur les volumes appropriées
- h) Autre.....

Annexe II

Matériel et réactifs utilisés

Matériel et équipement

- Agitateur magnétique chauffant
- Autoclave
- Bain-marie
- Balance
- Bec Bunsen
- Bêchers
- Boîtes de Petri
- Chauffe-ballon
- Clevenger
- Ecouvillons stériles
- Embouts-pipette jaunes, bleus et blancs
- Entonnoir
- Eprouvette
- Erlenmeyer
- Etuve
- Flacons
- Micropipette
- Microplaques stériles (96 puits)
- Mortier
- Papier aluminium
- Papier film
- Papier filtre
- Pince
- Pipettes Pasteur
- Réfrigérateur
- Spatule
- Tubes à essai
- Tubes Eppendorf
- Verres de montre
- Vortex

Produits et réactifs

- Eau distillée
- DMSO
- Eau physiologie stérile
- Milieu gélosé Muller-Hinton
- Milieu liquide Muller-Hinton (bouillon)
- Gélose Nutritive